

オマーン・オフィオライトにおける火成活動の時間的・空間的変遷
：海洋地殻の成長・改変プロセスに関する岩石学的研究

金子 龍

新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程
環境科学専攻

目次

要旨

| | | |
|-------|---|----|
| 第1章 | はじめに | 1 |
| 第2章 | 研究史と地質概説 | 3 |
| 2.1 | オマーン・オフィオライトにおける海嶺および島弧的岩石の特徴 | 3 |
| 2.1.1 | 海嶺および島弧的ガブロの岩石学的特徴 | 4 |
| 2.1.2 | 海嶺・後期斜長花崗岩類の岩石学的特徴 | 4 |
| 2.2 | オマーン・オフィオライトの構造発達史 | 5 |
| 2.3 | オマーン・オフィオライトにおける海嶺セグメント構造の解析 | 6 |
| 2.4 | 研究地域の地質概説とウェールライト質貫入岩体 | 7 |
| 第3章 | 研究地域の地質 | 16 |
| 3.1 | マントルカンラン岩 | 16 |
| 3.2 | モホ遷移帯 | 17 |
| 3.3 | 層状ガブロ層 | 18 |
| 3.4 | 上部ガブロ層 | 18 |
| 3.5 | シート状岩脈群 | 19 |
| 3.6 | ウェールライト質貫入岩体 | 20 |
| 3.6.1 | Barghah complex | 20 |
| 3.6.2 | Lower wehrlitic intrusions | 21 |
| 3.7 | 苦鉄質-超苦鉄質岩体 (Lasail-south complex) | 21 |
| 3.7.1 | 優黒質層状ガブロノーライト | 22 |
| 3.7.2 | フォリエイテッドガブロノーライト | 23 |
| 3.7.3 | 塊状ガブロノーライト | 24 |
| 3.7.4 | ブロック：細粒ガブロノーライト | 24 |
| 3.7.5 | 後期貫入岩体：苦鉄質-珪長質貫入岩体および安山岩質岩脈 | 24 |
| 第4章 | 岩石記載 | 39 |
| 4.1 | モホ遷移帯 | 39 |
| 4.2 | Barghah complex | 40 |
| 4.3 | Lower wehrlitic intrusions | 40 |

| | | |
|-------|--------------------------------------|----|
| 4.4 | Lasail-south complex | 41 |
| 4.4.1 | 優黒質層状ガブロノーライト | 42 |
| 4.4.2 | フォリエイテッドガブロノーライト | 43 |
| 4.4.3 | 塊状ガブロノーライト | 44 |
| 4.4.4 | ブロック：細粒ガブロノーライトおよび堇青石-斜方輝岩 | 44 |
| 4.5 | シート状岩脈群 | 45 |
| 4.6 | 後期貫入岩体：：苦鉄質-珪長質貫入岩体および安山岩質岩脈 | 46 |
| 第5章 | 全岩化学組成 | 58 |
| 5.1 | シート状岩脈群 | 58 |
| 5.2 | シート状岩脈群基底部 | 59 |
| 5.3 | Lasail-south complex | 59 |
| 5.4 | ブロック：細粒ガブロノーライト | 60 |
| 5.5 | 後期貫入岩体：：苦鉄質-珪長質貫入岩体および安山岩質岩脈 | 61 |
| 第6章 | 鉱物化学組成 | 71 |
| 6.1 | モホ遷移帯およびウェールライト質貫入岩体 | 71 |
| 6.1.1 | モホ遷移およびウェールライト質貫入岩体中のカンラン石 | 71 |
| 6.1.2 | モホ遷移およびウェールライト質貫入岩体中の単斜輝石 | 72 |
| 6.1.3 | モホ遷移およびウェールライト質貫入岩体中の Cr スピネル | 73 |
| 6.1.4 | モホ遷移およびウェールライト質貫入岩体中の斜長石 | 74 |
| 6.1.5 | モホ遷移およびウェールライト質貫入岩体中の角閃石 | 74 |
| 6.2 | Lasail-south complex | 75 |
| 6.2.1 | Lasail-south complex 中のカンラン石 | 75 |
| 6.2.2 | Lasail-south complex 中の単斜輝石 | 76 |
| 6.2.3 | Lasail-south complex 中の斜方輝石 | 77 |
| 6.2.4 | Lasail-south complex 中の Cr スピネル..... | 77 |
| 6.2.5 | Lasail-south complex 中の斜長石 | 78 |
| 6.2.6 | Lasail-south complex 中の角閃石 | 78 |
| 第7章 | 考察 | 94 |
| 7.1 | ウェールライト質貫入岩体の岩石学的特徴と成因 | 94 |
| 7.1.1 | ウェールライト質貫入岩体の鉱物晶出順序 | 94 |

| | |
|--|-----|
| 7.1.2 ウェールライト質貫入岩体の成因 (Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions) | 97 |
| 7.2 Lasail-south complex の岩石学的特徴と成因 | 99 |
| 7.2.1 Lasail-south complex の全体像 | 99 |
| 7.2.2 Lasail-south complex の鉱物晶出順序 | 100 |
| 7.2.3 Lasail-south complex の成因 | 102 |
| 第8章 まとめ | 108 |
| 謝辞 | 110 |
| 引用文献 | 111 |
| Table 1. XRF | 123 |
| Table 2. ICP-MS | 127 |
| Table 3. LA-ICP-MS | 129 |
| Table 4. EPMA (Ol) | 130 |
| Table 5. EPMA (Cpx) | 133 |
| Table 6. EPMA (Opx) | 137 |
| Table 7. EPMA (Cr-spl) | 139 |
| Table 8. EPMA (Pl) | 142 |
| Table 9. EPMA (Amp) | 145 |

要旨

オマーン・オフィオライトはアラビア半島東端に露出する世界最大級のオフィオライトであり、海洋リソスフェアの断片が最も良く保存されている。本オフィオライトは中央海嶺火成活動、オフアクシス火成活動、沈み込み帯火成活動、プレート内火成活動の異なる4つの火成活動の記録を保存しており、海洋地殻形成から陸上に衝上するまでの地殻の成長・改変プロセスを観察することができる。その中でも、オフアクシス火成活動は、中央海嶺近傍で海洋地殻上部（溶岩層からシート状岩脈群）の層厚を約2倍に厚化させるほど膨大なマグマを供給していると考えられている。しかし、オフアクシス火成活動による海洋地殻の成長プロセスや海洋地殻下部における実体は詳しく研究されていない。本研究では、オフアクシス火成活動による海洋地殻下部の成長・改変プロセスを解明し、形成される岩石の岩石学的特徴の多様性が示す意義について記載岩石学的特徴や化学組成の特徴から総合的に検討した。本研究により、中央海嶺系のマグマの組成や生成モデルに新たな知見をもたらすことが期待できる。

本研究では、海洋地殻層序が最も連続的に露出しているオマーン・オフィオライト北部 Salai ブロック Wadi Barghah から Wadi Salahi 地域において約 10×10 km の範囲の詳細な地質図を作成した。その結果、オフアクシス火成活動で形成されたウェールライト質貫入岩体（Barghah complex、Lower wehrlitic intrusions）および苦鉄質-超苦鉄質貫入岩体（Lasail-south complex）が、層状ガブロからシート状岩脈群基底部の各層準中に多数貫入していることが明らかになった。

Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions は塊状の斜長石ウェールライトやダナイトから構成され、鉱物晶出順序はカンラン石>斜長石、単斜輝石を示している。ウェールライト質貫入岩体の貫入によって本研究地域のガブロ層の構造が大規模に乱され、貫入境界部に接触急冷縁が存在しないことから母岩のガブロが半固結（高温状態）時に貫入したと考えられる。単斜輝石の Mg# ($Mg/(Mg+Fe)$) は狭い組成幅 (0.896-0.923) を示すのに対し、TiO₂ および Na₂O 量はそれぞれ 0.20-0.38 wt% と 0.24-0.43 wt% の広い組成幅を示すメルト-マントル反応の特徴を有している。この特徴はモホ遷移帯を構成する岩石特有の特徴であり、ウェール質貫入岩体は海嶺軸近傍でモホ遷移帯から派生し、半固結状態のガブロに貫入した結果形成されたと考えられる。

Lasail-south complex は、シート状岩脈群基底部に $0.9 \times 10 \text{ km}$ のシル状岩体として大規模に貫入している。本岩体は下位から優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライトから構成され、塊状ガブロノーライト中にはシート状岩脈のブロック（細粒ガブロノーライト）が取り込まれている。一方で、岩体西部の一部では海嶺的な化学組成を示すドレライト岩脈に貫入されている。鉱物晶出順序はカンラン石 > 単斜輝石 > 斜方輝石 > 斜長石、普通角閃石を示し、典型的な MORB (中央海嶺玄武岩) の鉱物晶出順序 (カンラン石 > 斜長石 > 単斜輝石) とは大きく異なっている。鉱物化学組成の結果から、岩体上部に向かってカンラン石 Fo 値や単斜輝石 Mg# が分化するトレンドを示し、単斜輝石は顕著な正累帯構造を示す。これらの事実から、本岩体は閉鎖系の単一なマグマ溜まりで結晶分化作用が進行して形成されたと考えられる。単斜輝石 Mg# と斜長石 An 値およびカンラン石 Fo 値と斜長石 An 値を用いた組成判別図では、大部分の分析値がオマーン層状ガブロの組成領域内にプロットされ、海嶺的な特徴を示す。

細粒ガブロノーライトブロックは全岩 REE 含有量に差が認められ、高い REE 含有量を示すタイプは V1 と類似しており、低い REE 含有量を示すタイプはシート状岩脈を部分溶融させた岩石と類似している。したがって、シート状岩脈群は Lasail-south complex に貫入された際に一部は部分溶融したと推測される。Lasail-south complex 中の普通角閃石は高い塩素含有量を示し、変質したシート状岩脈群を同化したことを示唆している。これらのことから、Lasail-south complex の特異な鉱物晶出順序は、変質したシート状岩脈群を同化・溶融したことによるマグマ含水量の増加によって説明可能である。さらに本岩体は海嶺的な組成を示すドレライト岩脈に貫入されていることから、オフアクシス火成活動で形成されたと考えられる。

以上述べたように、海洋地殻下部からシート状岩脈群基底部には岩石学的特徴の異なるオフアクシス火成活動起源の岩体が存在することを新たに示した。オフアクシス火成活動は変質した海洋地殻を同化・溶融することでマグマの組成が大きく変化し、オフアクシスにおける熱水循環が及ぼす変質作用の度合いや浸透深度が深く関係していることが明らかになった。本研究によって、海洋地殻下部におけるオフアクシス火成活動の実体が明らかとなり、同化の程度、混染する岩石の特徴、溶融度、貫入する層準や岩体の規模によって岩石学的特徴が支配されることを新たに示した。

Abstract

The Oman ophiolite extends along the east coast of Oman, and is the world's largest and best-preserved slice of obducted oceanic lithosphere. The magmatic history of this ophiolite is complex and is generally regarded as four stages of magmatism (MOR magmatism, off-axis magmatism, supra-subduction magmatism and intraplate magmatism). The oceanic crustal growth is due to the first two stages of magmatism and modified by later two stages of magmatism. Off-axis magmatism thickens about twice the thickness of the upper part of the oceanic crust, indicating that the off-axis magmatism supplies a huge amount of magma. However, the crustal growth by the off-axis magmatism is not studied in detail so far. In particular, it is ambiguous that how does the lower oceanic crust grow. In this study, we report and discuss the oceanic crustal growth and modification processes based on geological and petrological studies for the late intrusive complexes, which are derived from the off-axis magmatism. This study could provide a new insight for the accretional processes of oceanic crust beneath mid-ocean ridge.

Detailed geological survey for the Wadi Barghah to Salahi area in the northern Oman ophiolite, where the oceanic crustal section is continuously exposed, is carried out. We discover that the numerous rocks of the off-axis magmatism, which are wehrlitic intrusions (Barghah complex and Lower wehrlitic intrusions) and mafic to ultramafic intrusions (Lasail-south complex), intrude into the various levels of layered gabbro to the basal part of sheeted dyke complex.

Barghah complex and Lower wehrlitic intrusions consist of massive dunite and plagioclase wehrlite. The crystallization sequence is olivine followed by the contemporaneous crystallization of plagioclase and clinopyroxene. The structure of the gabbroic section is complex because of a presence of numerous wehrlitic intrusions. The contacts between the intrusions and host gabbros are typically wavy and are sometimes interfingering; notably, they do not have a chilled margin. Therefore, wehrlitic rocks intrude when the host gabbros were still hot and plastic,

or even prior to their solidification. TiO_2 and Na_2O contents of clinopyroxenes of the wehrlitic intrusions are similar to those of the MTZ (Moho Transition Zone) in this study area. We therefore conclude that the wehrlitic intrusions in the present study area were derived from the MTZ as product of the off-axis magmatism.

Lasail-south complex is a large sill-like body (0.9 x 10 km) and intrudes into the basal part of the sheeted dyke complex. This complex consists of layered mela-gabbro, foliated gabbro and massive gabbro in an ascending order. Massive gabbro of the northeastern part of the complex contains numerous sheeted dyke blocks (fine grained gabbro) and in the western part of the complex is intruded by the doleritic dykes that show chemical composition of the mid-ocean ridge magmatism. The crystallization sequence is olivine > clinopyroxene > orthopyroxene > plagioclase and hornblende, and significantly differs from that of typical MOR basalts under low-pressure conditions (olivine > plagioclase and then clinopyroxene). Olivine Fo contents and clinopyroxene Mg# tend to decrease upward, and remarkable normal zoning is detected in clinopyroxene. Therefore, it seems that a closed-system fractional crystallization occurs in a single magma chamber. Co-variations using clinopyroxene Mg# ($\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$) and plagioclase An contents, and olivine Fo ($\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$) and plagioclase An contents show that most of data plot in the Oman layered gabbro field.

Bulk REE contents of the fine grained gabbro are classified two types. The one type is characterized by the REE contents similar to those of V1 magmatism. Another type is low REE contents similar to those of the rocks that are partially melted from the sheeted dykes. It is likely that a part of the sheeted dyke complex was partially melted when the Lasail-south complex intrudes into the basal part of the sheeted dyke complex. Hornblende in the Lasail-south complex shows high Cl contents, and suggests an assimilation of the altered sheeted dykes. Therefore, the peculiar crystallization sequence of this complex can be explained by increasing water contents in the parental magma caused by the assimilation and melting of

the altered sheeted dykes. Furthermore, doleritic dykes with MORB signatures intrude into the Lasail-south complex, suggesting that this complex was generated by the off-axis magmatism.

In consequence, various off-axis magmatism can exist in the lower part of oceanic crust to the basal part of sheeted dykes. Such variety can be explained by the degree of assimilation, partial melting, amount and natures of contaminant material. Thus, the off-axis magmatism affects for the accretion of oceanic crust from the depth to the top of the crust.

第1章 はじめに

地球表層の約70%を占める海洋地殻の形成・進化過程を解明することは地球における熱水循環や物質循環を考える上で重要であり、海洋底による試料や地上に露出した海洋地殻・上部マントルの断片（オフィオライト）に関する研究が精力的に行われている。現在の中央海嶺で最も拡大速度の早い東太平洋海膨周辺の海洋地殻第2層（海洋地殻上部：溶岩層からシート状岩脈群）は、海嶺から約1-4 km離れた海嶺軸近傍で層厚が増していき海嶺軸直下の約2倍の厚さになることが地震波探査の結果から明らかになっている（Harding et al., 1993; Kent et al., 1994; Hooft et al., 1996, 1997; Carbotte et al., 1997）。海洋地殻第2層が厚くなる要因として、海嶺軸近傍火成活動によって形成された溶岩が海洋地殻上部に付加していると考えられている。

海嶺火成活動で形成される溶岩層（MORB）は、海嶺軸直下のマグマ溜まりにメルトが定常的に供給され、絶え間ないマグマ混合を被るため均質な化学組成を示す溶岩（N-MORB）が形成される。一方、海嶺軸近傍火成活動（オフアクシス火成活動）で形成される溶岩層は、マグマ溜まりにメルトが定常的に供給されないため、ソースマントルの化学組成や部分熔融度、結晶化する時の温度や圧力条件の違いによって多様な化学組成を示す溶岩が形成される（Batiza et al., 1990; Hall and Sinton, 1996; Niu and Batiza, 1997; Reynolds and Langmuir, 2000; Geshi et al., 2007）。海野ほか（2008）では、オフアクシス火成活動が示す化学組成の多様性とモホ遷移帯の関係を報告しており、モホ遷移帯内部に存在するマグマがオフアクシス火成活動の供給源である可能性を示唆している。海嶺軸から離れたモホ遷移帯中に存在する分化したマグマポケット（Crawford and Webb, 2002）の同化・混合および不定期なメルトの供給によるマグマの混染によって、多様な化学組成を示す溶岩層がオフアクシス火成活動で形成されると報告している。

オマーン・オフィオライトにおいても、溶岩層の層序学的・岩石学的検討からオフアクシス火成活動で形成された溶岩が海洋地殻の上位に付加していることが報告されている（Kusano et al., 2011）。彼らは、海嶺軸直下の海嶺火成活動で形成された溶岩層をLV1（海嶺火成活動）、アンバー層を挟んで上位に露出する溶岩（オフアクシス火成活動）をそれぞれMV1およびUV1にタイプ分けしている。LV1の全岩化学組成のTiO₂やZr量は、オフアクシス火成活動で形成されたMV1やUV1よりも高い含

第1章 はじめに

有量を示している。また UV1 は MV1 よりも全岩化学組成の TiO_2 や Zr 量に乏しく枯渇した組成を示しており、オフアクシス火成活動で形成される溶岩に多様性があることを層序学的・岩石学的特徴から明らかにしている。

海洋地殻下部におけるオフアクシス火成活動の痕跡・影響は、層状ガブロから上部ガブロ層中に貫入するウェールライト質貫入岩体が考えられている (Benn et al., 1988; Boudier and Nicolas, 1995; Jousselein and Nicolas, 2000; Adachi and Miyashita, 2003)。しかし、ウェールライト質貫入岩体の成因は未だに議論が続いており、沈み込み帯火成活動に伴うリソスフェリックマントルの再溶融によってウェールライト質貫入岩体が形成されることが報告されている (Lippard et al., 1986; Koepke et al., 2009; Goodenough et al., 2010)。Adachi and Miyashita (2003)は、ウェールライト質貫入岩体にはオフアクシス火成活動で形成されるタイプと沈み込み帯火成活動で形成されるタイプの両方が存在することを指摘している。オマーン・オフィオライト北部の Fizh ブロックは、海嶺セグメント末端部における海嶺伝搬の影響で多量のドレライト岩脈 (海嶺火成活動起源) が海洋地殻下部のガブロやウェールライト質岩体に貫入している (Fig. 23 in Adachi and Miyashita, 2003)。ドレライト岩脈に貫入されるウェールライト質貫入岩体の化学組成は、母岩のガブロと類似した特徴を有しており、オフアクシス火成活動で形成された岩体であると考えられている。Yamasaki et al. (2006) はオマーン・オフィオライト中部の Haymiliyah 地域において、斜長石の An ($\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na})$) が低く単斜輝石中の LIL 元素に乏しいガブロ (GB1) と斜長石の An が高く単斜輝石中の LIL 元素に富むガブロおよびウェールライト (DWGB2) が存在することを報告している。

オフアクシス火成活動起源のウェールライト質貫入岩体の成因を議論するためには、海洋地殻層序との貫入関係や記載岩石学的特徴、化学組成の総合的な検討が必要である。本研究は、海洋地殻下部におけるオフアクシス火成活動の影響を議論することで、海嶺軸外における海洋地殻下部の成長・改変プロセスの解明に寄与できると考えている。

2. 研究史と地質概説

オマーン・オフィオライトは白亜紀の高速拡大海嶺によって形成された海洋地殻の断片であると考えられており (Lippard et al., 1986; Nicolas, 1989; Nicolas and Boudier, 1995; Rioux et al., 2012, 2013)、海洋地殻層序を構成するガブロ層が連続的に分布している (Fig. 2-1)。本オフィオライトは延長約 500 km の世界最大規模の海洋リソスフェアの断片であり、その規模から中央海嶺の比較的小規模な不連続構造 (重複海嶺やデバル) の痕跡を残していると考えられている (Fig. 2-2) (e.g. Nicolas et al., 1988)。さらに本オフィオライトは海洋地殻形成後の海洋地殻の成長・改変プロセス (海嶺軸外火成活動) のみならず、溶岩層の層序学的・岩石学的特徴や斜長花崗岩類の野外産状および岩石学的特徴から沈み込み帯火成活動やプレート内火成活動を記録している。オマーン・オフィオライトは全面露頭を生かした詳細な野外産状の観察や記載岩石学的特徴 (構成岩石や組織、鉱物晶出順序など)、化学組成の総合的な検討によって複数の火成活動の記録や変遷を解読することができる貴重なフィールドである。

2.1 オマーン・オフィオライトにおける海嶺および島弧的岩石の特徴

オマーン・オフィオライトは溶岩層の層序学的・岩石学的な検討が詳しくなされており (Alabaster et al., 1980, 1982; Lippard et al., 1986; Ernewein et al., 1988; Umino et al., 1990) V1 から V3 の 3 回の火成活動が識別されている。その形成場については議論が続いているが、海嶺火成活動で形成される V1 (Geotimes unit)、海洋地殻の衝上に伴う沈み込み帯火成活動もしくは島弧的な火成活動で形成される V2 (Alley unit)、プレート内火成活動で形成されるアルカリ玄武岩的な特徴を示す V3 (Salahi unit) とされている (Fig. 2-3) (Alabaster and Pearce, 1980; Alabster et al., 1982; Lippard et al., 1986; Umino et al., 1990; A'Shaikh et al., 2005; Ernewein et al., 1988; Godard et al., 2003)。本オフィオライトの海洋地殻下部層序は上部ガブロや層状ガブロから形成されるが、多量のウェールライト質岩体や苦鉄質珪長質岩 (ガブロや斜長花崗岩類など) が貫入しており「後期」貫入岩体と一括りにされている。しかし、個々の岩体で岩石学的特徴が異なっていることが報告されており (Adachi and Miyashita, 2003; Goodenough et al., 2010)、本節では特に V1 (海嶺) と V2 (島弧) 火成活動で

2. 研究史と地質概説

形成される岩石の特徴の違いについてまとめる。

2.1.1 海嶺および島弧性ガブロの岩石学的特徴

海洋地殻下部はメルトレンズが固結して形成される上部ガブロ（塊状ガブロ、バリ組織ガブロ、フォリエイテッドガブロ）とマグマ溜まり内部でシル状に貫入して形成される層状ガブロから構成されている。中央海嶺玄武岩（MORB）の鉱物晶出順序は実験岩石学的な検討や斑晶組み合わせから、カンラン石>斜長石>単斜輝石を示し（Elthon et al., 1991; Koga et al., 2001; Koepke et al., 2009）、単斜輝石が斜長石よりも早期に出現する岩石（ウェールライトなど）は non-MORB（非中央海嶺玄武岩）的で親マグマに水が関与していると考えられている（Feig et al., 2006; Goodenough et al., 2010）。

鉱物化学組成では、中央海嶺で形成されたガブロはスピネルの Cr# ($(Cr/(Cr+Al))$) が <0.6 かつ TiO₂ wt% が高い特徴を有する（Arai et al., 2011）。また、カンラン石もしくは単斜輝石の Mg# ($(Mg/(Mg+Fe))$) と斜長石の An ($(Ca/(Ca+Na))$) 値を用いた組成判別図では、海洋性ガブロと島弧性ガブロでは結晶分化作用のトレンドが異なり、海洋性ガブロは Mg# の減少に伴い斜長石の An 値も減少し広い組成幅を示す ($40 < An < 85$) のに対し、島弧性ガブロは結晶分化作用が進行しても $An > 80$ を有している（Ross et al., 1997; Hodges and Papike, 1976; Clarke and Loubat, 1977; Symes et al., 1977; Dick et al., 2002; Natland and Dick, 1996; Dick and Natland, 1996; Beard, 1986; Ernewein et al., 1988; Adachi and Miyashita, 2003; Browning, 1984; Benoit et al., 2001; Smewing, 1981）（Fig. 2-4）。

2.1.2 海嶺・後期斜長花崗岩類の岩石学的特徴

斜長花崗岩類は現在の海洋地殻でも確認されており、南西インド洋海嶺や大西洋中央海嶺、東太平洋海膨の海底調査で閃緑岩や石英閃緑岩、トーナル岩、トロニウム岩といった斜長花崗岩類が採取されている（Hebert et al., 1991; Dick et al., 2000; Casey, 1997; Fruth-Green et al., 1996; Sifert et al., 1996）。オマーン・オフィオライトにおいても、マントルセクションや海洋地殻層序中の上部ガブロ・シート状岩脈群の

2. 研究史と地質概説

境界部付近に存在している。また本オフィオライトに分布する斜長花崗岩類は、海嶺ステージ（早期タイプ）と沈み込みステージ（後期タイプ）、オフィオライト定置に伴う黒雲母花崗岩類の形成の三つのタイプに区別される（Lippard et al., 1986; Rollinson, 2009）。海嶺で形成される早期タイプの斜長花崗岩類は、メルトレンズ内で最も結晶分化作用が進行したタイプ（Carmichael, 1964; O'Nions and Gronvold, 1973; Sigvaldson, 1974）やメルトレンズの上昇に伴うストーピングによってシート状岩脈群の同化・部分溶融作用（Willson et al., 2006）で形成されると考えられている。Rollinson (2009)は後期タイプの斜長花崗岩類の成因や岩石学的特徴を詳しく報告しており、すでに玄武岩質メルトが抜き去られ枯渇したマントルカンラン岩の再溶融によって苦鉄質なマグマが生じ、その結晶分化作用の進行によって斜長花崗岩類が形成されると報告した。このタイプの斜長花崗岩類の化学組成は流体によって移動しやすい元素に富み沈み込み帯火成活動（V2）で形成される岩石と類似している。

Pearce et al. (1984) や Bonev and Stampfli (2009) は、全岩化学組成の Y vs Nb ppm や (Nb+Y) vs Rb ppm を用いた組成判別図から海嶺起源の斜長花崗岩類は後期の斜長花崗岩類よりも Yppm や (Nb+Y) ppm が高いことを報告している。Rollinson (2009) は、早期タイプが典型的な MORB の REE パターンを示すのに対し、後期タイプの REE パターンは HREE から LREE へ向かって全体的に減少し早期タイプよりも枯渇した組成を示すことを報告した。

2.2 オマーン・オフィオライトの構造発達史

オマーン・オフィオライトは溶岩層の層序学的・岩石学的検討から V1（Geotimes unit；海嶺火成活動）、V2（Alley unit；沈み込み帯火成活動）、V3（Salahi unit；プレート内火成活動）に区分されている（Alabaster et al., 1980, 1982; Lippard et al., 1986; Ernewein et al., 1988; Umino et al., 1990）（Fig. 2-2）。オマーン・オフィオライト中の海洋地殻層序（V1）や後期貫入岩体（V2）の年代は、ガブロや斜長花崗岩に含まれるジルコンの U-Pb 年代測定によって詳しく検討されている（Tilton et al., 1981; Warren et al., 2005; Goodenough et al., 2010; Rioux et al., 2012, 2013; Tsuchiya et al., 2013）。Tilton et al. (1981) および Warren et al. (2005) はオマーン・オフィオライト北部の Fizeh ブロックから南部の Ibra ブロックに分布する斜長花崗岩中のジルコンの U-Pb 年代測定を行

2. 研究史と地質概説

い、 97.3 ± 0.4 から 93.5 ± 0.4 Ma の年代を報告した。Goodenough et al. (2010) は、北部 Aswad ブロックのペグマタイト質ガブロ中のジルコンの U-Pb 年代測定を行い、 95.76 ± 0.48 から 95.22 ± 0.37 Ma の年代を報告した。

Warren et al. (2005) は、オフィオライト南部の Wadi Tayin 地域に分布するメタモルフィックソール中の角閃岩類や斜長花崗岩中のジルコンの U-Pb 年代測定を行い、 96.28 ± 0.27 から 93.61 ± 0.24 Ma の年代を報告しており、海嶺火成活動からオフィオライト衝上・定置するまでに要した時間は、数 Ma 以内であったと考えられる。近年、より高精度な年代・同位体測定結果が Rioux et al. (2012, 2013) によって報告され、海嶺火成活動 (V1) で形成された岩石中のジルコンの U-Pb 年代は 96.16 ± 0.12 から 95.478 ± 0.056 Ma、沈み込み帯火成活動 (V2) で形成された岩石中のジルコンの U-Pb 年代は 96.441 ± 0.062 から 95.177 ± 0.051 Ma を示している (Fig. 2-5)。本オフィオライトは中央海嶺で海洋地殻層序が形成され、 < 0.5 Ma の間に沈み込みに伴う V2 火成活動によって地殻層序の改変を被り定置したと考えられる (Fig. 2-6)。

2.3 オマーン・オフィオライトにおける海嶺セグメント構造の解析

オマーン・オフィオライト南部の Maqsad 地域ではマントルダイアピルの構造が保存されており (Ceuleneer et al., 1988; Ceuleneer, 1991; Boudier and Nicolas, 1995; Jousset et al., 1998)、本オフィオライトは海嶺軸直下におけるマントルの上昇流の痕跡を直接観察できる貴重なフィールドである。オマーン・オフィオライト北部は、南北方向に上部マントルから海洋地殻層序が露出し、緩やかに東傾斜を示している。本オフィオライト北部 (Fizh および Salahi 地域) ではシート状岩脈群の貫入方向から海嶺軸方向および側方変化を観察することができ、海洋地殻構成岩の岩石学的特徴の変化が詳しく報告されている (Adachi and Miyashita, 2003; Miyashita et al., 2003; Umino et al., 2003; Kusano et al., 2012)。これまでの研究結果から、本オフィオライト北部地域では二次から三次の海嶺セグメント構造 (重複海嶺) の痕跡を記録していると考えられている。

- (1) Wadi Fizh 地域では海嶺伝播に伴う海洋地殻の改変が観察され、海洋地殻下部を構成する層状ガブロ中に MORB 組成を示すドレライト岩脈が多数貫入している。さらに、海嶺軸近傍火成活動で形成されたウェールライト質貫入岩体が海洋地殻下部に分布しているが、本貫入岩体も MORB 組成を示すドレライト質岩

2. 研究史と地質概説

脈に貫入されている。上述の野外産状や化学組成の結果から、Wadi Fizh 地域は二次から三次の海嶺セグメント末端部に相当すると考えられている (Adachi and Miyashita, 2003)。

- (2) Miyashita et al. (2003) では海嶺軸方向におけるシート状岩脈群の化学組成の変化を詳しく報告しており、Fizh ブロック北部の Wadi Fizh 地域や Salahi ブロック南部の Wadi Sadum 地域は不適合元素の (TiO_2 や Na_2O wt%) および Mg#, Zr ppm の組成幅が広く、Fizh ブロック南部の Wadi Thuqbah 地域では不適合元素や Mg#, Zr ppm の組成幅が狭いことを示した。海嶺セグメント中心部ではメルトが定常的に供給されマグマ溜まりの中で化学組成が均質化するのに対し、セグメント末端部ではメルトが定常的に供給されず部分熔融の程度やソースマントルの化学組成の違いによる変化を表している。Umino et al. (2003) は、シート状岩脈群のドレライト岩脈の幅を測定し、海嶺セグメント末端部の Wadi Fizh 地域で最も岩脈の幅が厚く、Wadi Thuqbah 地域へ向かって岩脈の幅が薄くなることを報告している。

以上の研究に基づけば、オマーン・オフィオライト北部地域の Fizh および Salahi ブロックにおける海嶺セグメント構造は、Fizh ブロック北部の Wadi Fizh 地域が北部セグメント末端部、Fizh ブロック南部の Wadi Thuqbah 地域がセグメント中心部、Salahi ブロック南部の Wadi Sadum 地域が南部セグメント末端部に相当すると考えられる。本研究の調査地域は、北側で海嶺セグメント中心部に近く、南側へ向かって海嶺セグメント末端部の方向となる。

2.4 研究地域の地質概説とウェールライト質貫入岩体

本研究地域の Salahi ブロック北部は、下位からマントルカンラン岩 (ハルツバージヤイト)、モホ遷移帯 (主にダナイトや斜長石ウェールライトから構成)、ガブロ層 (カンラン石ガブロや角閃石ガブロ、ガブロ、オキサイドガブロ、ガブロノーライトから構成) が累重しており、鉍物量比の差による層状構造や鉍物の定向配列から NNW-SSE 走向・緩やかな東傾斜を示している (Ministry of petroleum and Minerals, 1987; Kaneko et al., 2014) (Fig. 2-7)。研究地域北部の Wadi Barghah 地域ではガブロ層の層状構造が大規模に乱されており、多量のウェールライト質岩体が貫入してい

2. 研究史と地質概説

ることが明らかになっている (Kaneko et al., 2014) (Fig. 2-8)。研究地域南部の Wadi Salahi 地域では多量のウェールライト質貫入岩体 (数十～数百 m 規模) が、層状ガブロや上部ガブロ (フォリエイテッドガブロ、塊状ガブロ、バリ組織ガブロ) 層中に貫入している (Ernewein et al., 1988; Reuber 1988; Reuber et al., 1991)。従来の研究では、ウェールライト質貫入岩体の野外産状を詳しく観察しており、母岩のガブロとの接触関係を報告している。ウェールライト質貫入岩体は母岩のガブロの層状構造や鉱物の定向配列の構造に対し高角に貫入するタイプと構造に対し平行なシル状に貫入するタイプが存在し、両者とも母岩のガブロとの接触部に急冷縁が観察されず多量のガブロのブロックを包有している (Fig. 2-9)。これらの野外産状の特徴から、ウェールライト質貫入岩体は母岩が半固結状態 (高温状態) 時に貫入したと考えられている。しかし、ウェールライト質貫入岩体の成因は、研究者ごとに構造岩石学・記載岩石学・実験岩石学的な知見から、オフアクシス火成活動や沈み込み帯火成活動が提唱されている。これらの議論の多くでは、ウェールライト質貫入岩体が一括りにされ、その多様性はあまり注目されていない。オマーン・オフィオライトは海嶺火成活動のみならずオフィオライト衝上時の沈み込み帯火成活動などの複数の火成活動を記録しており、そのウェールライト質貫入岩体の成因の解明には詳細な野外産状や記載岩石学的特徴 (構成岩石や組織、鉱物晶出順序など)、化学組成の総合的な検討が必要である。

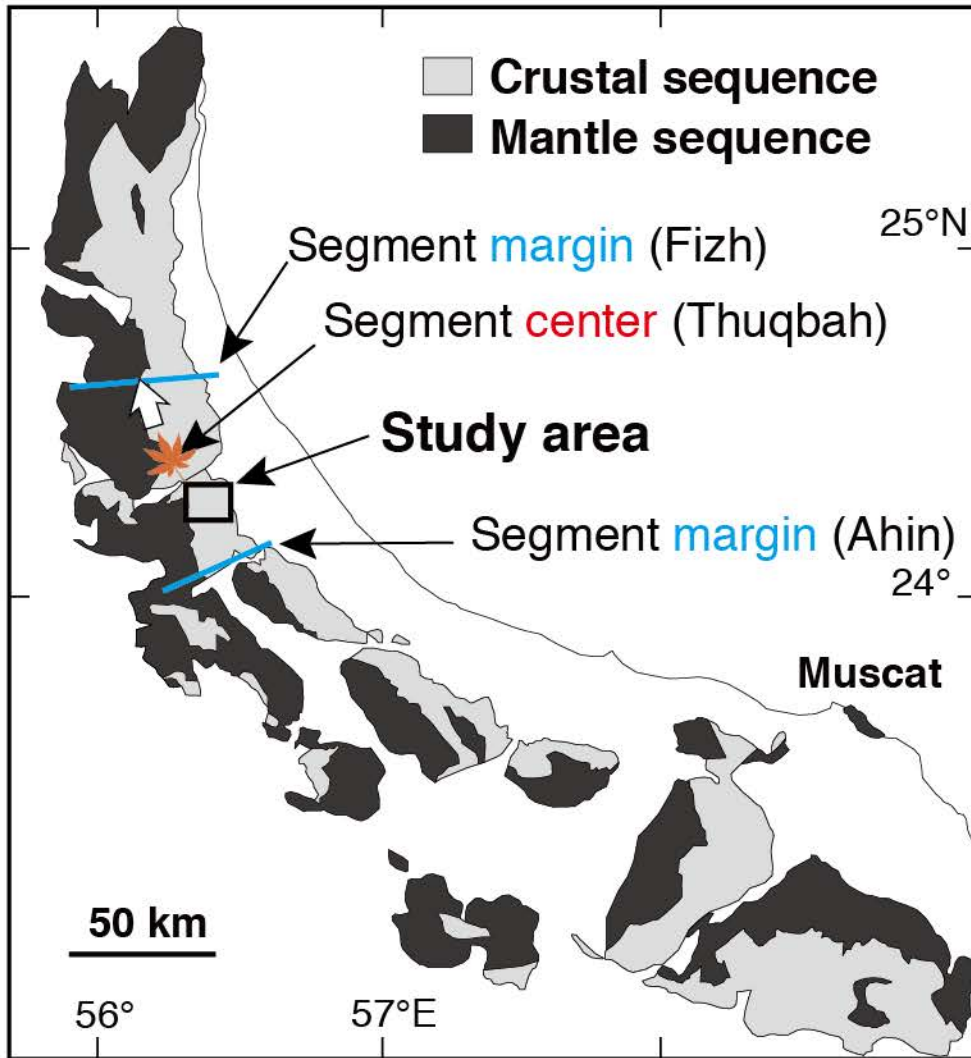


Fig. 2-1. Simplified geological map of the Oman ophiolite (modified from Lippard et al., 1986) and the location of the study area. The second-order ridge segment structure (Miyashita et al., 2003) is also shown. The locations marked 1, 2, 3 and 4 are the Fizh block, Salahi block, Haymiliyah area and Maqsad area, respectively.

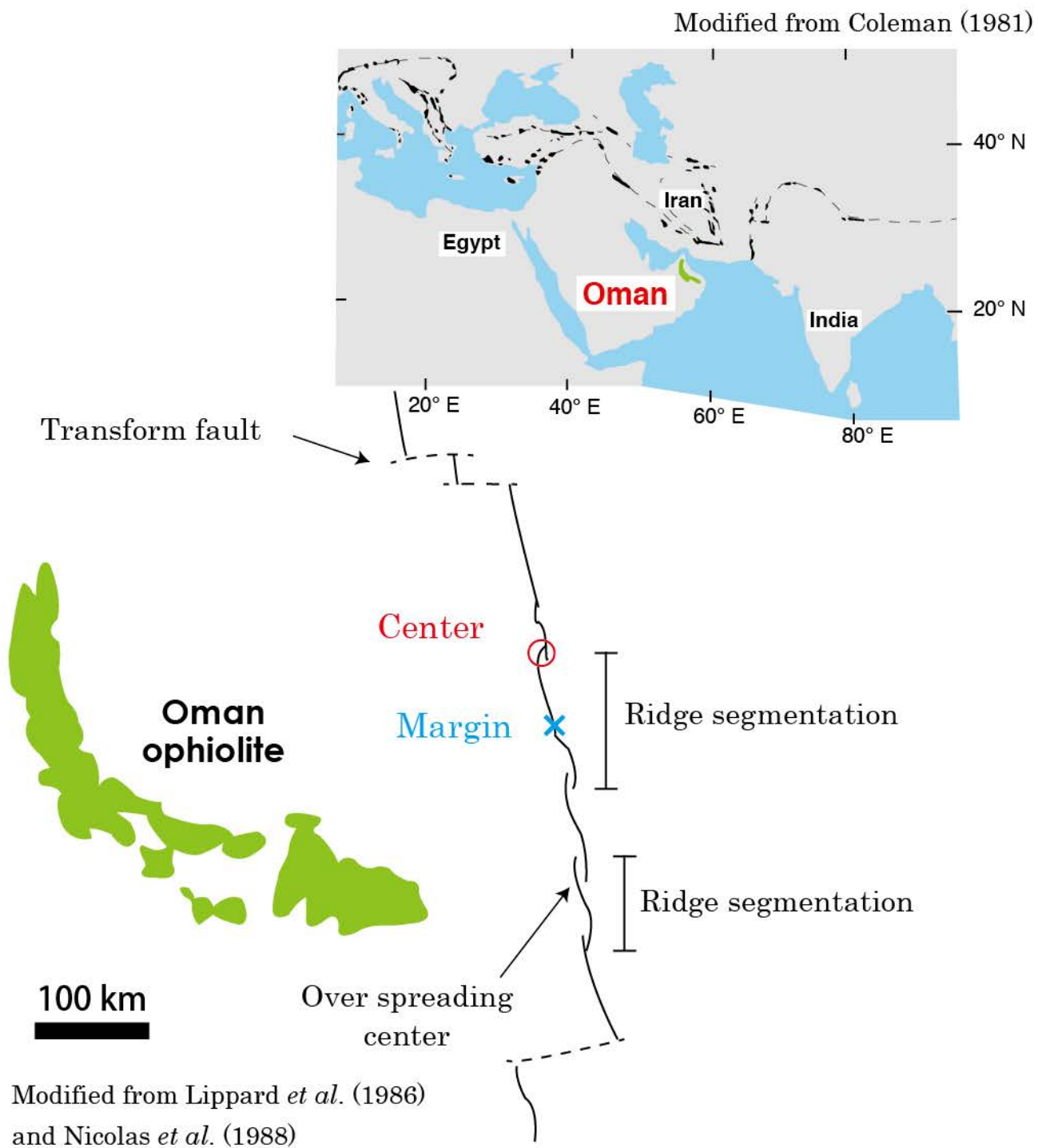


Fig. 2-2. Comparison of the Oman ophiolite and East Pacific Rise.

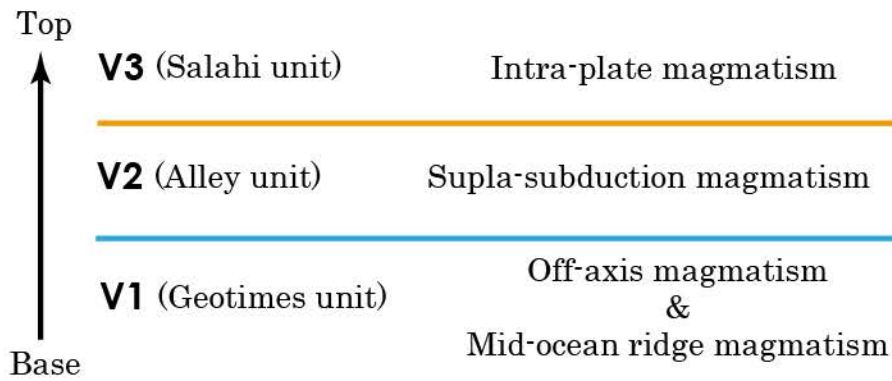


Fig. 2-3. Magmatic history of the Oman ophiolite based on the geochemical and stratigraphic studies of the lava section.

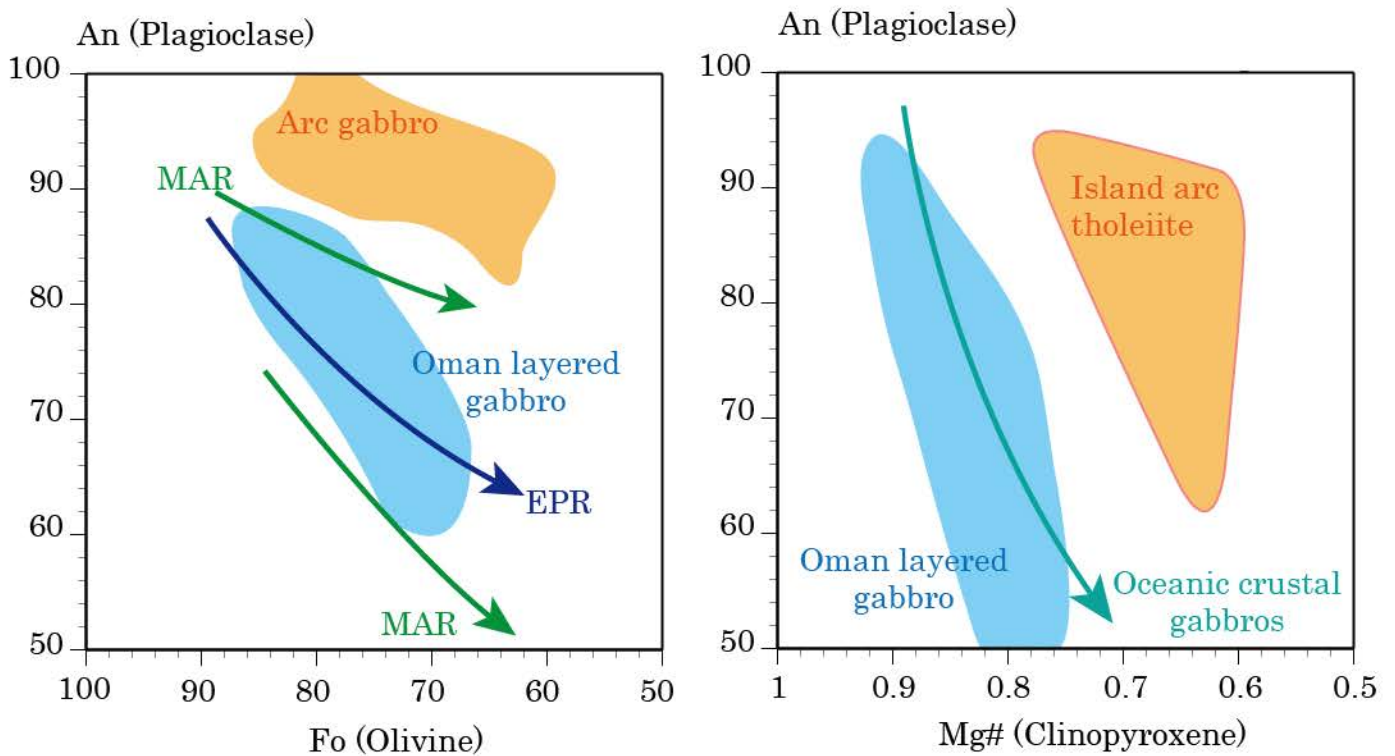


Fig. 2-4. Co-variation diagrams of the Fo (olivine) vs An (plagioclase) and Mg# (clinopyroxene) vs An (plagioclase) of gabbroic and ultramafic rocks. Compositional fields are Oman layered gabbro after Adachi and Miyashita (2003), Python and Ceuleneer (2003) and Yamasaki et al. (2006), Arc gabbro after Beard (1986), EPR after Natland and Dick (1996) and Dick and Natland (1996), MAR after Ross and Elthon (1997), Hodges and Papike (1976), Clarke and Loubat (1977) and Symes et al. (1977), Island arc tholeiites after Isiwatari et al. (1992) and Oceanic crustal gabbros after Python and Ceuleneer (2003).

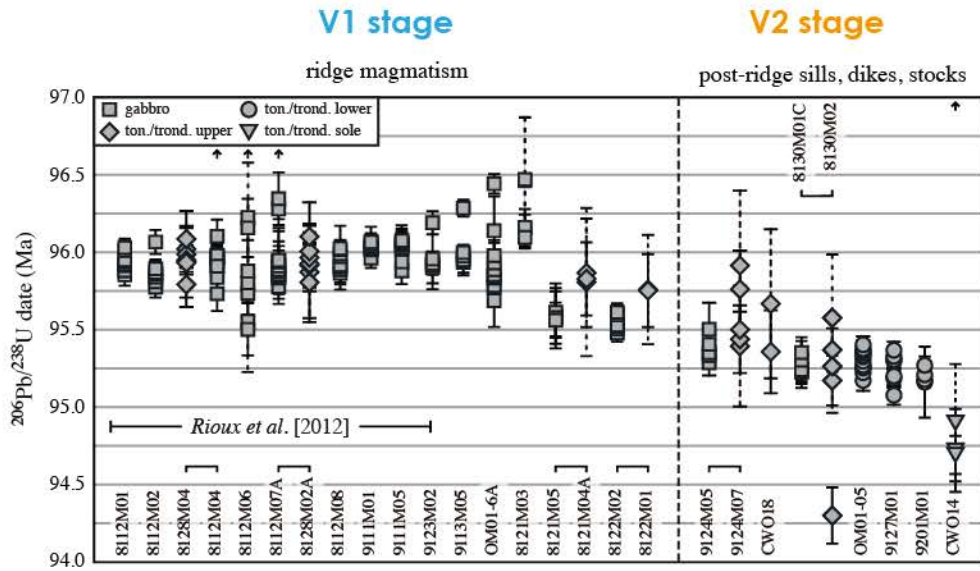
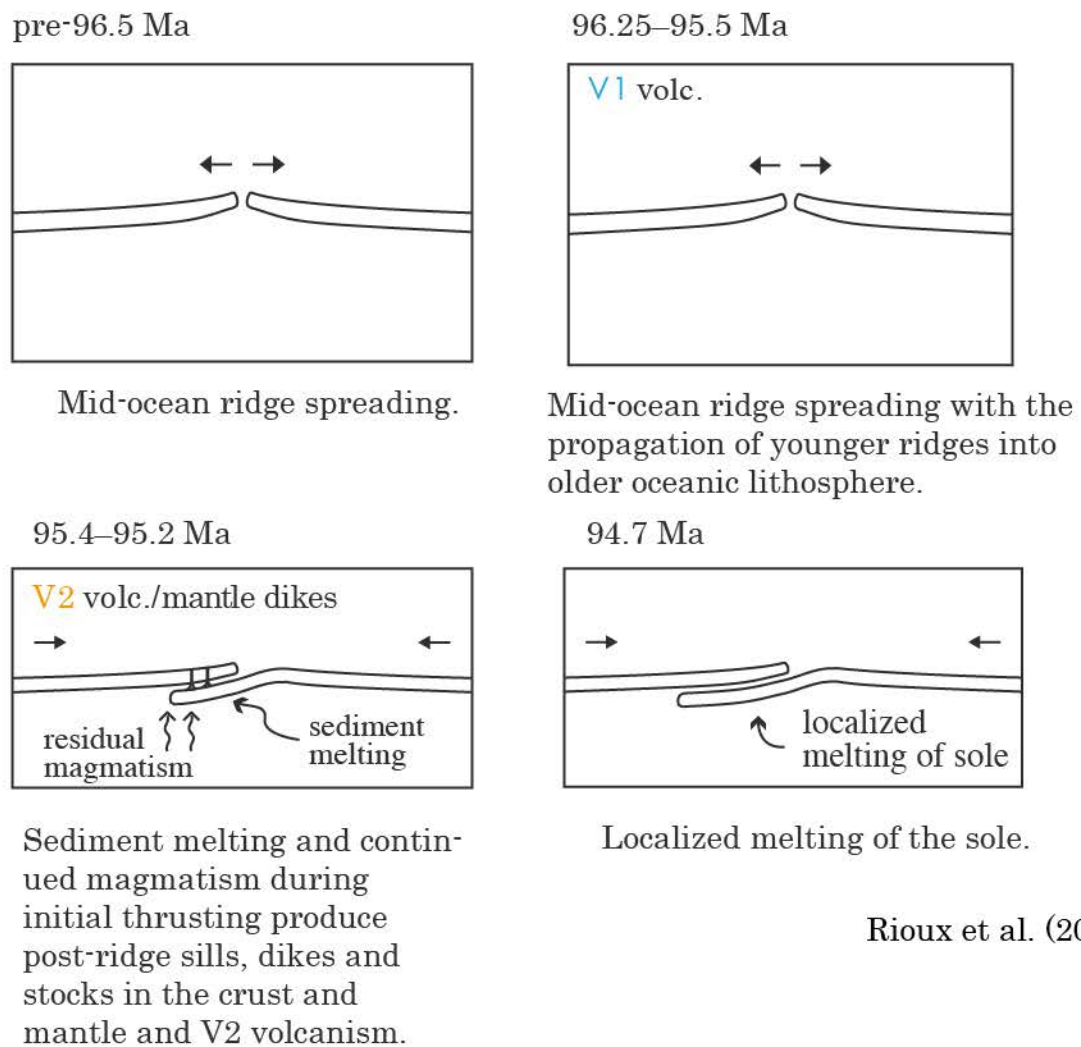


Fig. 2-5. Pb/U (zircon) dates from the gabbros and plagiogranites in the Oman ophiolite (Rioux et al., 2012, 2013). Left part of the figure shows Pb/U (zircon) dates of the V1 magmatism and another part of the figure shows Pb/U (zircon) dates of the V2 magmatism.



Rioux et al. (2013)

Fig. 2-6. Tectonic model and magmatic age of the Oman ophiolite from Rioux et al.(2013).

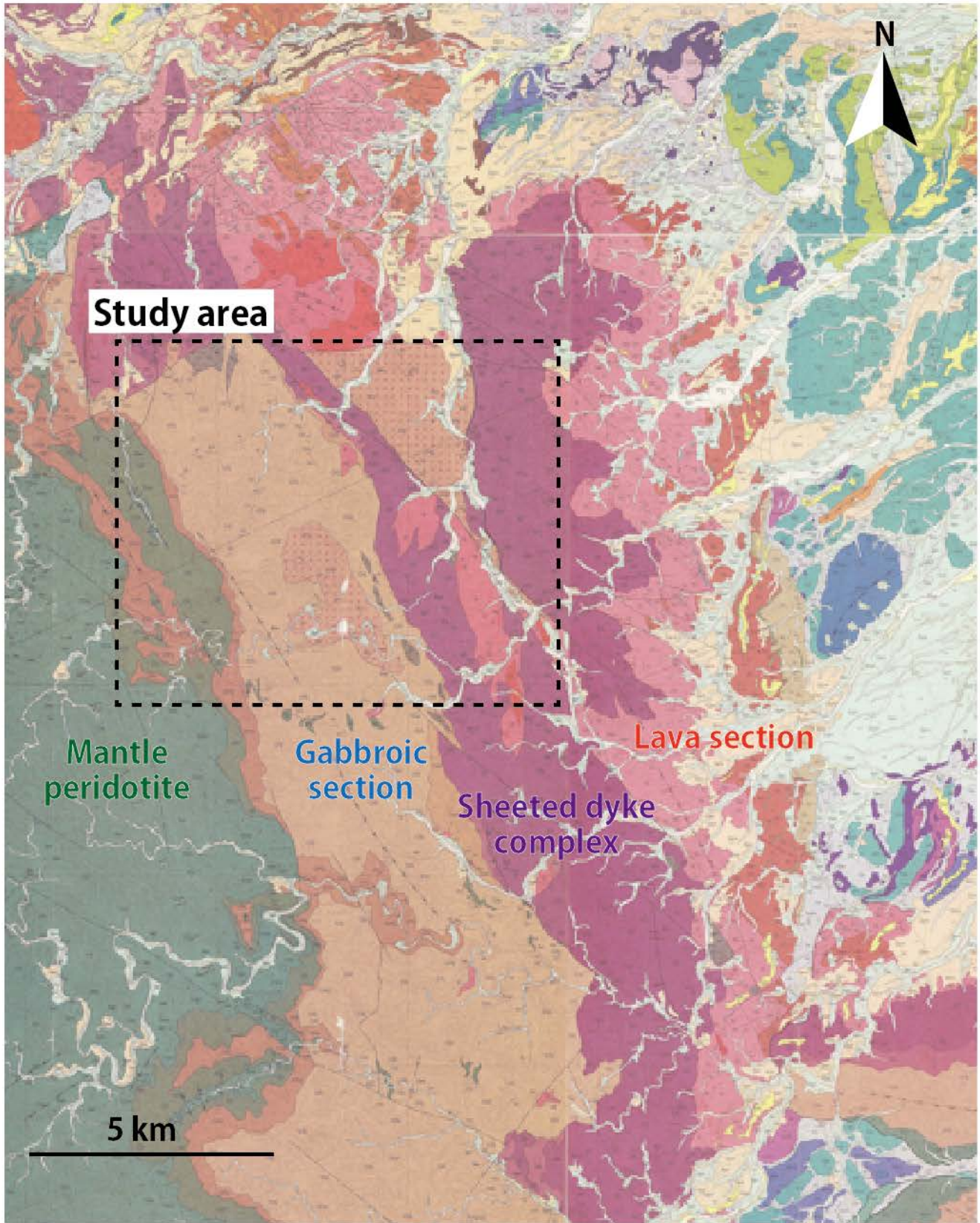


Fig. 2-7. Geological map of the northern Salahi block and study area (modified from Ministry of Petroleum and Minerals, 1987).

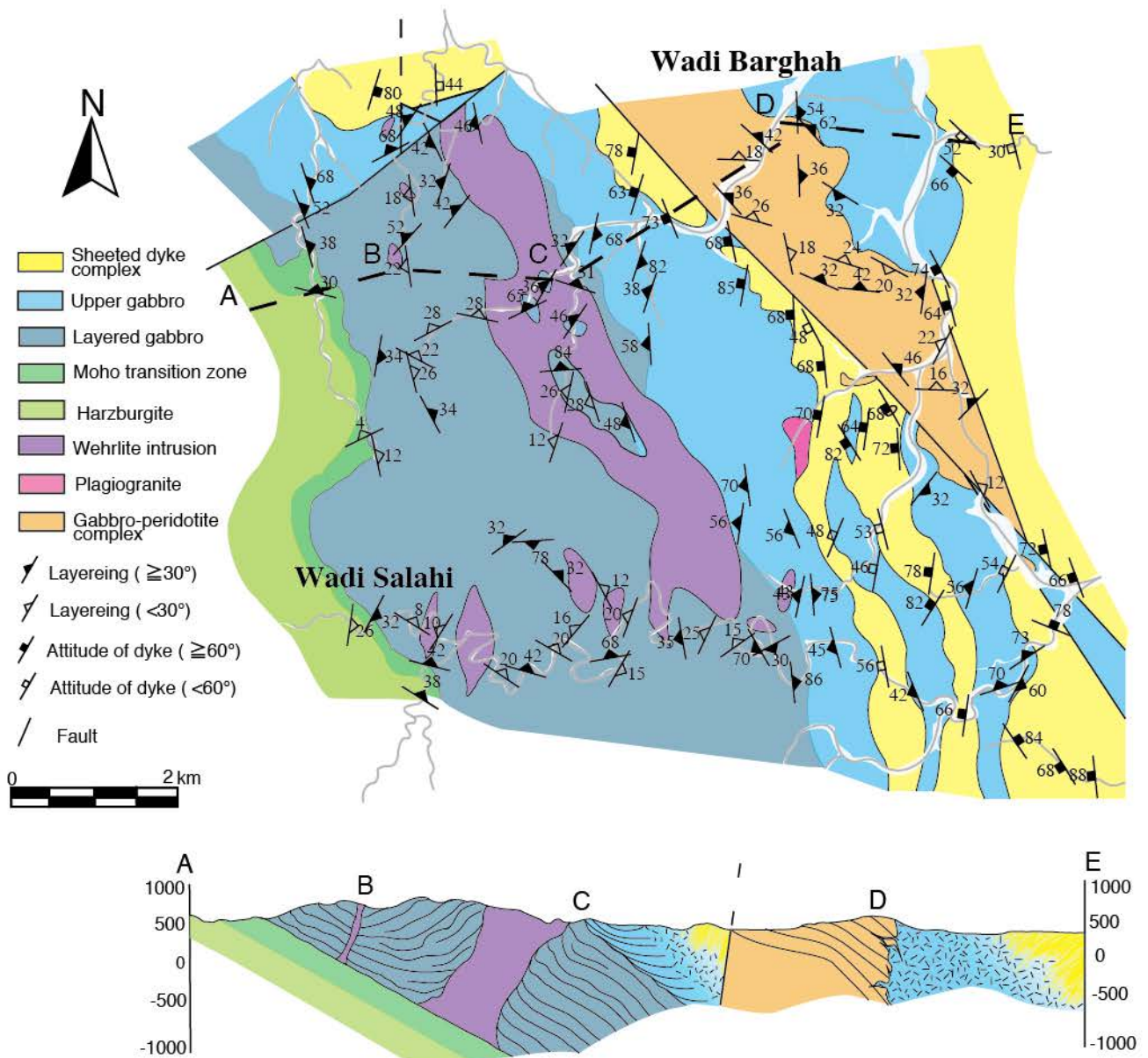


Fig. 2-8. Geologic of Wadi Barghah to Salahi area. The structure of the gabbro is locally complex and wehrlitic intrusions are present at various levels in the gabbroic sequence (Kaneko et al., 2014). The host layered gabbros of the northern study area form an apparent antiform around the large wehrlitic intrusion.

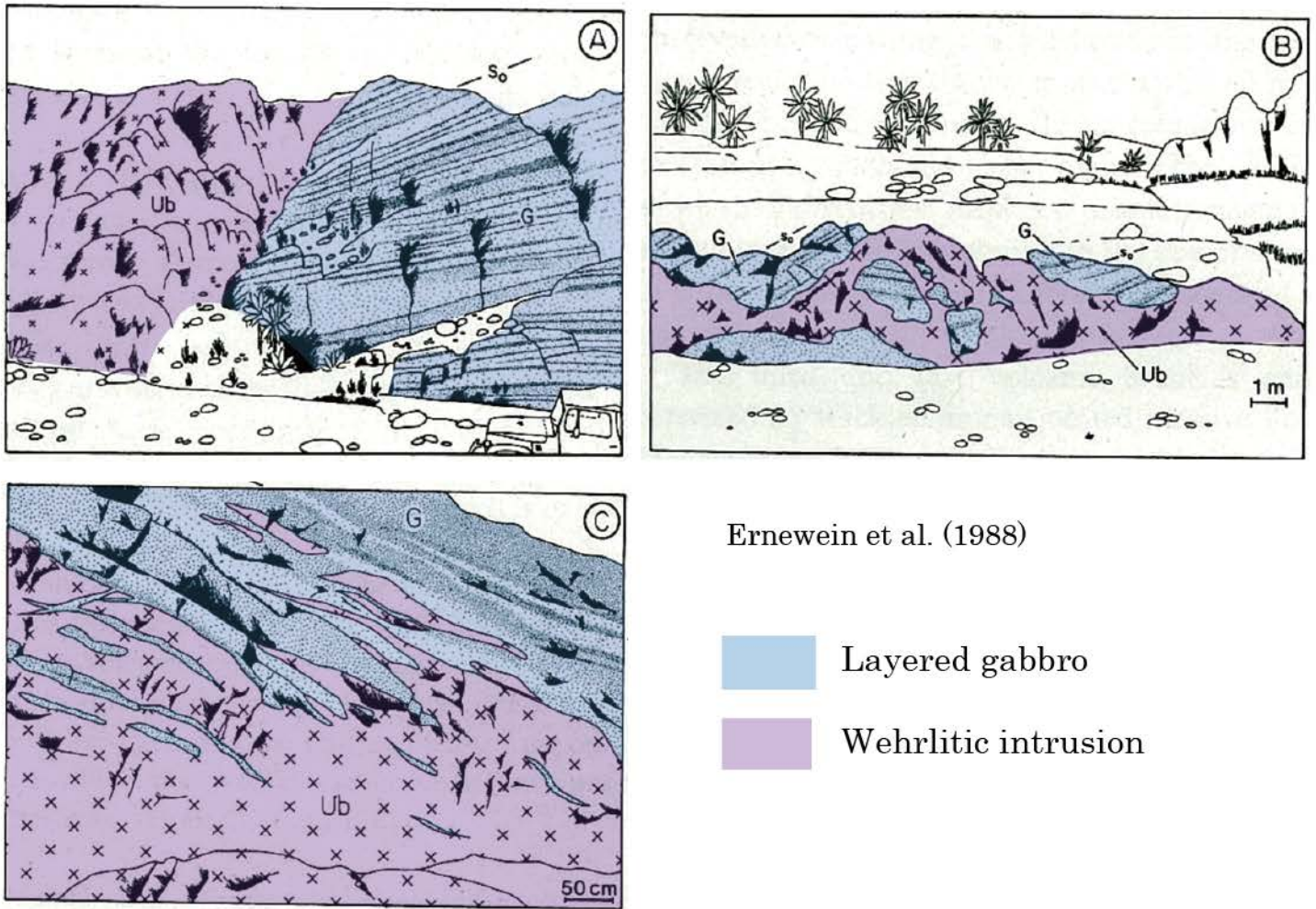


Fig. 2-9. Intrusive contacts and relationships between the host gabbros and wehrlitic intrusions (Ernewein et al., 1988). a) Contact is sharp and at a high angle to the layering of the host gabbros. b) Wehrlitic intrusions contain numerous layered gabbroic xenoliths. c) Form of wehrlitic sills that are generally of limited extent.

3. 研究地域の地質

Wadi Barghah および Wadi Salahi 地域のオフィオライト層序は、西から東へ向かって下位のマントルカンラン岩、モホ遷移帯、層状ガブロ、上部ガブロ、シート状岩脈群が成層している。モホ遷移帯、層状ガブロ、上部ガブロ層の層状構造や鉱物定向配列による構造は、NNW-SSE 走向・緩やかな東傾斜を示している。ウェールライト質貫入岩体が層状ガブロ層から上部ガブロ-シート状岩脈群境界部付近まで広く分布している (Fig. 3-1)。

本研究により研究地域の層状ガブロ層上部から上部ガブロ層基底部中には、新たに発見された大規模ウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex) が延長約 10 km・幅 2 km に渡って分布している。本岩体は主にダナイトや斜長石ウェールライトから構成され、母岩のガブロ層の層状構造を大規模に乱している。そのため、本貫入岩体を軸とした見かけ上の背斜構造が層状ガブロ岩層で認められる (Fig. 2-8)。

また、上部ガブロ-シート状岩脈群の境界部付近においても大規模な苦鉄質-超苦鉄質貫入岩体 (Lasail-south complex : 10 x 2 km) が分布していることが既に報告されていたが (Ministry of Petroleum and Minerals, 1987) (Fig. 2-7)、本岩体は周囲の海洋地殻層序と断層で囲まれ、詳細な野外産状や岩石学的な特徴は報告されていなかった。本岩体周辺の詳細な野外調査の結果、シート状岩脈群が Lasail-South complex に貫入する産状を発見した。この野外産状は、Lasail-south complex の形成場を制約できる貴重な証拠であり、本研究地域の火成活動史や海洋地殻の成長・改変プロセスの解明に新たな展望を与えることができる。

3.1 マントルカンラン岩層

マントルカンラン岩は上部マントルを構成する岩石であり、本研究地域西側の海洋地殻層序下位に連続的に露出している。本研究地域北部では Wadi Hansi 地域、南部では Wadi Salahi 地域で観察され、主にハルツバージャイトと少量のダナイトから構成される。ハルツバージャイトに含まれるスピネルには定向配列が認められ、N-S 走向・15-40° E 傾斜を示している。マントルカンラン岩層とモホ遷移帯の岩石学的な境界部は、ハルツバージャイトの消滅およびモホ遷移帯を構成するダナイトと斜長石

第3章 研究地域の地質

ウェールライトの出現で定義されている (Lippard et al., 1986)。

ダナイトはハルツバージャイトの構造に対し、調和的に貫入するコンコードントダナイトと非調和的なディスコードントダナイトが存在する。ダナイト中の Cr スピネルや単斜輝石の REE 組成から、コンコードントダナイトは海嶺的、ディスコードントダナイトは島弧的な化学組成の特徴を有していることが報告されている (Arai et al., 2006; Akizawa et al., 2013)。同様に本研究地域のマントルカンラン岩層中のダナイトは、幅 2-40 cm でハルツバージャイトの構造に調和的に貫入するタイプと幅 10-80 cm でハルツバージャイトの構造に非調和的に貫入するタイプが存在する。

3.2 モホ遷移帯

モホ遷移帯はマントルカンラン岩と層状ガブロ基底部の間に分布し、本研究地域北部では Wadi Hansi 地域、南部では Wadi Salahi 地域で観察される (Fig. 3-1)。オマーン・オフォオライトにおけるモホ遷移帯の野外産状は多くの研究者によって詳細な記載がなされており、モホ遷移帯は主にダナイトやウェールライトから構成され上位の層準に行くほどガブロシルの割合が増加することが報告されている (Nicolas and Prinzhofer, 1983; Benn et al., 1988; Boudier and Nicolas, 1995; Korenaga and Kelemen, 1997; Jousselin and Nicolas, 2000; Nicolas and Boudier, 2000; Goodenough et al., 2010)。研究地域に露出するモホ遷移帯は、主にダナイト、斜長石ウェールライト、優黒質トロクトライトおよびガブロシル (カンラン石ガブロおよびガブロ) から構成される。研究地域北部の Wadi Hansi 地域のモホ遷移帯は NW-SE 走向・ $30-40^{\circ}$ NE を示し (Fig. 3-1)、モホ遷移帯の層厚は約 300m である。研究地域南部の Wadi Salahi 地域のモホ遷移帯は、N-S 走向・ $25-30^{\circ}$ E を示し (Fig. 3-1)、モホ遷移帯の層厚は北部地域よりも薄い 50m である。モホ遷移帯の層厚が北部へ向かって厚くなることは、第2章3節で述べた海嶺セグメント構造の位置関係と調和的で研究地域北部はセグメント中心部付近に位置していると考えられる。

研究地域に露出するモホ遷移帯は、塊状のダナイトと斜長石・単斜輝石の量比が不均質な斜長石ウェールライトから主に構成される。ダナイトには斜長石ウェールライトの構造と調和的に数 cm から数十 cm のシルを形成するタイプも存在する (Fig. 3-2a)。モホ遷移帯の上位では層厚数十 cm から数 m のガブロのシルを挟み、層状ガ

第3章 研究地域の地質

グロ岩層へと遷移する (Fig. 3-2b)。ガブロ層周辺では斜長石と単斜輝石が母岩のダナイトやウェールライトに染み込む様な産状を示すインプリグネイテッド・ダナイト (Benn et al., 1988) を形成し、斜長石と単斜輝石の量比が多いガブロの薄層が増加する (Fig. 3-2c,d,e)。ガブロシルは主にダナイトやウェールライトに貫入しているが、研究地域北部の Wadi Hansi 地域では層状ガブロのブロックがダナイトやウェールライトに取り込まれている (Fig. 3-2f)。Lippard et al. (1986) は、層状ガブロ基底部のガブロシルの割合が 50%以上としていることから、本論文でも同様の定義を用いている。しかし、本研究地域はモホ遷移帯と層状ガブロ層の境界が断層で接していることが多く、モホ遷移帯の正確な層厚や移り変わりを観察することは困難である。

3.3 層状ガブロ層

層状ガブロはモホ遷移帯の上位に分布し、鉱物量比 (カンラン石や斜長石) の差によるリズム的な層状構造 (層厚 1~50 cm) を有し (Fig. 3-3a,b)、本研究地域北部では Wadi Barghah 地域、南部では Wadi Salahi 地域で連続的に観察される。本岩相は主にウェールライト、トロクトライト、カンラン石ガブロ、ガブロから構成され、研究地域北部の層状構造はウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex) の貫入によって大規模に乱されている。Barghah complex の北西側の層状構造は NE-SW 走向・20-30° NW 傾斜を示すのに対し、Barghah complex 北東側の層状構造は N-S 走向・30-35° E 傾斜を示している (Fig. 3-1)。そのため、本研究地域の層状ガブロは、Barghah complex の貫入によって初生的な層状構造が乱され、見かけ上の背斜構造を形成している。本研究地域南部の Wadi Salahi に露出する層状ガブロの層状構造も同様に乱されており、Barghah complex の南端部や多量のウェールライト質貫入岩体の影響を受けていると考えられる。

3.4 上部ガブロ層

上部ガブロは層状ガブロ層とシート状岩脈群の間に露出しており、本研究地域北部では Wadi Barghah 地域、南部では Wadi Salahi 地域で連続的に観察できる。本岩相は主にカンラン石ガブロ、ガブロ、普通角閃石ガブロ、オキサイドガブロ、ガブロノ

第3章 研究地域の地質

ーライトから構成され、野外産状や記載岩石学的特徴から異なる三つのタイプに区別される。

1. フォリエィテッドガブロ：本岩相は斜長石の定向配列によって特徴づけられ、層状ガブロ層の上位に連続的に分布している (Fig. 3-3c,d)。
2. 塊状ガブロ：本岩相は斜長石の定向配列が観察されず、構成鉱物の粒度が均質であることで特徴付けられる (Fig. 3-3e)。
3. バリ組織ガブロ (Macleod and Yaouancq, 2000)：単一の露頭内で構成鉱物が中粒から細粒のパッチ状を成しペグマタイト状組織を有している。本岩相の構成鉱物には普通角閃石や斜方輝石、オキサイドを含むことが多く、上部ガブロの中で結晶分化作用もしくは同化作用の影響を強く受けていると考えられる (Fig. 3-3f)。

本研究地域のフォリエィテッドガブロはウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex) によって構造の変化を僅かに受けているが、大局的には岩相下部で NNE-SSW 走向・65-70° E 傾斜、岩相上部で NNE-SSW 走向・60-80° W 傾斜を示し見かけ上の向斜構造を形成している。塊状ガブロおよびバリ組織ガブロはフォリエィテッドガブロとシート状岩脈群の間に広く露出している。

3.5 シート状岩脈群

シート状岩脈群はドレライト岩脈 (幅 50-150 cm) から構成され、貫入方向は NNW-SSE 走向・70-80° W を示す。シート状岩脈群と上部ガブロの境界部はルートゾーン (Root Zone) と呼ばれ、ドレライト岩脈が上部ガブロに貫入し (Fig. 3-4a)、上部ガブロをくさび状に取り込んでいる (Fig. 3-4a,b)。本研究地域はシート状岩脈群が3列存在し、西側の2列は下位の海洋地殻層序 (モホ遷移帯からガブロ層) と連続しているのに対し、東側のシート状岩脈群と西側のシート状岩脈群およびルートゾーンの間には Lasail-south complex が分布している。ドレライト岩脈は幅約 30-200 cm を示し (Fig. 3-4c)、岩脈中心部では粗粒なドレライトから構成されるのに対し、接触急冷縁に向かって粒度が細粒になり接触部では無斑晶質玄武岩に変化する。

Lasail-south complex と接する東側のシート状岩脈群基底部は苦鉄質ホルンフェルスに変成している。研究地域北部では苦鉄質ホルンフェルス中に花崗岩質脈 (幅数 mm-数 cm) がネットワーク状に貫入し (Fig. 2-4d)、苦鉄質ホルンフェルスがメラノ

第3章 研究地域の地質

ゾームに花崗岩質脈がリュウコゾームに対応すると考えられる。苦鉄質ホルンフェルスと花崗岩質脈の境界部には角閃石が出現しており、境界部はシャープに移り変わる。研究地域中間部に分布する東側のシート状岩脈群基底部も同様に、苦鉄質ホルンフェルスから構成され、初生的なドレイト岩脈の貫入方向を保存している (Fig. 3-4e)。

3.6 ウェールライト質貫入岩体

ウェールライト質貫入岩体は層状ガブロ-上部ガブロ層に分布し (Fig. 3-1)、ストック状に貫入する岩体の大部分は NNW-SSE 方向を示し、シル状に貫入する岩体は層状ガブロの層状構造と調和的に分布 (貫入) している。ウェールライト質貫入岩体は主に塊状の斜長石ウェールライトとダイナイト、優黒質トロクトライト、優黒質カンラン石ガブロから構成される。岩相は単斜輝石と斜長石の量比が不均質で同一露頭内にダイナイトと斜長石ウェールライトが存在している (Fig. 3-5a,b)。

3.6.1 Barghah complex

Barghah complex は延長約 10 km、幅約 2 km のオマーン・オフィオライト北部に分布するウェールライト質貫入岩体の中でも最大規模の岩体である。岩相は塊状で単斜輝石と斜長石が非常に不均質に分布している (Fig. 3-5a,b)。Barghah complex は母岩のガブロとの接触部付近では斜長石や単斜輝石の量比が多く、斜長石ウェールライトや優黒質トロクトライト、優黒質ガブロから構成される。本貫入岩体は多量のガブロのゼノリス状のブロック (数十 cm-100m) を包有し、母岩のガブロとの境界は舌状・指交状で両者に急冷縁が観察されないことが特徴である (Fig. 3-5c,d)。ブロックとして取り込まれているガブロは層状構造が発達しているが、研究地域の層状ガブロの構造とは非調和的な構造を示している。ガブロブロック周辺では、ウェールライト質貫入岩体側に単斜輝石のオイコクリスト (最大粒径 18 mm) が観察され (Fig. 3-5e)、単斜輝石と斜長石の鉱物量比が増加する。Barghah complex の北部 (Wadi Barghah) では、母岩のガブロとの間でマグマミングリングが観察され (Fig. 3-5f)、半固結・高温状態時のガブロにカンラン石に富むクリスタルマッシュ (Barghah complex) が貫入し、ガブロブロックの一部が貫入したウェールライト質マグマと混

第3章 研究地域の地質

合した可能性が考えられる。

3.6.2 Lower wehrlitic intrusions

Barghah complex は層状ガブロ層上部から上部ガブロ層下部の広範囲に渡って貫入しているが、本研究地域では層状ガブロ層の基底部付近から中間部にも小規模なウェールライト質貫入岩体が多数存在する。本論文では、Barghah complex よりも下位の層準に分布する小規模なウェールライト質貫入岩体を Lower wehrlitic intrusions とする。本研究地域南部の Wadi Salahi 地域では、ウェールライト質貫入岩体がモホ遷移帯から派生している産状が観察される。Lower wehrlitic intrusions は層状ガブロの構造に対しストック状およびシル状に貫入するタイプが存在する。ストック状に分布するタイプは幅 15 cm から 2km の規模を示し、斜長石ウェールライトやダナイトから構成される (Fig. 3-6a)。大規模なウェールライト質貫入岩体は層状ガブロをブロックとして取り込み、ガブロブロック周辺では大型の単斜輝石が増加する (Fig. 3-6b)。シル状に分布するタイプは層厚数十 cm から数 m 規模で斜長石ウェールライトや優黒質カンラン石ガブロから構成され (Fig. 3-6c)、岩体の規模が小さいほど構成鉱物に斜長石や単斜輝石の量比が多い傾向にある。研究地域南部の Wadi Salahi 地域ではカンラン石と単斜輝石の鉱物量比の差によるリズム的な層状構造 (層厚 5-60 cm) を形成するウェールライト質貫入岩体が分布している (Fig. 3-6d,e)。

3.7 苦鉄質-超苦鉄質複合岩体 (Lasail-south complex)

本研究地域の上部ガブロ-シート状岩脈群の境界部付近に 10×2 km (NNW-SSE 方向) の大規模な苦鉄質-超苦鉄質岩体 (Lasail-south complex) が分布する。Lasail-south complex は単斜輝石ダナイト、ウェールライト、レルゾライト、斜方輝石レルゾライト、優黒質カンラン石ガブロノーライト、普通角閃石-カンラン石ガブロノーライト、ガブロノーライト、普通角閃石-カンラン石ガブロ、カンラン石単斜輝岩、単斜輝岩から構成され、構成鉱物の量比の違いによる層状構造や単斜輝石の定向配列が観察される (Fig. 3-7)。本岩体北部には沈み込み帯火成活動 (V2) で形成された斜長花崗岩体 (Lasail complex : 4.7 x 3.8 km) が存在している (Lippard et al., 1986; Tsuchiya et

第3章 研究地域の地質

al., 2013)。Lasail complex 北部は石英閃緑岩や閃緑岩、トータル岩から構成され、南部では層状ガブロ（カンラン石ウェブステライト、カンラン石ガブロノーライト、ガブロノーライト、普通角閃石ガブロノーライト、優白質ガブロノーライト）や塊状ガブロが広く分布している（Tsuchiya et al., 2013）。Tsuchiya et al. (2013) は、塊状ガブロを化学組成の違いから海嶺ステージ（Massive gabbro 1）と後期ステージ（Massive gabbro 2）の二つに区別している。Massive gabbro 2 は海嶺ステージで形成された石英閃緑岩をブロックとして包有しており、Massive gabbro 2 の南部は Lasail-south complex 北部に連続して分布すると地質図で表現している（Fig. 1 in Tsuchiya et al., 2013）。

これまで Lasail-south complex は周囲の海洋地殻層序と断層で接しているとされていたが（Ministry of Petroleum and Minerals, 1987）、Lasail-south complex の西側ではドレライト岩脈にブロックとして取り込まれている産状を新たに発見した（Fig. 3-8a,b）。一方で、Lasail-south complex はガブロにネットワーク状に貫入されブロックとして取り込まれている（Fig. 3-8c）。さらに、Lasail-south complex の北東部ではシート状岩脈群と接しており、10-150 cm の細粒なガブロノーライトをブロックとして取り込んでいる（Fig. 3-8d）。Lasail-south complex はドレライト岩脈やガブロに貫入される一方で、細粒ガブロノーライトをブロックとして取り込んでいるため、本岩体の形成時期・成因は本研究課題における重要な問題の一つである。

3.7.1 優黒質層状ガブロノーライト

本岩相は Lasail-south complex 下位の層準を構成し（層厚 >600 m）、北部では NW-SE 走向・ $30-50^{\circ}$ E 傾斜、南部では E-W 走向・ $15-40^{\circ}$ N 傾斜を示す（Fig. 3-9a）。本岩相下位では単斜輝石とカンラン石の量比の差による層状構造（層厚 5.0-200 cm）を形成し、主にダナイトやウェールライト、カンラン石単斜輝岩、単斜輝岩から構成される（Fig. 3-9b）。本岩相中間部では斜方輝石とカンラン石の量比の差による層状構造（層厚 15-500 cm）に変化し、主に普通角閃石-斜長石レルゾライトや含カンラン石優黒質ガブロノーライトから構成される（Fig. 3-9c）。本岩相上部ではカンラン石と斜長石の量比の差による層状構造（層厚 15-300 cm）が発達し、主に普通角閃石-斜長石レルゾライトや普通角閃石ガブロノーライト、ガブロノーライトから構成され

第3章 研究地域の地質

る (Fig. 3-9d,e)。優黒質層状ガブローライトは多様な構成岩石を示し、下部から上部に向かって調和的な層状構造を有している (Fig. 3-9a)。

Lasail-south complex 西部では海洋地殻層序を構成するシート状岩脈群と上部ガブローライトと断層で接しているが、岩体中間部 (西側) では幅 30-80 cm のドレライト岩脈に貫入され、優黒質層状ガブローライトがブロックとして取り込まれている (Fig. 3-8b)。一方、研究地域北部の Wadi Barghah 周辺では優黒質層状ガブローライトがガブローライトおよび堇青石-斜方輝石岩をブロックとして取り込んでいる (Fig. 3-9f)。ガブローライトおよび堇青石-斜方輝石岩は直径 30-200 cm のブロックとして存在し、優黒質層状ガブローライトとの境界部に斜方輝石バンド (0.5-1.0 mm) が形成されている。また、ブロックとして取り込まれているガブローライトおよび堇青石-斜方輝石岩は互層 (層厚 1-5 cm) を形成している (Fig. 3-9g)。優黒質層状ガブローライト基底部 (中間部付近) でも同様に堇青石-斜方輝石岩体 (50 × 230 m) が分布しており、石英脈がネットワーク状に貫入している (Fig. 3-9h,i)。堇青石-斜方輝石岩体の周辺にはシート状岩脈や優黒質層状ガブローライトが分布しているが、貫入関係は不明瞭である。

3.7.2 フォリエィテッドガブローライト

本岩相は優黒質層状ガブローライトの上位に分布するが、連続性が悪く塊状ガブローライト下部から中間部付近においても観察される。主にガブローライトや普通角閃石-斜長石レルゾライトから構成され、NNE-SSW 走向・40-60° E 傾斜や NNE-SSW 走向・30-45° W 傾斜、E-W 走向・35° S 傾斜などの複雑な構造を示している。構成鉱物である単斜輝石や斜長石の定向配列による面構造が発達しており (Fig. 3-10)、鉱物量比の差による層状構造は観察されない。本岩相下部では普通角閃石-斜長石レルゾライトから構成され、カンラン石や単斜輝石などの苦鉄質鉱物に富んでいる (Fig. 3-10a)。一方、本岩相上部ではガブローライトから構成され、カンラン石の出現は認められない (Fig. 3-10b)。また周囲の塊状ガブローライトとの関係性は不明瞭で、同一露頭内でフォリエィテッドガブローライトと塊状ガブローライトが存在している。

第3章 研究地域の地質

3.7.3 塊状ガブローライト

塊状ガブローライトは Lasail-south complex の上位の層準を構成し、岩体東側では海洋地殻層序のシート状岩脈群と接している。研究地域北部の Wadi Barghah 周辺で最も連続的に露出しており、南部へ向かって分布が少なく収斂していく。本岩相は層厚が > 420 m で、主にガブローライトや普通角閃石ガブローライトから構成されている。構成鉱物の粒度は均質であるが (Fig. 3-11a,b)、鉱物粒度の違いによる層状構造や墨流し状構造を岩相下部から中部で示している (Fig. 3-11c,d)。優黒質層状ガブローライトやフォリエィテッドガブローライトとの岩相境界は不明瞭であり、漸移的に変化している。

3.7.4 ブロック：細粒ガブローライト

優黒質層状ガブローライト中には細粒なガブローライトおよび堇青石-斜方輝岩がブロックとして存在することを先の 3.7.1 優黒質層状ガブローライトの地質で説明している。細粒なガブローライト中にはオキサイドが多量に出現しており、主にオキサイドガブローライトから構成される。研究地域北東部の塊状ガブローライトは、細粒なガブローライト (直径 5-150 cm) をブロックとして取り込んでいる (Fig. 3-12)。ガブローライトブロックの近傍には研究地域で最も東側に分布するシート状岩脈群が露出している。塊状ガブローライトと苦鉄質ホルンフェルスの境界部には粒度が不均質な閃緑岩から石英閃緑岩が形成されている (Fig. 3-12a,b)。苦鉄質ホルンフェルスは周囲の塊状ガブローライトと共に熱水変質の影響を強く被っており、葉片状の割れ目が発達している (Fig. 3-12c,d)。

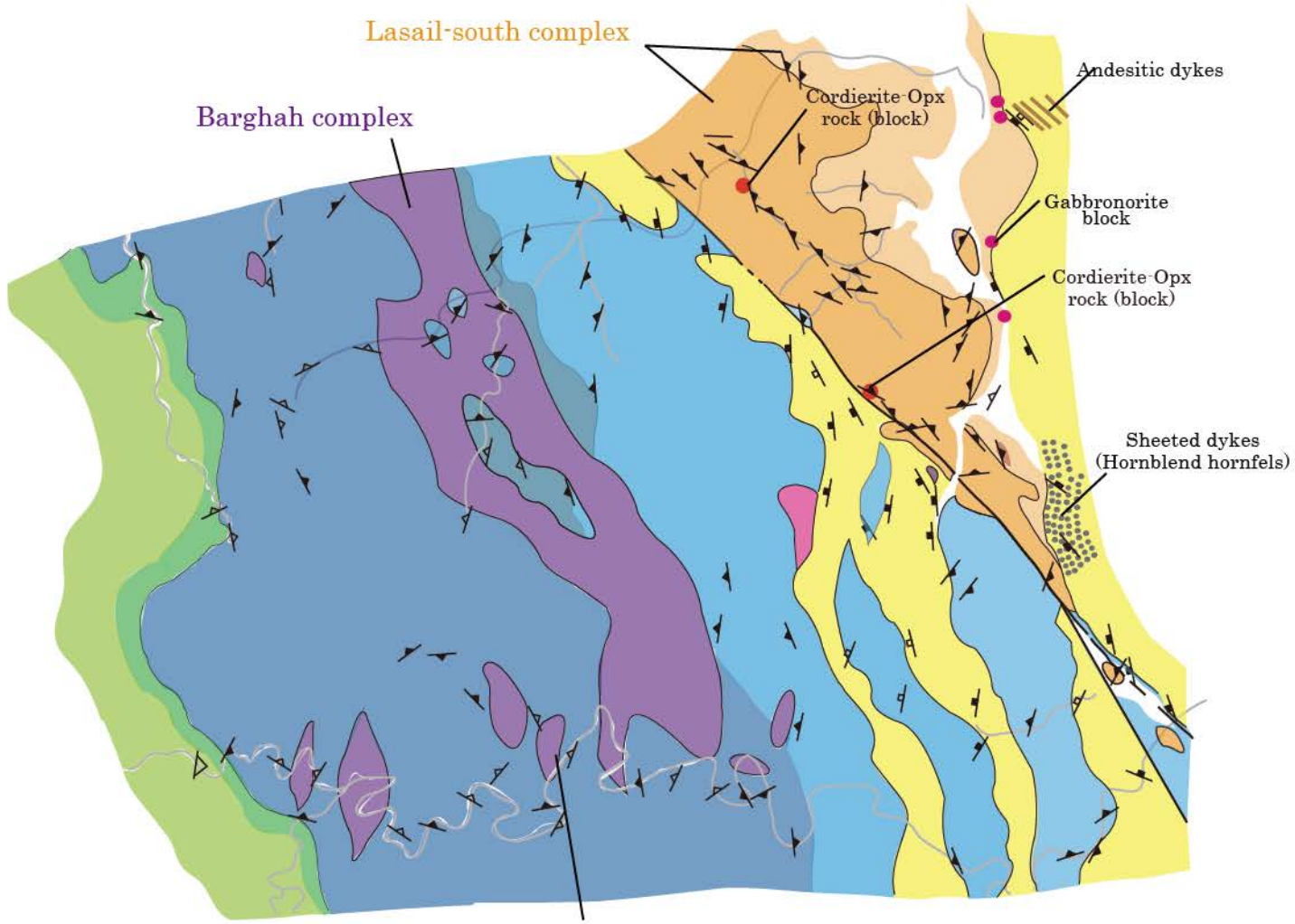
3.7.5 後期貫入岩体：苦鉄質-珪長質貫入岩体および安山岩質岩脈

苦鉄質-珪長質貫入岩体は、Lasail-south complex 全域に貫入しており (Fig. 3-13a)、優黒質層状ガブローライトをブロックとして取り込んでいる (Fig. 3-8c)。本貫入岩体は構成鉱物の粒度が不均質な角閃石ガブローやトータル岩から構成され (Fig. 3-13b)、大型の角閃石が貫入面に対して垂直に結晶成長するコムストラクチャーが

第3章 研究地域の地質

観察される (Fig. 3-13c)。熱水変質の影響を強く被っており、大部分の単斜輝石は角閃石化している。

研究地域北部ではシート状岩脈群の貫入方向に対して高角に貫入する安山岩質岩脈 (NW-SE 走向・20-40° E 傾斜) が分布している (Fig. 3-13d)。



Wehrlitic intrusions of the low olivine Fo

Lasail-south complex

- Massive gabbronorite and Foliated gabbronorite
- Layered gabbronorite

- Wehrlitic intrusions (off-axis magmatism)
- Sheeted dyke complex
- Upper gabbro
- Layered gabbro
- MTZ
- Mantle peridotite
- Cordierite-Opx rock block
- Gabbronorite block
- Mafic hornfels
- Andesitic dykes

- Layering ($\geq 30^\circ$)
- Layering ($< 30^\circ$)
- Attitude of dyke ($\geq 60^\circ$)
- Attitude of dyke ($< 60^\circ$)
- Fault



Fig. 3-1. Geological map of Wadi Barghah and Wadi Salahi area in the northern Salahi block.

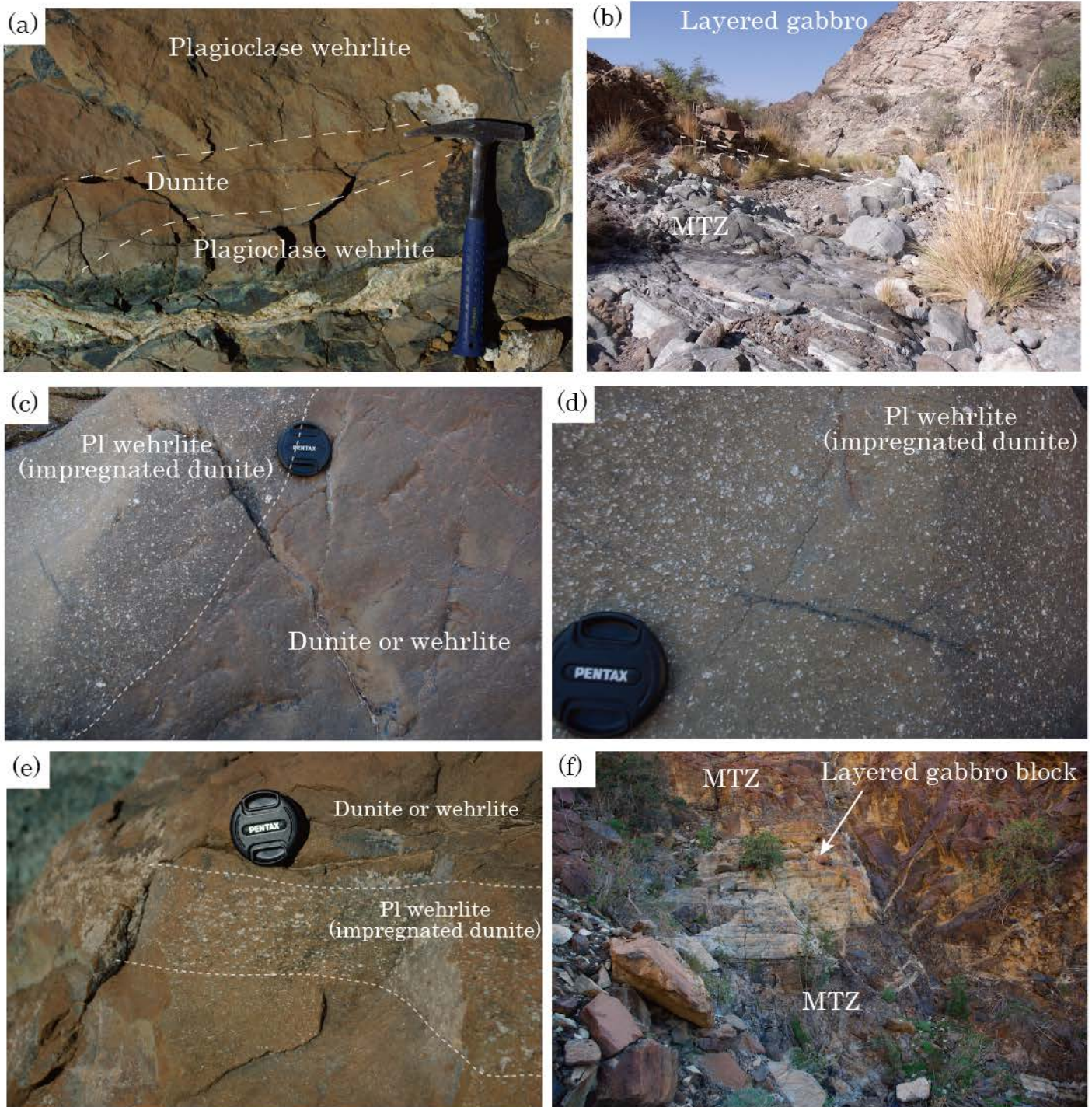


Fig. 3-2. Typical outcrops of the MTZ. (a) Dunite layer in plagioclase wehrlite. (b) Distant view of the boundary of the MTZ and layered gabbro section. Numerous gabbroic sills intruded in the upper part of the MTZ. (c) Contact between the impregnated dunite (plagioclase wehrlite) and dunite or wehrlite. (d) Close-up of (c) showing the impregnated dunite. (e) Typical outcrop of the impregnated dunite, occurring a sill of plagioclase wehrlite. (f) MTZ contains and intrudes in a large layered gabbro block. MTZ; moho transition zone and Pl; plagioclase.

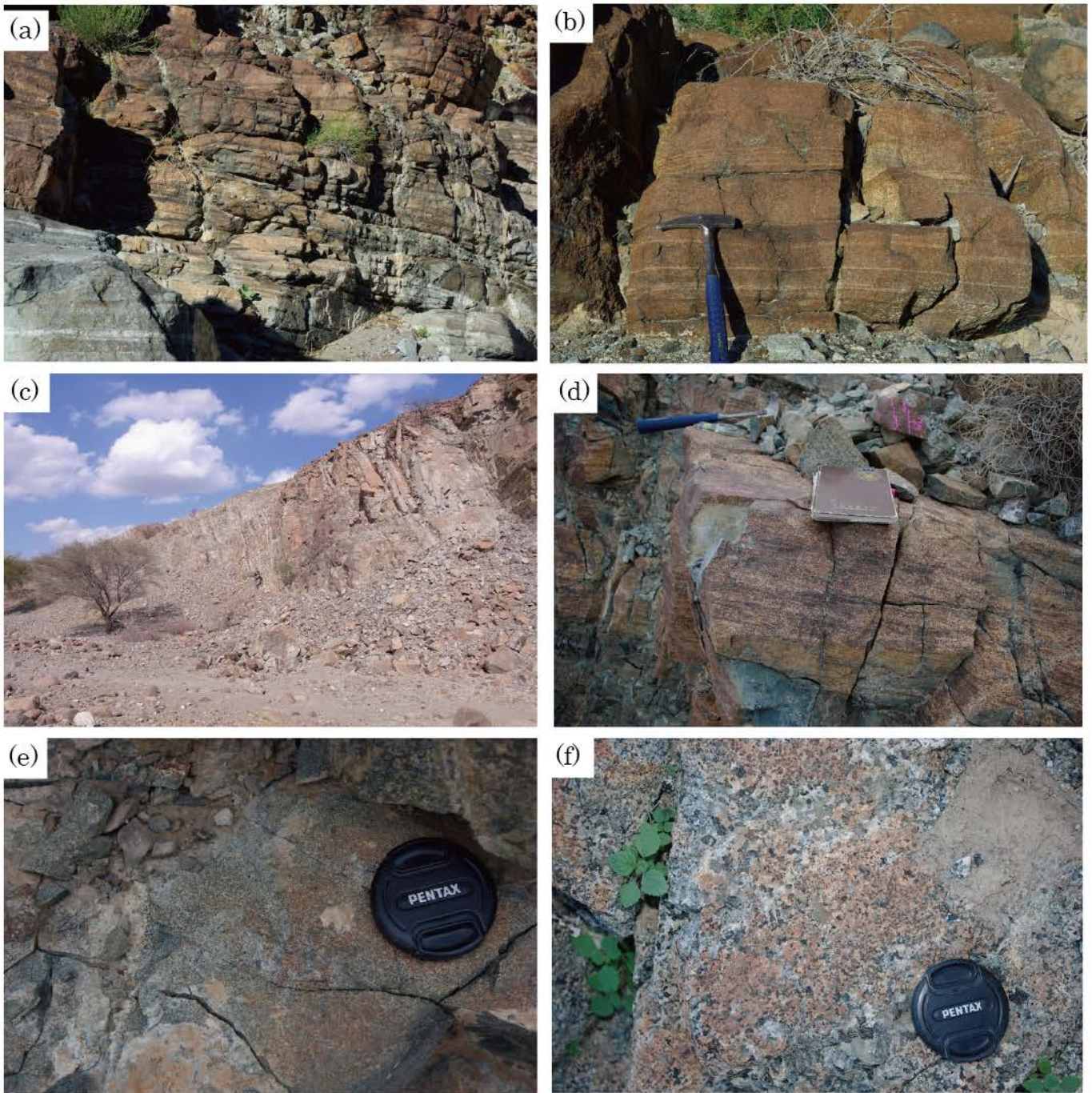


Fig. 3-3. Typical outcrops of the gabbroic section. (a,b) Layered gabbro occurs alternations of olivine-rich and plagioclase-rich layers. (c,d) Distant and close-up view of foliated gabbro, and characterized by a preferred orientation of plagioclase. (e) Massive gabbro with a homogeneous grain size. (f) Vari-textured gabbro with a heterogeneous grain size.

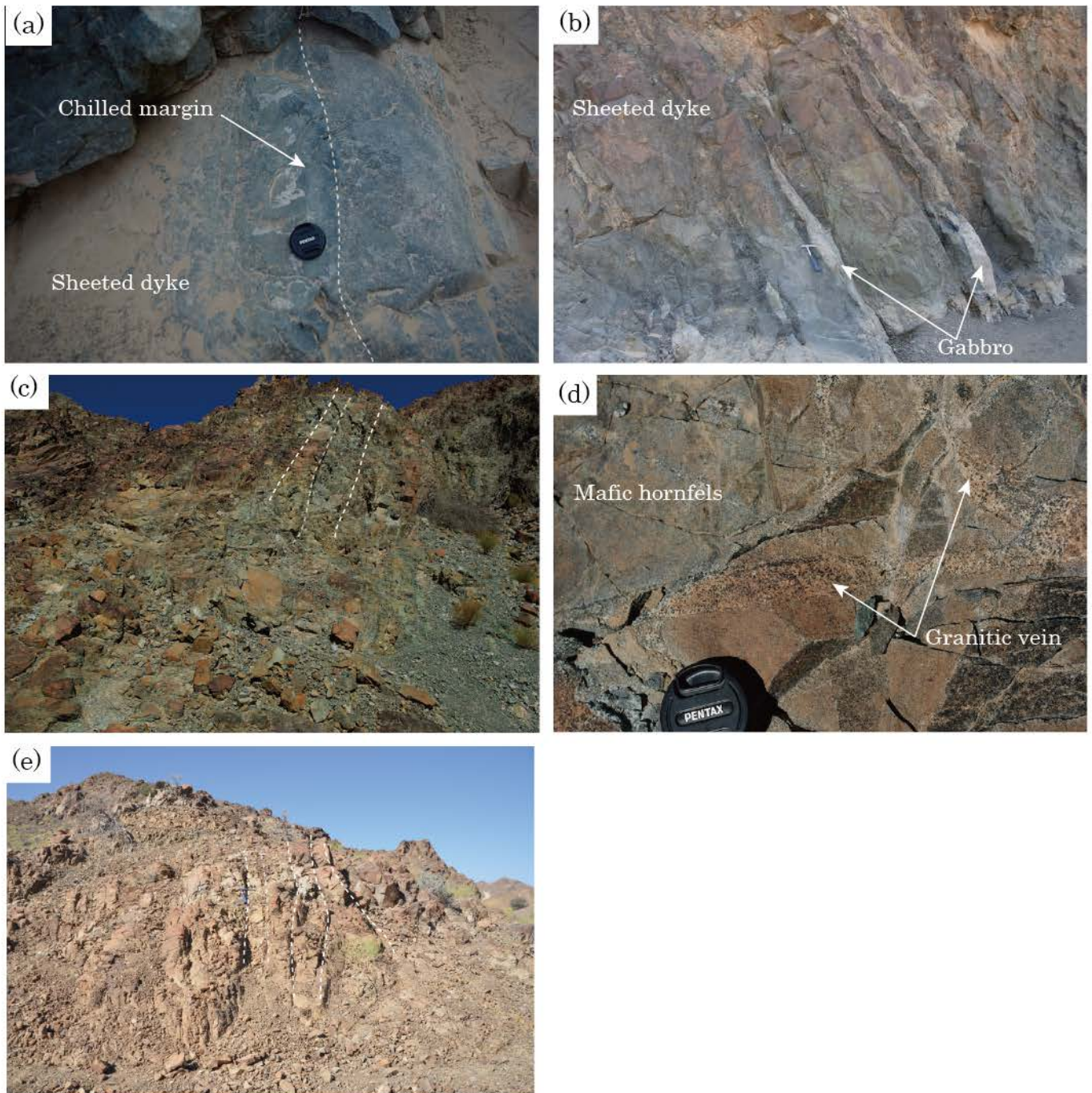


Fig. 3-4. Typical outcrops of the sheeted dyke complex and mafic hornfels. (a) Doleritic dykes preserve a chilled margin. (b) Doleritic dykes contain wedge shape of gabbroic blocks. (c) Sheeted dyke complex show a high angle intrusive trend, and wide of dykes showing around 30-80 cm thickness in this outcrop. (d) The network-like of granitic veins are intruded in the mafic hornfels at the base of sheeted dyke complex. (e) Mafic hornfels preserves an intrusive trend of doleritic dykes.

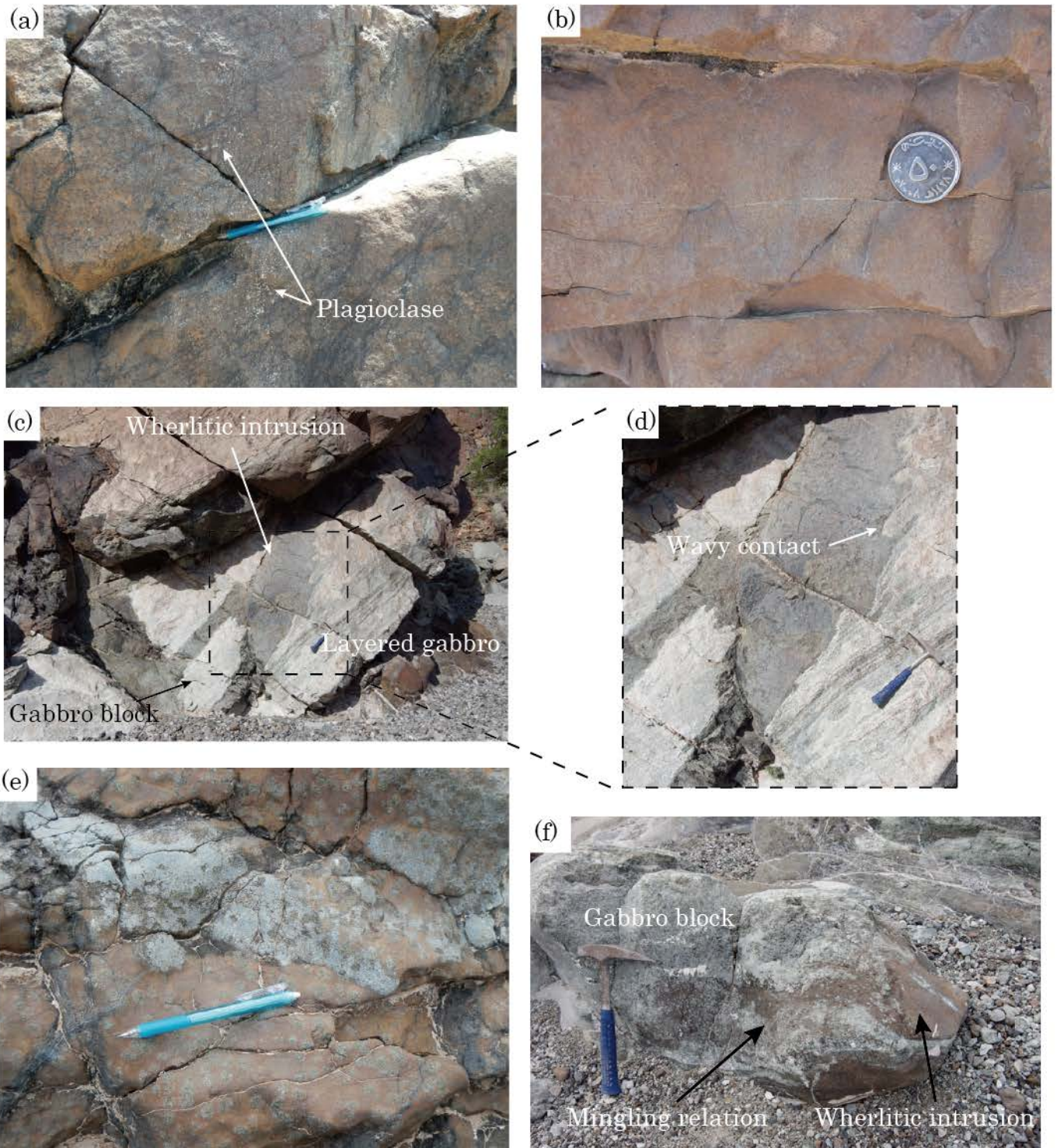


Fig. 3-5. Typical outcrops of wehrlitic intrusions. (a,b) Plagioclase wehrlite and plagioclase-clinopyroxene-bearing dunite. Plagioclase and clinopyroxene occur interstitially to olivine grains. (c) Contact between wehrlite and a gabbro block in the central part of the northern transect of the Barghah complex. (d) Close-up of (c) showing the wavy and interfingering contact. (e) Clinopyroxene oikocrysts (c. 2 cm in diameter) near the contact with a gabbro block (xenolith). (f) Mingling relationships between the wehrlitic intrusion and gabbro block from the central part of the northern transect of the Barghah complex. Part of the wehrlitic intrusion contains dispersed gabbroic patches that are up to 20 cm in diameter.

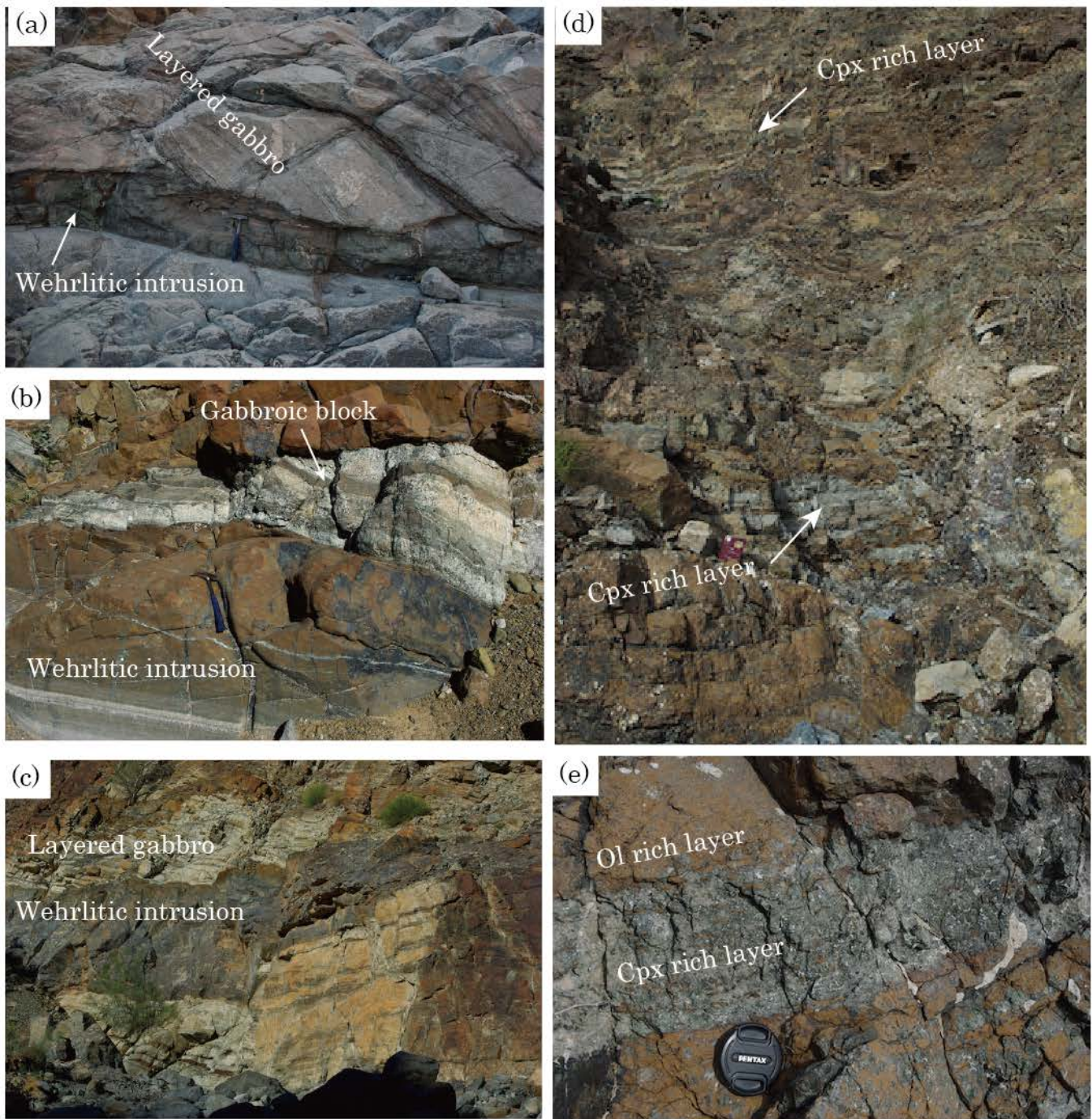


Fig. 3-6. Typical outcrops of the Lower wehrlitic intrusions. (a) Stock-like type of the wehrlitic intrusion shows high angle against a structure of the layered gabbro. (b) Wehrlitic intrusion contains a gabbroic block, and clinopyroxene oikocrysts (c. 2 cm in diameter) near the contact with a gabbro bloc (xenolith). Sill-like type of the wehrlitic intrusion shows concordant structure of the layered gabbro. (d,e) Wehrlitic intrusion occurs a modal layering of olivine and clinopyroxene at the middle part of the layered gabbro section in the Wadi Salahi area.

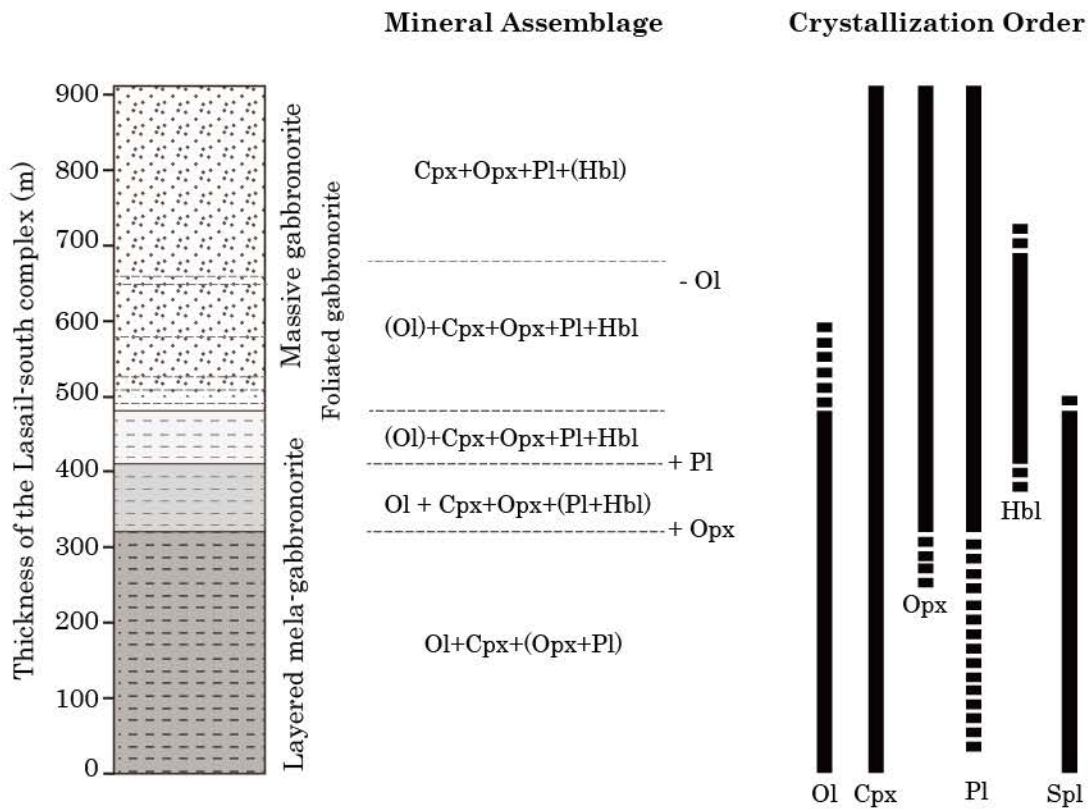


Fig. 3-7. Lithostratigraphic column, mineral assemblage and crystallization order of the Lasail-south complex around Wadi Barghah.

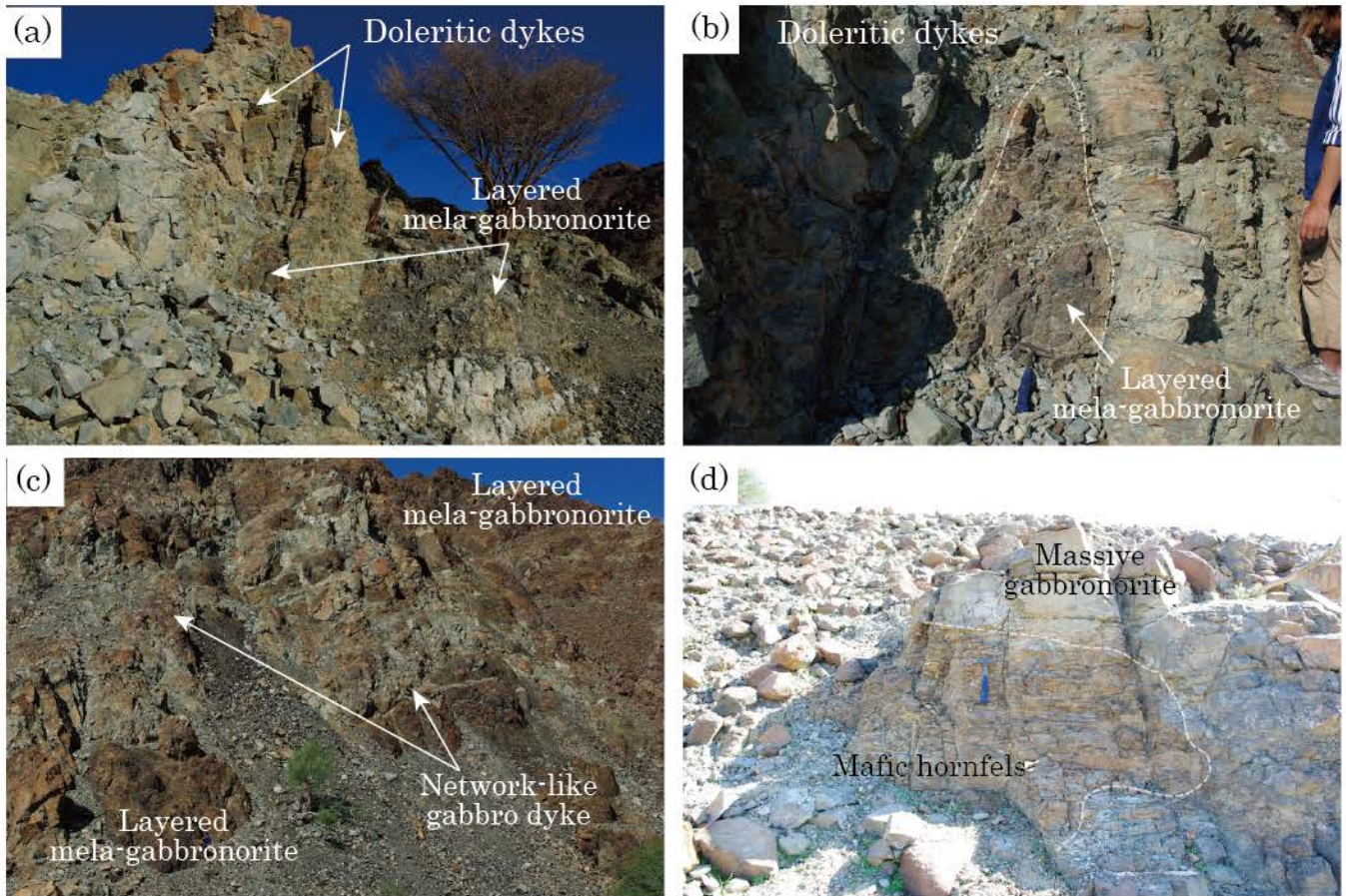
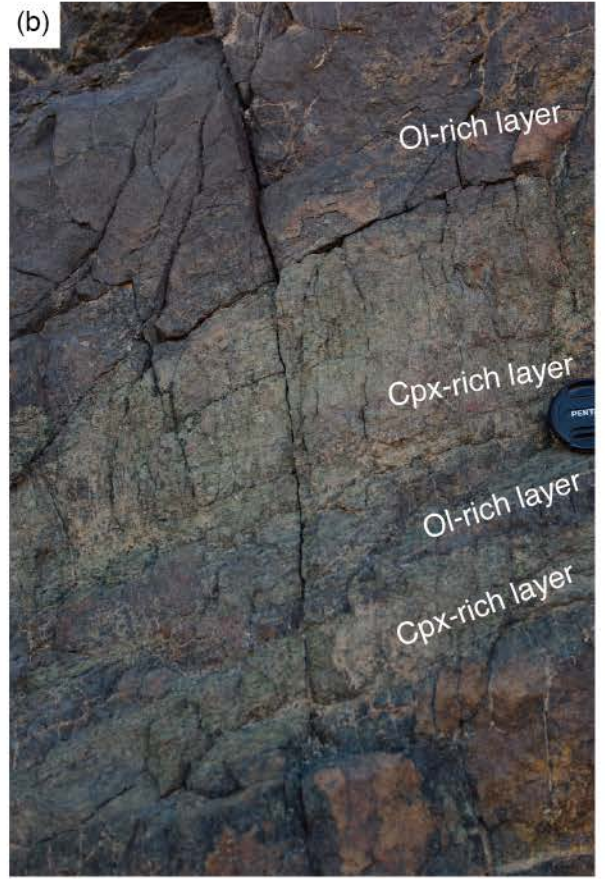
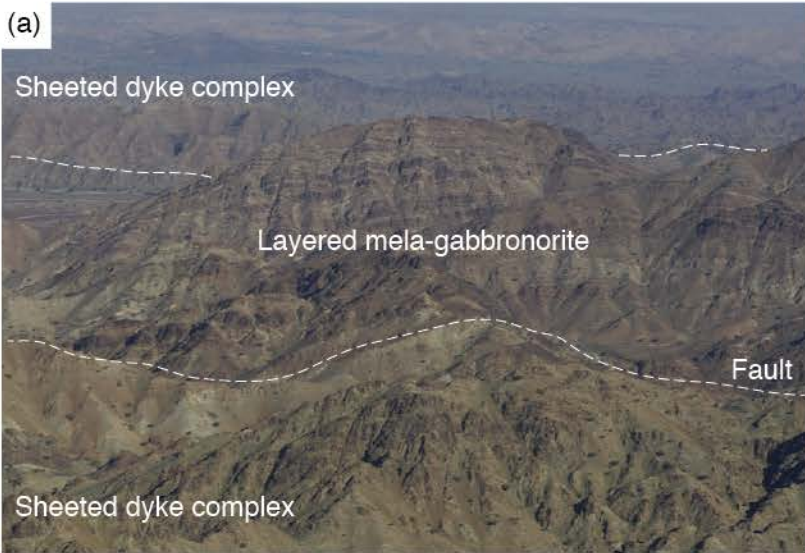


Fig. 3-8. Typical outcrops of the intrusive rocks and blocks in the Lasail-south complex. (a,b) Doleritic dykes are intruded into the Lasail-south complex, and contain the Lasail-south complex block in the eastern part of the complex. (c) Network-like gabbro dykes are intruded into the Lasail-south complex, and also contain the complex. (d) Upper part of the Lasail-south complex (massive gabbronorite) contains a mafic hornfels block at the boundary between the Lasail-south complex and sheeted dyke complex.



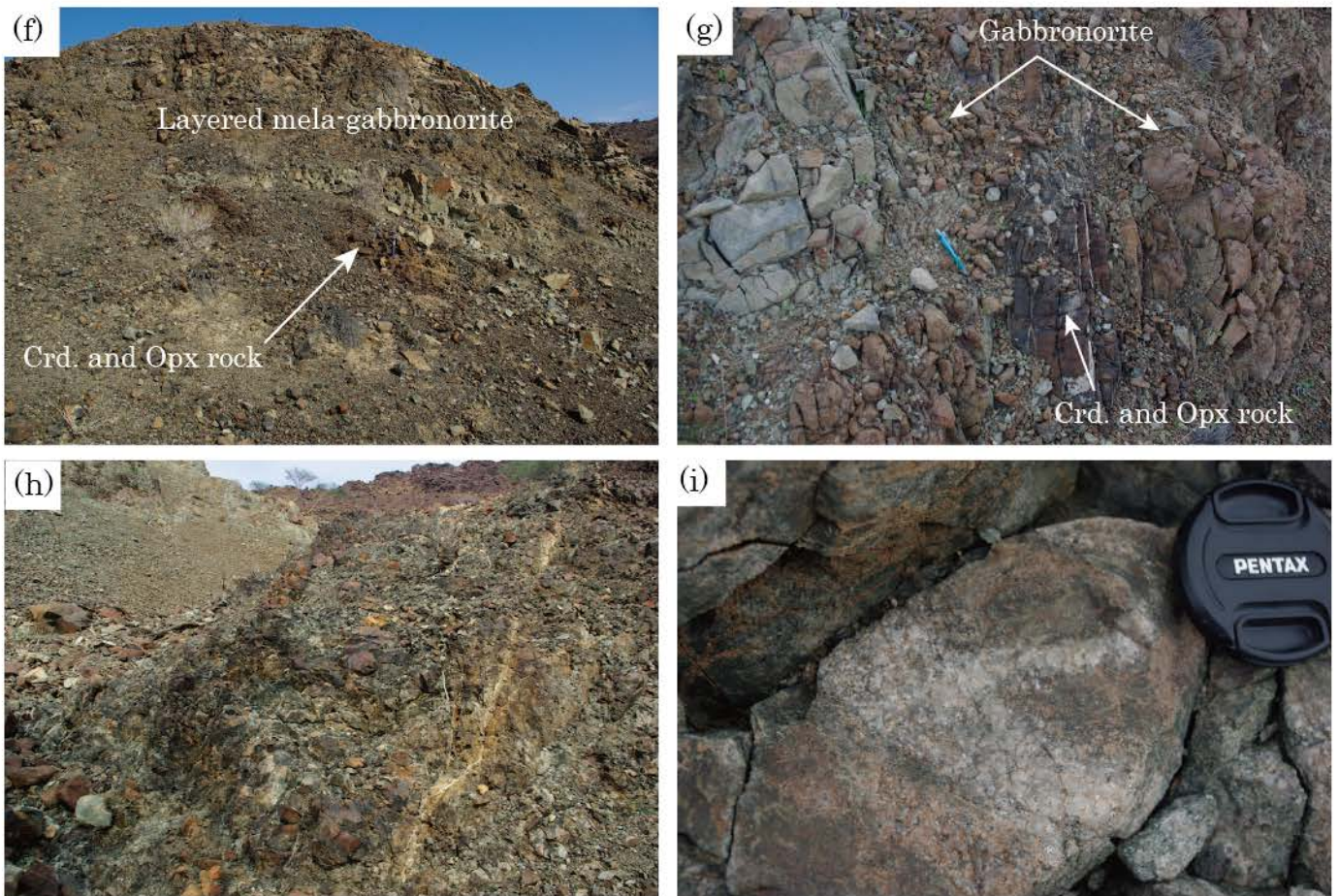


Fig. 3-8. Typical outcrops of the Layered mela-gabbronorite in the Lasail-south complex. (a) Distant view of the layered mela-gabbronorite and relationship between the Lasail-south complex and sheeted dyke complex. (b) Basal part of the layered mela-gabbronorite occurring an alternation of olivine-rich and clinopyroxene-rich layers. Olivine-rich and clinopyroxene-rich layers showing 5-150 cm and 1-30 cm thick, respectively. (c) Middle part of the layered mela-gabbronorite occurring an alternation of olivine-rich and orthopyroxene-rich layers. Olivine-rich and orthopyroxene-rich layers showing 10-200 cm and 5-30 cm thick, respectively. (d) Upper part of the layered mela-gabbronorite occurring an alternation of olivine-rich and plagioclase-rich layers. Olivine-rich and plagioclase-rich layers showing 15-120 cm and 5-20 cm thick, respectively. (e) Distant view of the middle and upper part of the layered mela-gabbronorite, showing a proportion of the plagioclase-rich layer increased to upper part of the complex. (f) Layered mela-gabbronorite contains a block of the cordierite-orthopyroxene rock. Reddish brown rock of lower part of this outcrop is cordierite-orthopyroxene rock. (g) Alternation of fine grained gabbronorite and cordierite-orthopyroxene rock showing 5-60 cm thick at the Wadi Barghah area. (h,i) Numerous quartz veins are intruded in the cordierite-orthopyroxene rock. Ol, olivine; Cpx, clinopyroxene; Opx, orthopyroxene; Cr, cordierite; Qtz, quartz.

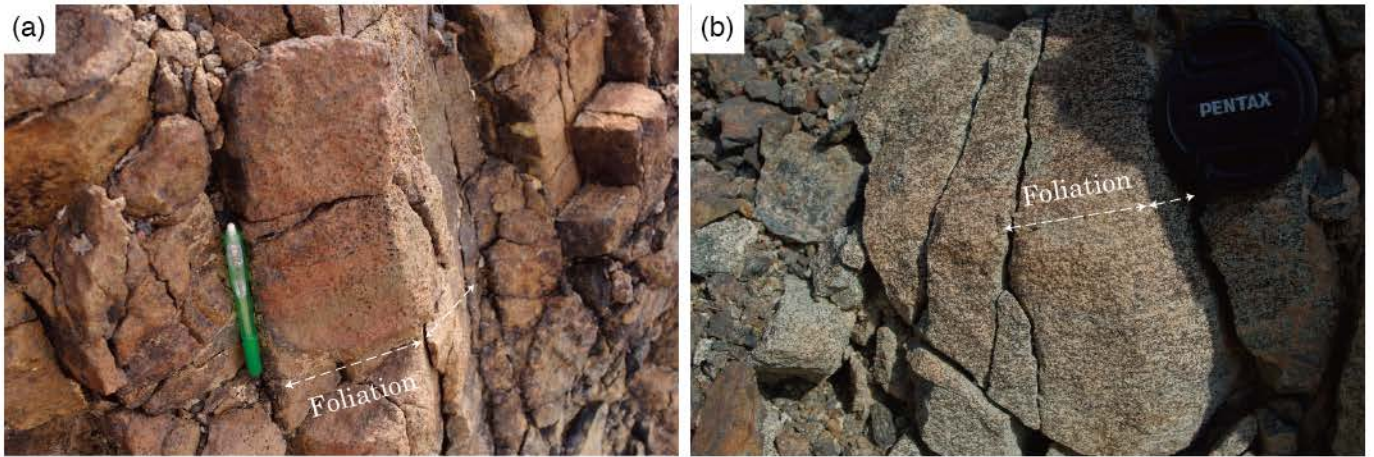


Fig. 3-9. Typical outcrops of the Foliated gabbronorite in the Lasail-south complex. (a) Clinopyroxene showing a foliation in hornblende-plagioclase lherzomite. (b) Clinopyroxene and plagioclase occurring a foliation in gabbronorite.

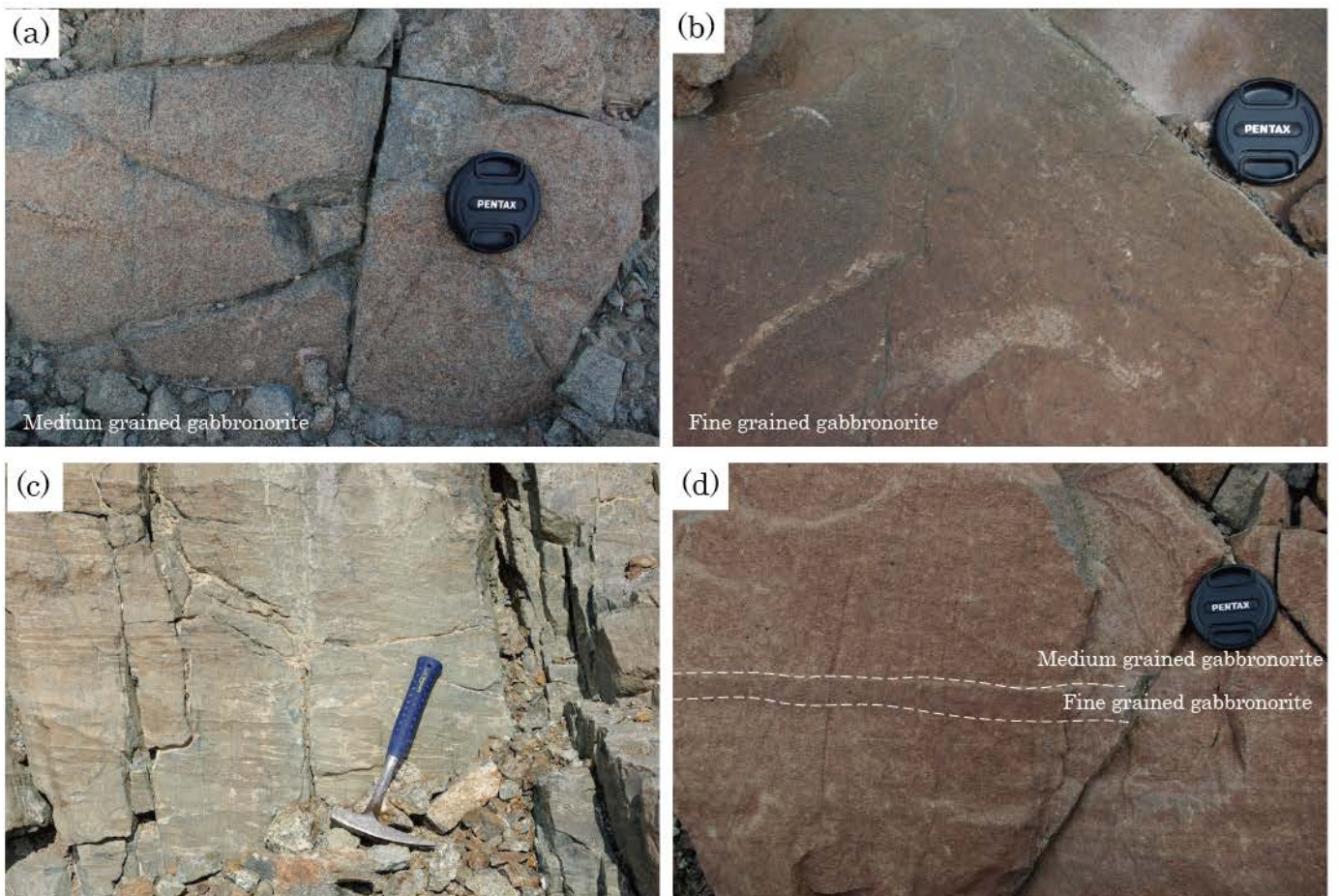


Fig. 3-10. Typical outcrops of the Massive gabbronorite in the Lasail-south complex. (a) Massive gabbronorite consists of homogeneous medium grained minerals. (b) Massive gabbronorite consists of homogeneous fine grained minerals. (c,d) The layering structure of the difference of grain sizes in the massive gabbronorite. Fine grained gabbronorite occurs adark brown color in outcrops.

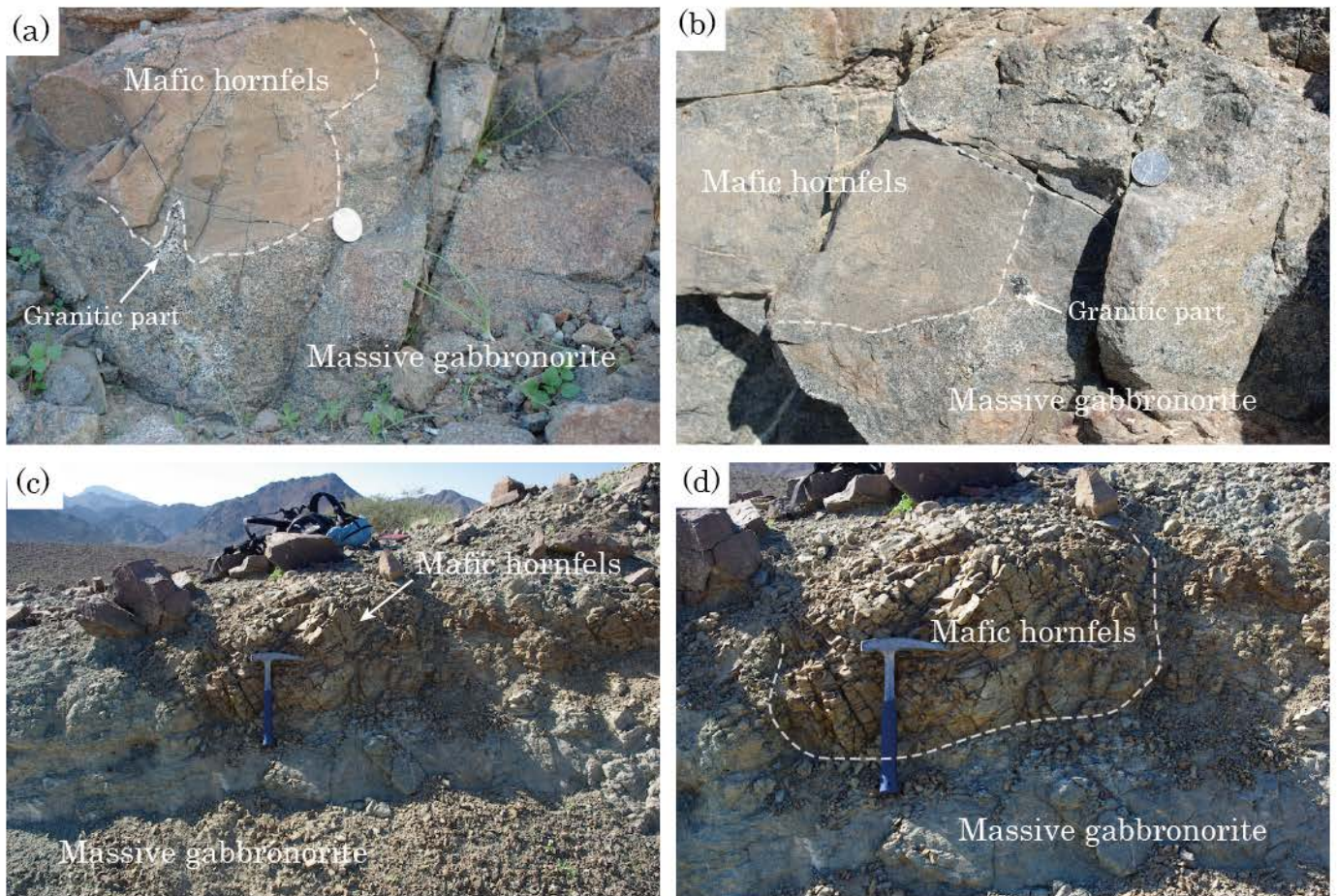


Fig. 3-11. Typical outcrops of the mafic hornfels block. (a,b) Angular mafic hornfels block and massive gabbronorite, granitic rock appears between the mafic hornfels and massive gabbronorite. (c,d) Altered mafic hornfels and massive gabbronorite near the eastern part of the sheeted dyke complex.

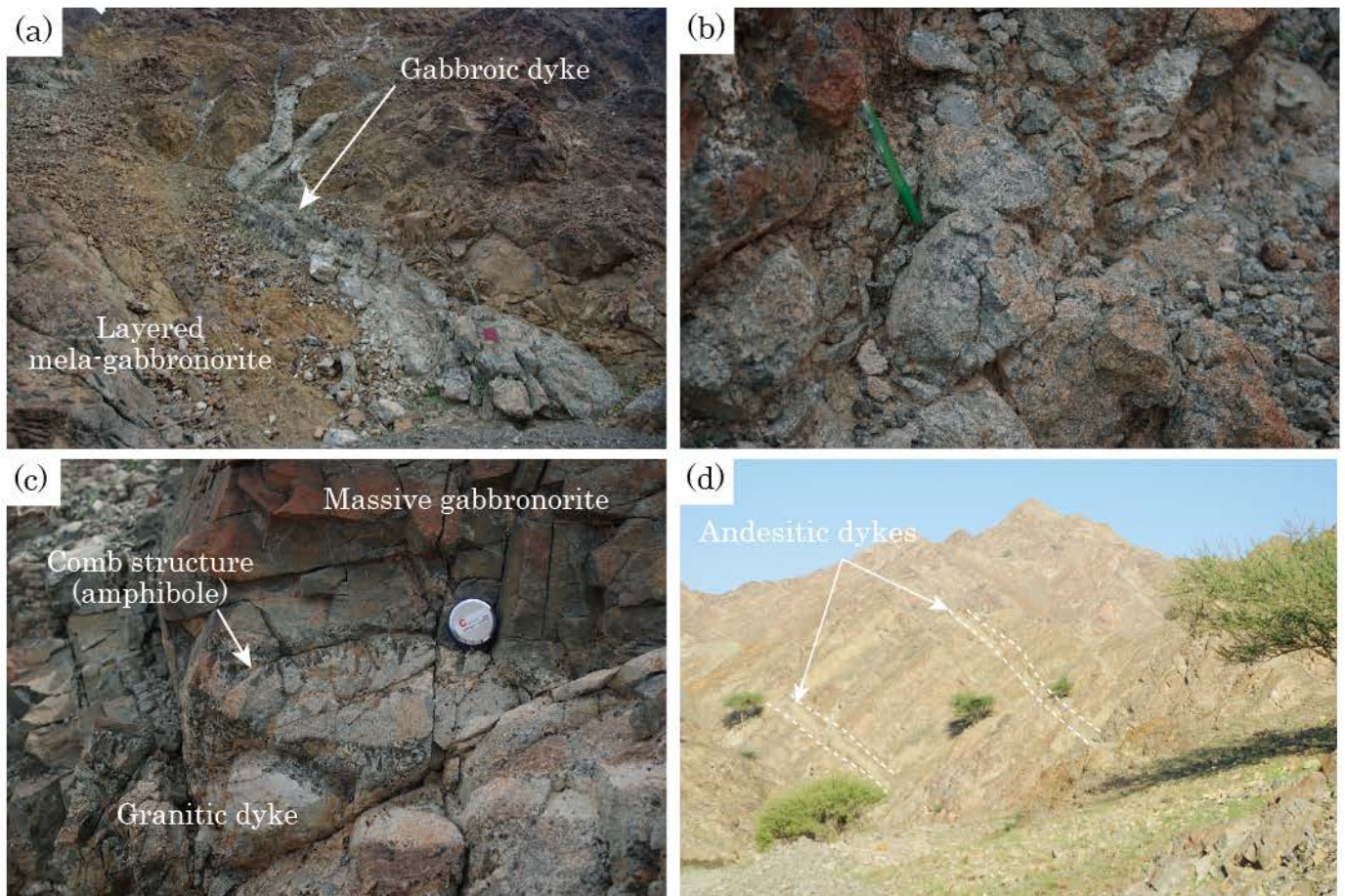


Fig. 3-12. Typical outcrops of the mafic-felsic dykes in the Lasail-south complex and andesitic dykes in the sheeted dykes. (a) Stock to network-like mafic-felsic dykes are intruded into the layered mela-gabbronorite. (b) Close-up to the mafic-felsic dyke, which is already altered according to hydro-thermal reaction. (c) The mafic-felsic dyke consists of the comb structure of amphiboles at the boundary between the massive gabbronorite and dyke. (d) Andesitic dykes are intruded into the eastern part of the sheeted dyke complex.

第4章 岩石記載

オマーン・オフィオライト北部における主要な海洋地殻層序の記載岩石学的特徴は多くの研究者によって報告されている (Lippard et al., 1986; Umino et al., 1990 など)。本研究では、モホ遷移帯直上の層状ガブロ基底から海洋地殻上部のシート状岩脈群の様々な層準に貫入するウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions) と上部ガブロ・シート状岩脈群境界部付近に分布する苦鉄質-超苦鉄質岩体 (Lasail-south complex) の記載岩石学的特徴の多様性について報告する。Boudier and Nicolas (1995) は、ウェールライト質貫入岩体がモホ遷移帯から派生し上位の層状ガブロ層に貫入するモデルを報告しており、本研究地域でも同様の野外産状が観察されることからモホ遷移帯を構成する岩石の記載岩石学的特徴も本章で報告する。

4.1 モホ遷移帯

モホ遷移帯は主にダナイトや斜長石ウェールライト、優黒質トロクトライトから構成され、カンラン石を 80-90%、単斜輝石および斜長石を<20%、少量のスピネルを含んでいる (Fig. 4-1)。自形から半自形のカンラン石は粒径 1.5-3.0 mm で部分的に蛇紋石に置き換わっている (最大粒径 6.0 mm) (Fig. 4-2)。半自形から他形の単斜輝石および斜長石は粒径 0.5-1.5 mm、自形から半自形のスピネルの平均粒径は 0.1 mm を示している。モホ遷移帯を構成する斜長石ウェールライトと優黒質トロクトライトは、自形から半自形のカンラン石に富んだ粒状組織を示し、単斜輝石と斜長石がカンラン石の粒間を埋めるように晶出している (Fig. 4-2a)。鉱物晶出順序はカンラン石とスピネルが晶出したのちに単斜輝石と斜長石がほぼ同時期に出現している (Fig. 4-2b)。偏光顕微鏡下では構成鉱物に累帯構造が認められない。モホ遷移帯上部に分布するガブロシルはカンラン石ガブロおよびガブロから構成され、カンラン石を 0-60%、単斜輝石を 10-50%、斜長石を 30-50%および少量のスピネルを含んでいる (Fig. 4-1)。自形のカンラン石の粒径は 0.3-3.0 mm で、半自形から他形の単斜輝石と斜長石の粒径はそれぞれ 0.5-3.0 mm および 0.5-2.0 mm を示している (Fig. 4-2c,d)。

4.2 Barghah complex

Barghah complex は斜長石ウェールライト、ダナイト、優黒質トロクトライト、優黒質カンラン石ガブロから構成され、カンラン石を 55-95%、単斜輝石を 0-20%、斜長石を 0-20% および少量のスピネルを含んでいる (Fig. 4-1)。自形のカンラン石は粒径 0.5-3.0 mm で部分的に蛇紋石に置き換わっている (Fi. 4-3)。半自形から他形の単斜輝石の粒径は 0.5-2.0 mm、他形の斜長石の粒径は 0.5-3.0 mm で大部分がソーシェライト化している (Fig. 4-3a,b)。自形から半自形のスピネルの平均粒径は 0.1 mm である。岩石組織はカンラン石集積組織を示し、単斜輝石と斜長石が自形のカンラン石の粒間を埋めている (Fig. 4-3)。単斜輝石の最大粒形は 18 mm で自形のカンラン石をポイキリティックに包有している (Fig. 4-3a,b)。斜長石の最大粒径は 15 mm で単斜輝石と同様に自形のカンラン石をポイキリティックに包有している (Fig. 4-3a,b)。単斜輝石と斜長石のオイコクリストはガブロブロックとの接触部付近で観察される。鉱物晶出順序は、カンラン石とスピネルが晶出したのち単斜輝石と斜長石がほぼ同時期に出現する (Fig. 4-3)。Barghah complex の岩体縁辺部では褐色から無色の普通角閃石が出現する (最大鉱物量比 7%) (Fig. 4-3c)。他形の普通角閃石の粒径は 0.5-3.0 mm で自形のカンラン石の粒間を埋めるように晶出している (Fig. 4-3c)。Barghah complex 北部 (Wadi Barghah 地域) ではサンプルの 20%、岩体南部 (Wadi Salahi 地域) ではサンプルの 60% に普通角閃石が出現する。

4.3 Lower wehrlitic intrusions

Lower wehrlitic intrusions はモホ遷移帯から Barghah complex の間に分布しており、層状ガブロ層の中部から下部の層準に貫入している。本研究地域南部の Wadi Salahi 地域ではモホ遷移帯から派生し層状ガブロ基底部にウェールライト質岩体が貫入する産状が観察される (Boudier and Nicolas, 1995)。本貫入岩体は主に斜長石ウェールライト、ウェールライト、ダナイト、普通角閃石ダナイトから構成され、カンラン石を 70-95%、単斜輝石を 0-20%、斜長石を 0-10%、および少量の普通角閃石とスピネルを含んでいる (Fig. 4-1)。

一方で小規模なウェールライト質貫入岩体は、岩体ごとに記載岩石学特徴の多様性

第4章 岩石記載

が認められ、Wadi Salahi 地域の層状ガブロ層下部に貫入するウェールライト質貫入岩体はウェールライトやダナイト、普通角閃石ダナイトから構成され、自形のカンラン石（粒径 0.5-12 mm）の粒間を半自形から他形の単斜輝石（0.8-15 mm）と他形の明褐色から淡緑色の普通角閃石（鈹物量比<3%、粒径 0.5-1.0 mm）が埋めている。岩石組織はカンラン石集積組織を示し、単斜輝石と普通角閃石がカンラン石の粒間に出現している（Fig. 4-4a,b）。鈹物晶出順序はカンラン石とスピネルが晶出したのち単斜輝石、普通角閃石を示す。本岩体の記載岩石学的特徴は、典型的なウェールライト質貫入岩体や海洋地殻層序のガブロとは異なり、斜長石の出現が認められない（もしくは単斜輝石が斜長石よりも早期に出現することから親マグマは non-MORB（非中央海嶺玄武岩）的な含水マグマ起源であると解釈されてきた（Koepke et al., 2009; Goodenough et al., 2010）。

Wadi Salahi 地域の層状ガブロ岩層中部に貫入するウェールライト質貫入岩体はダナイトとウェールライト、カンラン石単斜輝岩から構成され鈹物量比の差による層状構造を形成している。自形から半自形のカンラン石は粒径 0.5-3.0 mm、自形から他形の単斜輝石の粒径は 0.5-8.0 mm、他形の淡緑色から緑色の普通角閃石の粒径は 0.5-1.5 mm、自形のスピネルは平均粒径 0.1 mm をそれぞれ示している。岩石組織はカンラン石集積組織を示し、カンラン石を大型の単斜輝石がポイキリティックに包有する組織やカンラン石の粒間を単斜輝石や普通角閃石が埋める組織が観察される（Fig. 4-4 c,d）。鈹物晶出順序はカンラン石とスピネルが晶出したのち単斜輝石、普通角閃石を示す。本岩相の記載岩石学的特徴も上述のウェールライト質貫入岩体と類似するが、鈹物量比の差による層状構造が発達している点で異なっている。

4.4 Lasail-south complex

Lasail-south complex は多様な岩相を有し、下位から優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライトが分布している。岩体下部の優黒質層状ガブロノーライトは堇青石-斜方輝岩および細粒なガブロノーライトを岩体上部の塊状ガブロノーライトは細粒なガブロノーライトをそれぞれブロックとして包有している。また Lasail-south complex の東側（岩体上位）ではシート状岩脈群と接しており、岩脈基底部分が苦鉄質ホルンフェルスに変成している。さらに

第4章 岩石記載

Lasail-south complex は角閃石ガブロやトータル岩から構成される後期貫入岩体に貫入され、ブロックとして取り込まれている (Fig. 3-7c)。Lasail-south complex の記載岩石学的特徴の多様性を正確に把握すると同時に、塊状ガブロノーライト中のガブロノーライトおよび堇青石-斜方輝岩ブロック、周囲に露出するシート状岩脈群やその基底部の苦鉄質ホルンフェルス、Lasail-south complex に貫入する苦鉄質-珪長質岩脈の記載岩石学的特徴も報告する。

4.4.1 優黒質層状ガブロノーライト

優黒質層状ガブロノーライトは普通角閃石-斜長石レルゾライト、含カンラン石優黒質ガブロノーライト、カンラン石ウェブステライト、カンラン石単斜輝岩から構成され、カンラン石を 5-60%、単斜輝石を 15-85%、斜方輝石を 0-30%、斜長石を 0-20% および少量のスピネルを含んでいる。

優黒質層状ガブロノーライト下部はカンラン石もしくは単斜輝石に富む層がリズムカルに互層しており (Fig. 4-5a)、カンラン石に富む層は自形のカンラン石 (粒径 0.5-3.0 mm) と自形のスピネル (粒径 0.05-0.1 mm) の粒間を他形の単斜輝石 (粒径 0.5-5.0 mm) が埋めている (Fig. 4-5b)。カンラン石および単斜輝石は蛇紋石化が進行し、自形のカンラン石を単斜輝石がポイキリティックに包有する組織を示している。鉱物晶出順序はカンラン石、スピネル、単斜輝石を示している。一方、単斜輝石に富む層は自形のカンラン石 (粒径 0.3-2.0 mm : 蛇紋石化が進行)、自形から半自形の単斜輝石 (粒径 0.3-3.0 mm) から主に構成され (Fig. 4-5c)、粒間を少量の半自形から他形の斜長石 (粒径 0.2-0.5 mm) と普通角閃石 (粒径 0.2-0.8 mm) が埋めている。岩石組織はカンラン石・単斜輝石集積組織を示し、鉱物晶出順序はカンラン石>単斜輝石が晶出したのち、ほぼ同時期に斜長石と普通角閃石が出現している。

優黒質層状ガブロノーライト中間部では斜方輝石の量比の差による層状構造を形成しており、斜方輝石に富む層は自形のカンラン石 (粒径 0.5-2.0 mm)、自形から半自形の単斜輝石 (粒径 0.5-2.5 mm)、自形から半自形の斜方輝石 (粒径 0.8-25 mm) から主に構成され、粒間を他形の斜長石 (粒径 0.2-0.5 mm) と角閃石 (粒径 0.2-0.8 mm) が埋めている (Fig. 4-5d,e)。岩石組織は自形のカンラン石を単斜輝石や斜方輝石がポイキリティックに包有する組織が観察され、鉱物晶出順序はカンラン石、単斜輝石、

第4章 岩石記載

斜方輝石が晶出したのち、ほぼ同時期に斜長石と角閃石が出現している。一方、斜方輝石に乏しい層は自形のカンラン石（粒径 0.5-2.0 mm）、自形から半自形の単斜輝石（粒径 0.5-2.5 mm）から主に構成され、半自形の斜方輝石（粒径 0.5-1.5 mm）や無色から緑色の普通角閃石（粒径 0.5-1.8 mm）が粒間を埋めている（Fig. 4-5f,g）。岩石組織はカンラン石・単斜輝石集積組織を示し、鉱物晶出順序はカンラン石>単斜輝石>斜方輝石>普通角閃石を示している。

優黒質層状ガブロノーライト上部ではカンラン石および輝石に富む層と斜長石に富む層がリズミカルに互層を形成し（Fig. 4-5h）、カンラン石および輝石に富む層は自形のカンラン石（粒径 0.5-3.0 mm）、自形から半自形の単斜輝石（粒径 0.5-3.0 mm）および斜方輝石（粒径 0.3-2.5 mm）、半自形から他形の斜長石（粒径 0.5-2.0 mm）から構成されている（Fig. 4-5i）。岩石組織はカンラン石・単斜輝石集積組織を示し、鉱物晶出順序はカンラン石、単斜輝石、斜方輝石、斜長石の順に出現している。斜長石に富む層は自形から半自形の単斜輝石（粒径 0.5-5.0 mm）および斜方輝石（粒径 0.3-3.5 mm）、他形の斜長石（粒度 >0.5 mm）から構成され、斜長石の大部分はソーシユライト化している（Fig. 4-5j）。岩石組織は単斜輝石と斜方輝石を斜長石がポイキリティックに包有する組織が認められ、鉱物晶出順序は単斜輝石>斜方輝石>斜長石の順に出現している。

4.4.2 フォリエイテッドガブロノーライト

フォリエイテッドガブロノーライトは斜長石レルゾライトやガブロノーライトから構成され、カンラン石を 0-45%、単斜輝石を 15-40%、斜方輝石を 10-45%、斜長石を 20-35%、少量のオキサイドを含んでいる。自形のカンラン石（粒度 0.5-2.5 mm）、自形から半自形の単斜輝石（粒径 0.5-3.0 mm）、自形から半自形の斜方輝石（粒径 0.5-2.5 mm）および斜長石（粒径 0.5-2.0 mm）、オキサイド（粒径は 0.05-0.2 mm）から構成されている（Fig. 4-6）。岩石組織はカンラン石集積組織もしくは粒状組織を示し、鉱物晶出順序はカンラン石、単斜輝石、斜長石、斜方輝石の順に出現が認められる。長柱状の単斜輝石および斜長石は鉱物定向配列を示し、下位の優黒質層状ガブロノーライトの層状構造と調和的な面構造を形成している（Fig. 4-6c）。

4.4.3 塊状ガブローライト

塊状ガブローライトは細粒・中粒のガブローライトや普通角閃石ガブローライトから構成され、単斜輝石を 15-40%、斜方輝石を 20-45%、斜長石を 20-40%、少量の普通角閃石を含んでいる (Fig. 4-7)。中粒の塊状ガブローライトは自形から半自形の単斜輝石 (粒径 0.3-3.0 mm)、斜方輝石 (粒径 0.3-2.5 mm) および斜長石 (粒径 0.3-2.0 mm)、半自形から他形の淡緑色から明褐色の普通角閃石 (粒径 0.3-1.5 mm) から構成されている (Fig. 4-7a,b)。岩石組織は単斜輝石と斜方輝石の粒状組織を示し、自形の斜長石は単斜輝石および斜方輝石とほぼ同時期に出現し、半自形の斜長石は単斜輝石および斜方輝石の粒間を埋めている。鉱物晶出順序は、単斜輝石と斜方輝石が早期に出現し、斜長石は単斜輝石と斜方輝石と同時期もしくは出現後に晶出している。細粒な塊状ガブローライトは自形から半自形の単斜輝石、斜方輝石、斜長石とオキサイドから構成され、大部分の構成鉱物の粒径が<0.5 mm を示している (Fig. 4-7c)。鉱物粒度差による層状構造・墨流し状構造が観察され、その境界部は鉱物粒度がシャープに変化する (Fig. 4-7d)。斜方輝石は多色性が強い特徴を有し (Fig. 4-7c)、一部では変質が進みバスタイト化している。

4.4.4 ブロック：細粒ガブローライトおよび堇青石-斜方輝岩

塊状ガブローライトにブロックとして取り込まれているガブローライトは細粒なオキサイドガブローライトから構成され、単斜輝石を 25-40%、斜方輝石を 20-45%、斜長石を 25-40%、普通角閃石を 0-2%、オキサイドを 5%含んでいる。自形から半自形の単斜輝石の粒径は 0.05-0.8 mm、自形から他形の斜方輝石の粒径は 0.05-0.5 mm、自形から半自形の斜長石の粒径は 0.1-1.0 mm、他形の淡緑色普通角閃石の粒径は 0.1-0.3 mm、自形から半自形のオキサイドの粒径は 0.05-0.2 mm をそれぞれ示す (Fig. 4-8a,b)。岩石組織は単斜輝石と斜方輝石の粒状組織を示し、自形の斜長石は単斜輝石および斜方輝石とほぼ同時期に出現しており、半自形の斜長石は単斜輝石および斜方輝石の粒間を埋めている。鉱物晶出順序は、単斜輝石と斜方輝石が早期に出現し、斜長石>普通角閃石を示す。本岩相の記載岩石学的特徴は塊状ガブローライト (lasail-south complex) の特徴と類似した鉱物組み合わせを示しているが、

第4章 岩石記載

ガブロノーライトブロックはオキサイドが多量に出現し、淡緑色の普通角閃石を稀に含むことで特徴付けられる。

優黒質層状ガブロノーライト中間部にブロックとして取り込まれている苦鉄質ホルンフェルスは細粒な堇青石-斜方輝石岩から構成され、斜方輝石を 40-70%、堇青石を 45-65%、オキサイドを 2-5%含んでいる。自形から半自形の斜方輝石の粒径は 0.1-0.5 mm、半自形から他形の堇青石の粒径は 0.1-1.2 mm、自形から半自形のオキサイドの粒径は 0.05-0.2 mm をそれぞれ示す (Fig. 4-8c,d)。岩石組織は斜方輝石と堇青石の粒状組織を示すものや、堇青石がポイキリティックに自形の斜方輝石を包有する組織が観察される。堇青石は双晶が発達しており、一部では変質が進み堇青石の周りがピナイト化している (Fig. 4-8c)。研究地域北部の Wadi Barghah 地域で発見された堇青石-斜方輝石岩の中には細粒なガブロノーライト (ガブロノーライトブロックと類似した記載岩石学的特徴) 内に脈状に分布しているものが存在する。

4.4.5 シート状岩脈群

シート状岩脈群は玄武岩もしくはドレライトから構成され、斜長石や単斜輝石の斑晶を含んでいる (Fig. 4-9a,b)。シート状岩脈群は熱水変質の影響を強く被っており、斜長石および単斜輝石の斑晶と石基は角閃石化や緑泥石化が進行し、変質鉱物として緑泥石や緑簾石、アクチノ閃石、石英が普遍的に観察される (Fig. 4-9a,b)。

塊状ガブロノーライトと接するシート状岩脈群基底層は普通角閃石ホルンフェルスや細粒なガブロノーライトから構成され、単斜輝石を 0-35%、斜方輝石を 0-30%、斜長石を 30-45%、普通角閃石を 40-70%、オキサイドを 2-5%含んでいる。本研究地域北部のシート状岩脈群基底層は主に細粒ガブロノーライトから構成され、粒状の単斜輝石 (粒径 0.5-1.5 mm) と斜方輝石 (粒径 0.5-1.5 mm)、自形から半自形の斜長石 (粒径 0.1-1.0 mm)、自形から半自形のオキサイド (粒径 0.05-0.2 mm) がそれぞれ認められる (Fig. 4-9c,d)。岩石組織はグラノブラスティック組織を示し、細粒な花崗岩質脈がアグマタイト状に貫入している。本研究地域中間部から南部のシート状岩脈群基底層は主に普通角閃石ホルンフェルスから構成され、残晶として存在する単斜輝石斑晶 (粒径 0.5-1.5 mm) や自形から半自形の斜長石 (粒径 0.1-1.0 mm)、自形から他形の淡緑色-明褐色普通角閃石 (粒径 0.1-1.5 mm)、自形から半自形のオキサイド (粒径

第4章 岩石記載

0.05-0.2 mm) がそれぞれ認められる (Fig. 4-9e,f)。岩石組織は、もともと斑晶もしくは微斑晶であったと考えられる単斜輝石と斜長石が一部で残存しているが、大部分は自形から半自形の斜長石と普通角閃石からなるグラノブラスティック組織を示している。単斜輝石は普通角閃石に置き換わっているものが多く、残存する結晶においてもリム部は普通角閃石とオキサイドに置き換わっている (Fig. 4-9e)。

4.4.6 後期貫入岩体：苦鉄質-珪長質貫入岩体および安山岩質岩脈

苦鉄質-珪長質貫入岩体は Lasil-south complex 中に広く貫入しており、普通角閃石ガブロおよびトータル岩から構成され、単斜輝石を 0-20%、普通角閃石を 5-25%、斜長石を 30-60%、石英を 0-35%、少量のオキサイドを含んでいる。自形から半自形の単斜輝石 (粒径 0.5-2.0 mm)、半自形から他形の普通角閃石 (粒径 0.3-2.5 mm)、自形から半自形の斜長石 (粒径 0.5-2.0 mm)、半自形から他形の石英 (粒径 0.3-10.8 mm)、自形から半自形のオキサイド (粒径は 0.05-0.2 mm) がそれぞれ認められる (Fig. 4-10)。岩石組織は、単斜輝石と斜長石をポイキリティックに普通角閃石が包有しており、粒間を明褐色の普通角閃石や石英が埋めている。鉱物出順序は、単斜輝石と斜長石がほぼ同時期に出現したのち普通角閃石、石英を示す。本岩相は熱水変質の影響を強く被っており、大部分の単斜輝石が角閃石化し、斜長石のコア部はソーシュライト化が進行している (Fig. 4-10)。

研究地域東側のシート状岩脈群に貫入する安山岩質岩脈は安山岩もしくは玄武岩質安山岩から構成され、無斑晶質な火山岩である。岩石組織はインターサータル組織を示し、短柱状の斜長石や陰微斑晶物質で埋められている。本岩相は熱水変質の影響を強く被っており、変質鉱物として緑簾石や緑泥石、アクチノ閃石、方解石が形成されている。

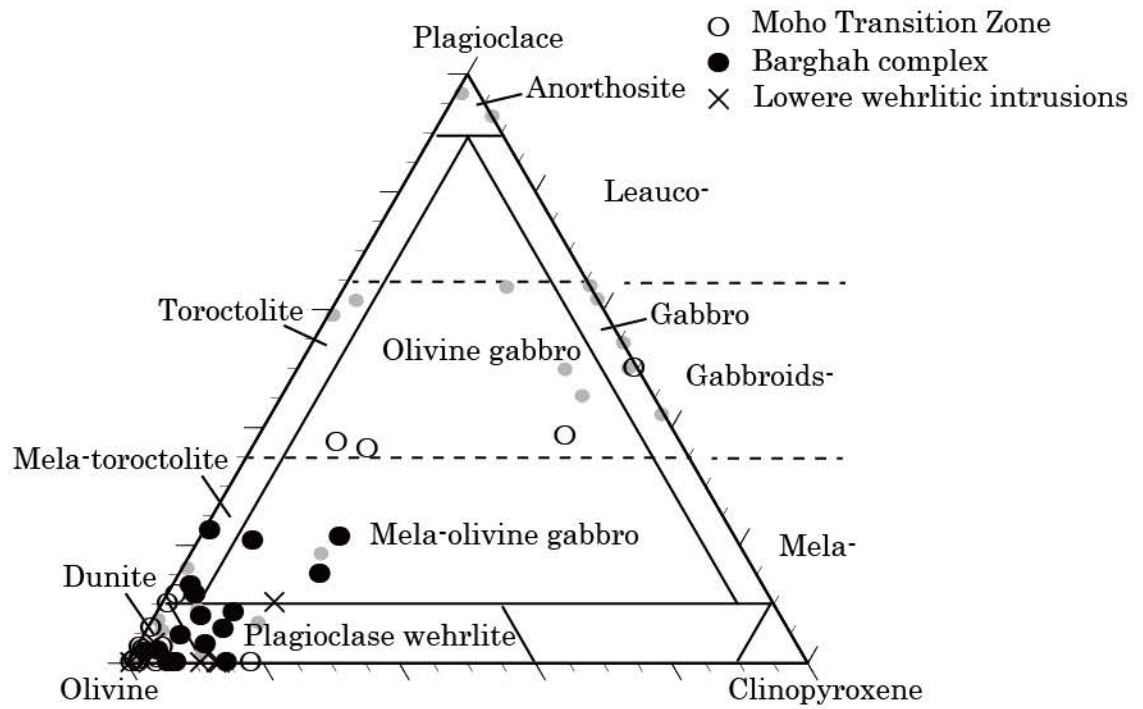


Fig. 4-1. Modal compositions of the moho transition zone, Barghah complex and lower wehrlitic intrusions projected onto a ternary olivine-plagioclase-clinopyroxene diagram. Grey circles are for the moho transition zone in the Maqsad area, from Koga et al. (2001). Classification and nomenclature of gabbroic rocks are modified from the IUGS (International Union of Geological Science; Le Maitre, 2002).

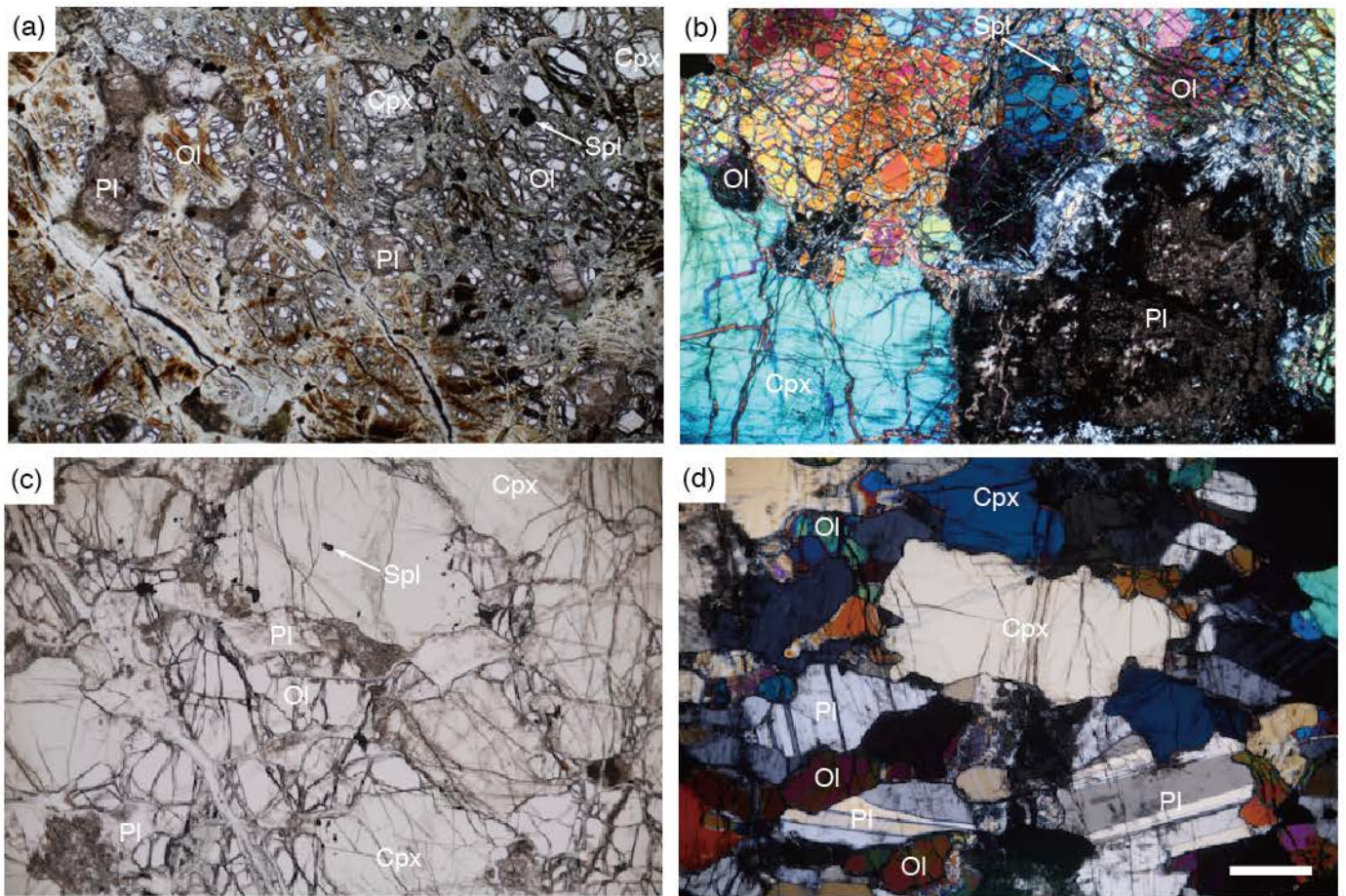


Fig. 4-2. Photomicrographs of representative rocks from the moho transition zone (a, b) and gabbroic sill of the upper part of the moho transition zone (c, d). (a) Plagioclase and clinopyroxene occurring interstitially to euhedral olivine grains. (b) Impregnated dunite showing coexisting plagioclase and clinopyroxene. Plagioclase is altered to saussurite. (c, d) Olivine gabbro with a cumulus texture, consisting of euhedral to subhedral olivine, clinopyroxene and plagioclase. Length of the scale bar is 1 mm. Abbreviations: Ol, olivine; Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Hbl, hornblende; Spl, spinel.

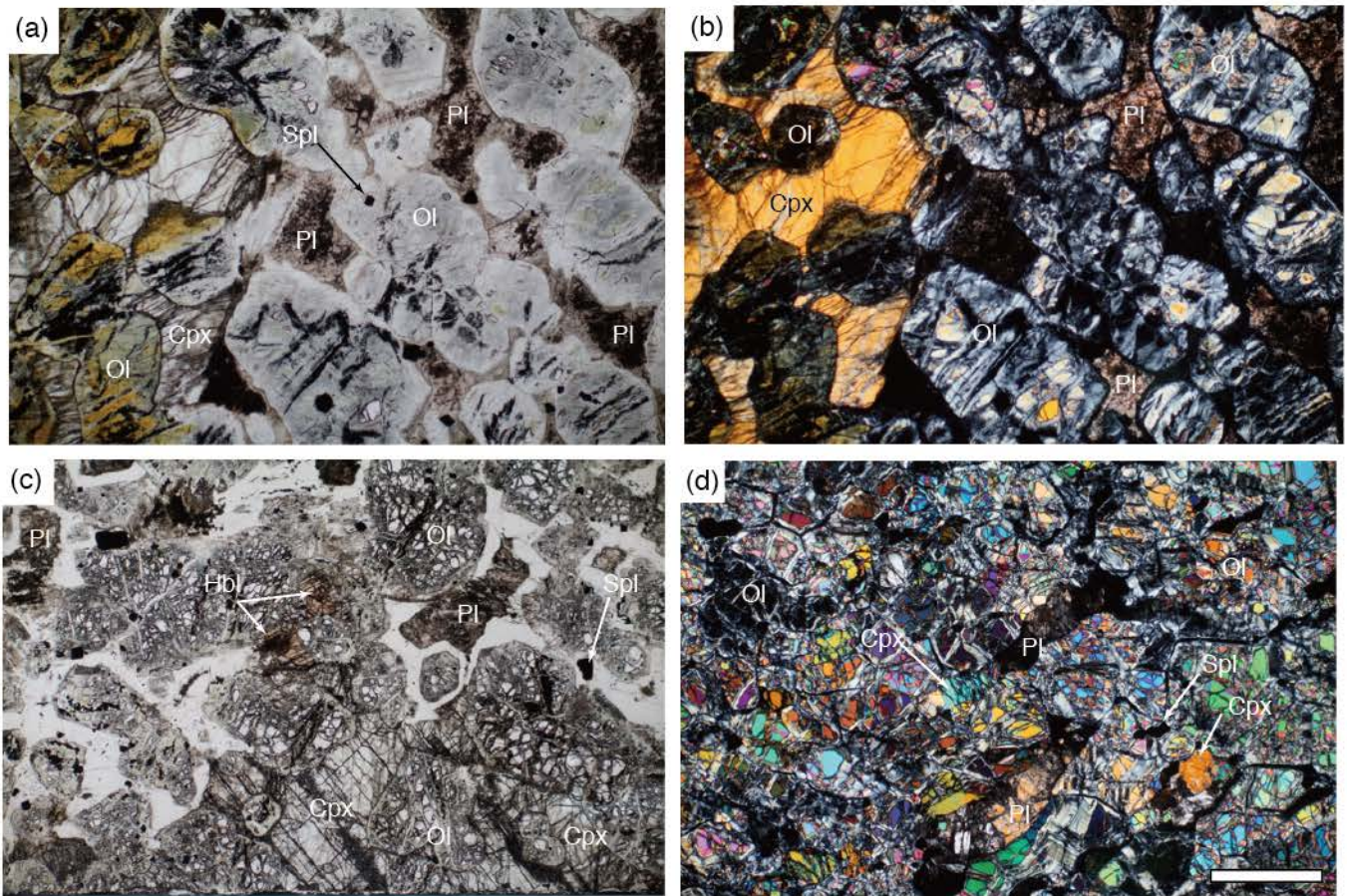


Fig. 4-3. Photomicrographs of representative rocks from the Barghah complex. (a) Large plagioclase and clinopyroxene crystals of c. 15 mm in diameter filling the interstices between olivine grains. (b) Crossed-polarized image of (c) showing plagioclase altered to saussurite. (c) Brown hornblende in rocks from the southern margin of the complex. (d) Subequal amount of plagioclase and clinopyroxene in the complex. Length of the scale bar is 1 mm. Abbreviations: Ol, olivine; Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Hbl, hornblende; Spl, spinel.

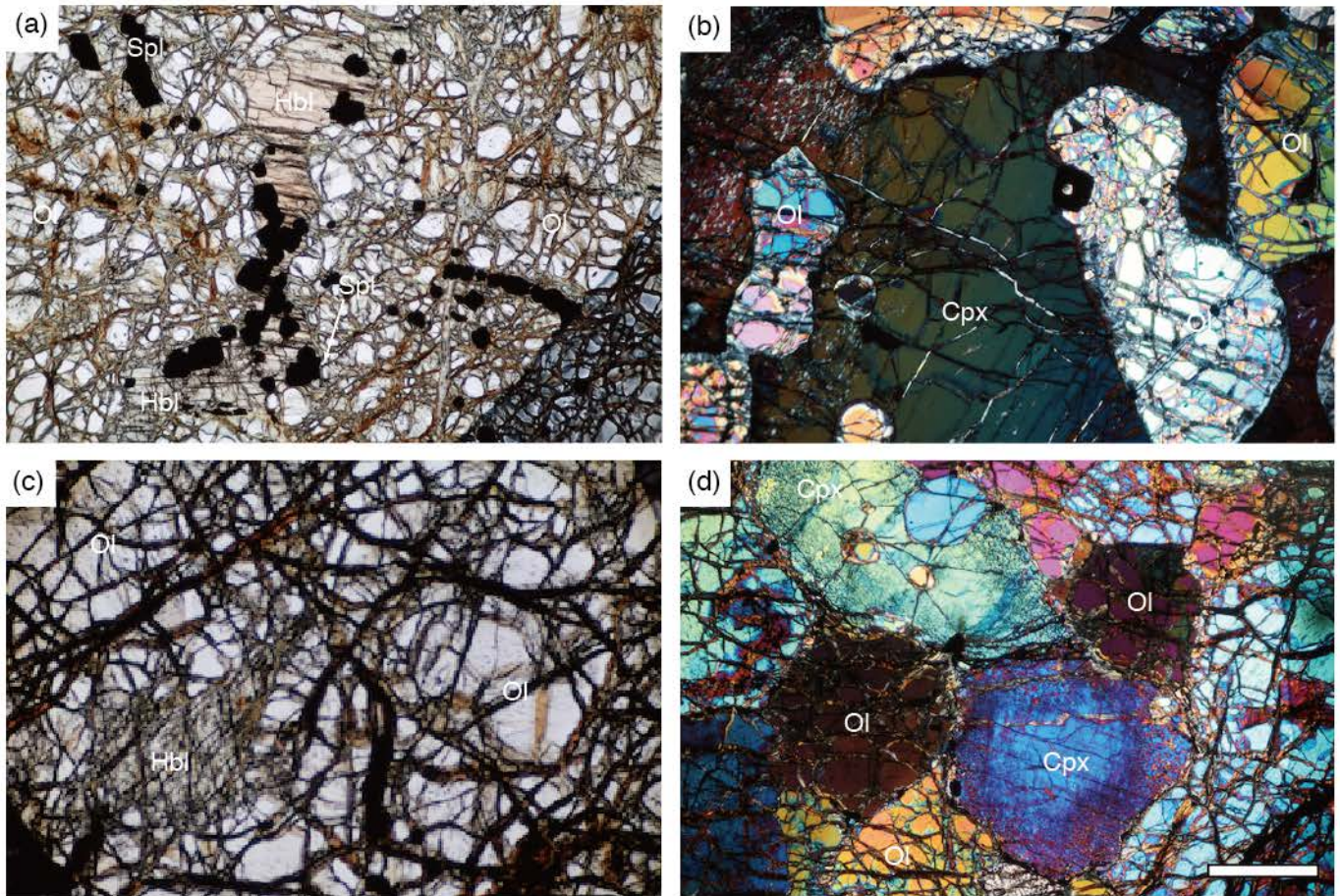
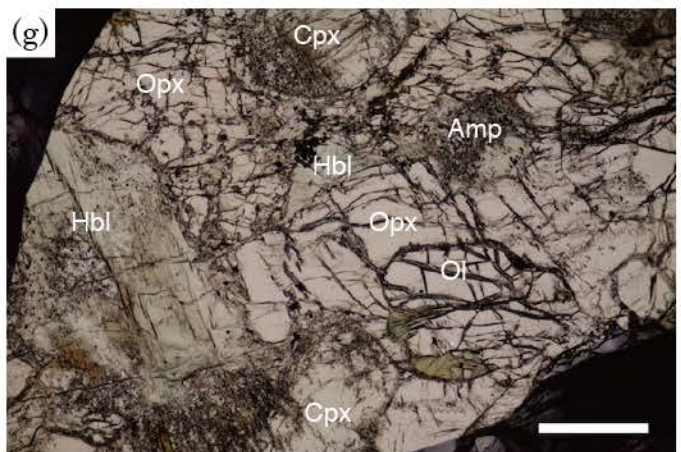
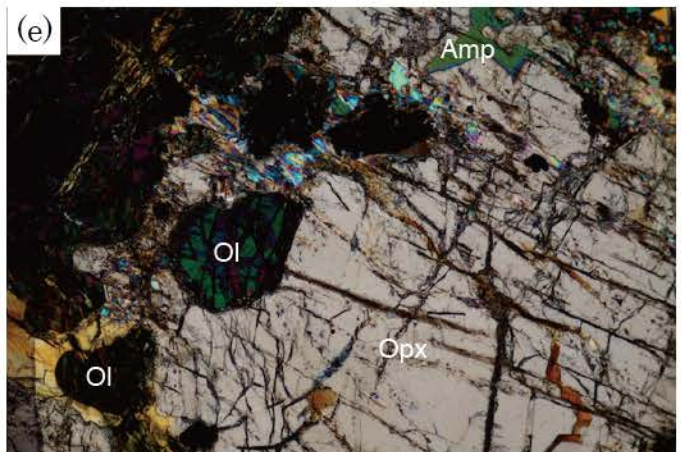
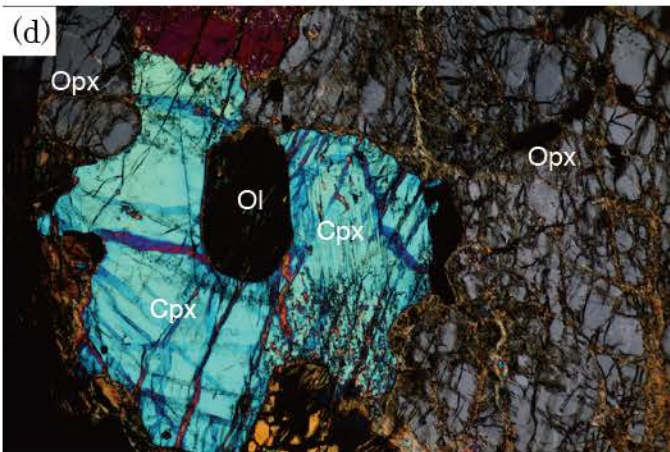
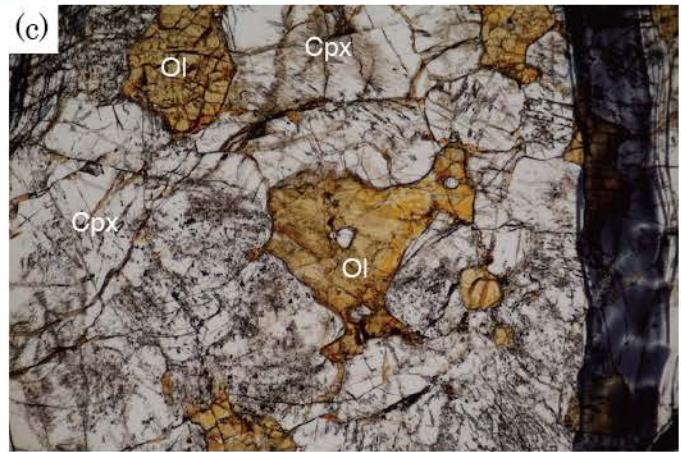
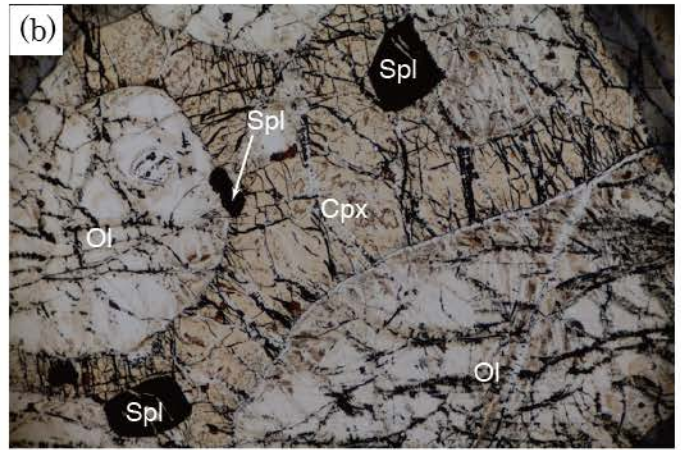


Fig. 4-4. Photomicrographs of representative rocks from the lower wehrlitic intrusions. (a) Anhedral light brown hornblende occurs interstitially between euhedral olivine grains. (b) Large clinopyroxene crystal as poikilitic with euhedral olivine grains. (c) Colorless hornblende occurs interstitially between euhedral olivine grains. (d) Euhedral olivine and clinopyroxene grains with cumulate texture and clinopyroxene rim showing dusty. Length of the scale bar is 1 mm. Abbreviations: Ol, olivine; Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Hbl, hornblende; Spl, spinel.



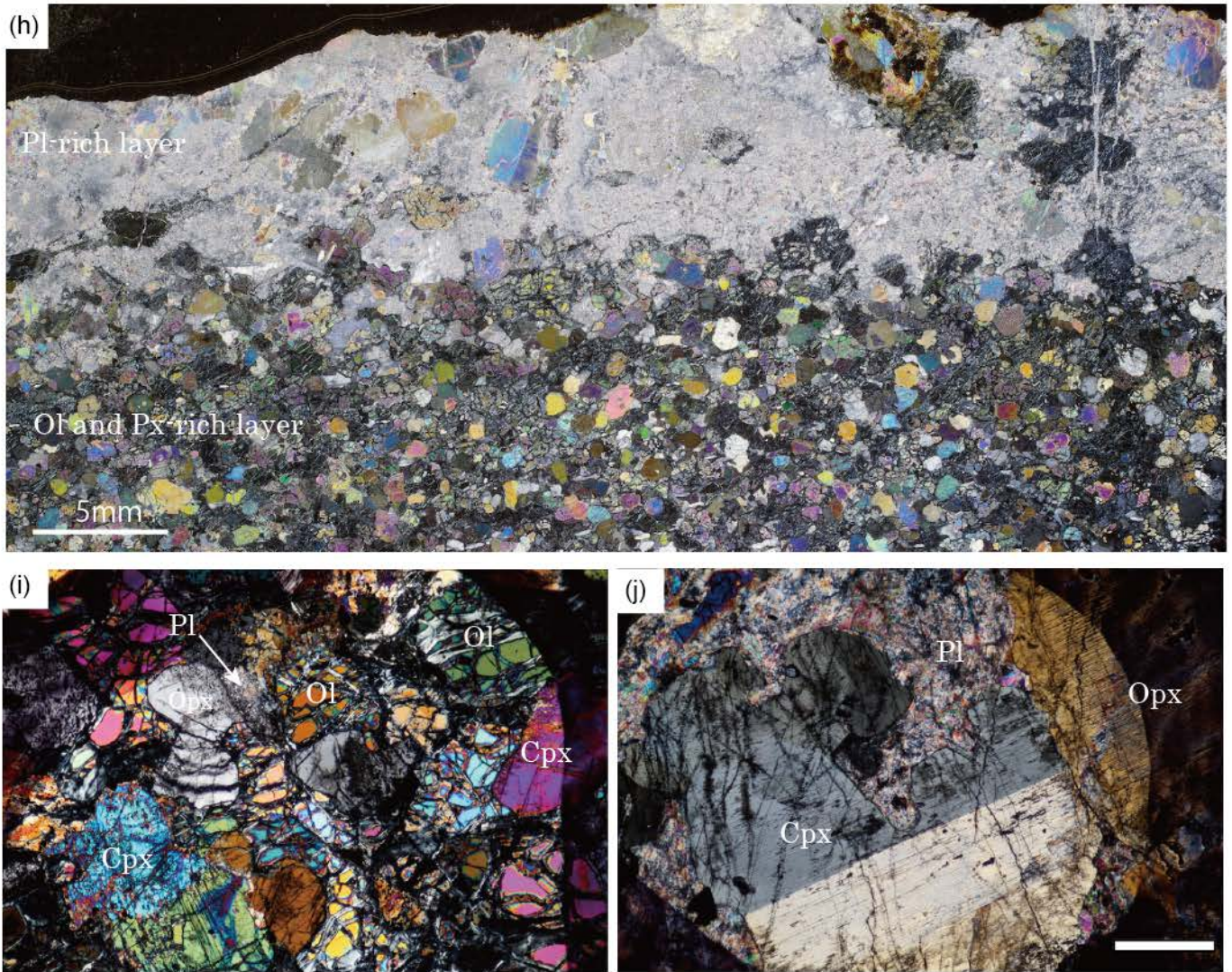


Fig. 4-5. Photomicrographs of representative rocks from the layered mela-gabbronorite of the Lasail-south complex. (a) Thin section of the layered mela-gabbronorite, consisting of Ol-rich layer and Cpx-rich layer with a few cm cycle. (b) Euhedral to subhedral olivine and clinopyroxene grains with cumulate texture. (c) Anhedral clinopyroxene occurring interstitially to euhedral olivine grains, and showing olivine and clinopyroxene altered to serpentinite. (d) Euhedral olivine and clinopyroxene grains with cumulate texture, and showing subhedral plagioclase interstitially to euhedral olivine and clinopyroxene grains. (e) Large orthopyroxene crystals of c. 15 mm in diameter filling the interstices or poikilitic between olivine grains. (f) Subhedral clinopyroxene and orthopyroxene grains occurring the poikilitic between olivine grains. (g) Light brown to light green hornblende occurring interstitially to olivine, clinopyroxene and orthopyroxene grains. (h) Thin section of the layered mela-gabbronorite, consisting of olivine-pyroxene and plagioclase-rich layers with a few to 50 cm cycle. (i) Euhedral to subhedral olivine, clinopyroxene and orthopyroxene grains with cumulate texture, and occurring plagioclase interstitially to olivine and pyroxene grains. (j) Subhedral clinopyroxene grain and anhedral plagioclase in the plagioclase-rich layer. Length of the scale bar is 1 mm. Abbreviations: Ol, olivine; Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Opx, orthopyroxene; Hbl, hornblende; Amp, amphibole; Spl, spinel.

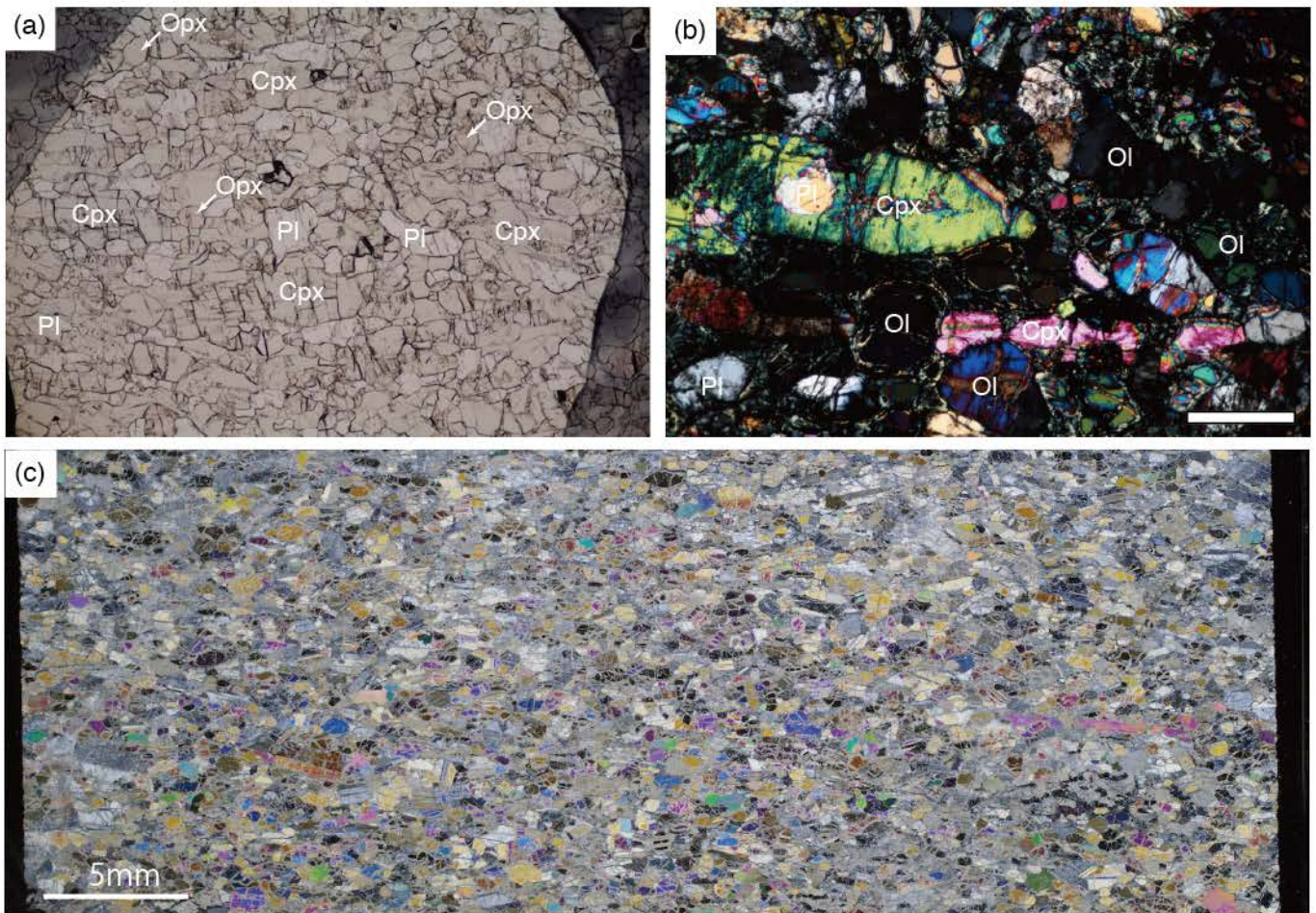


Fig. 4-6. Photomicrographs of representative rocks from the Foliated gabbronorite of the Lasail-south complex. (a) Euhedral to subhedral plagioclase and clinopyroxene grains with cumulate texture, and granular orthopyroxene occurring interstitially to plagioclase and clinopyroxene grains. (b) Euhedral clinopyroxene clearly forming foliation. (c) Thin section of the foliated gabbronorite, occurring the foliation of plagioclase and clinopyroxene. Length of the scale bar is 1 mm. Abbreviations: Ol, olivine; Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Opx, orthopyroxene.

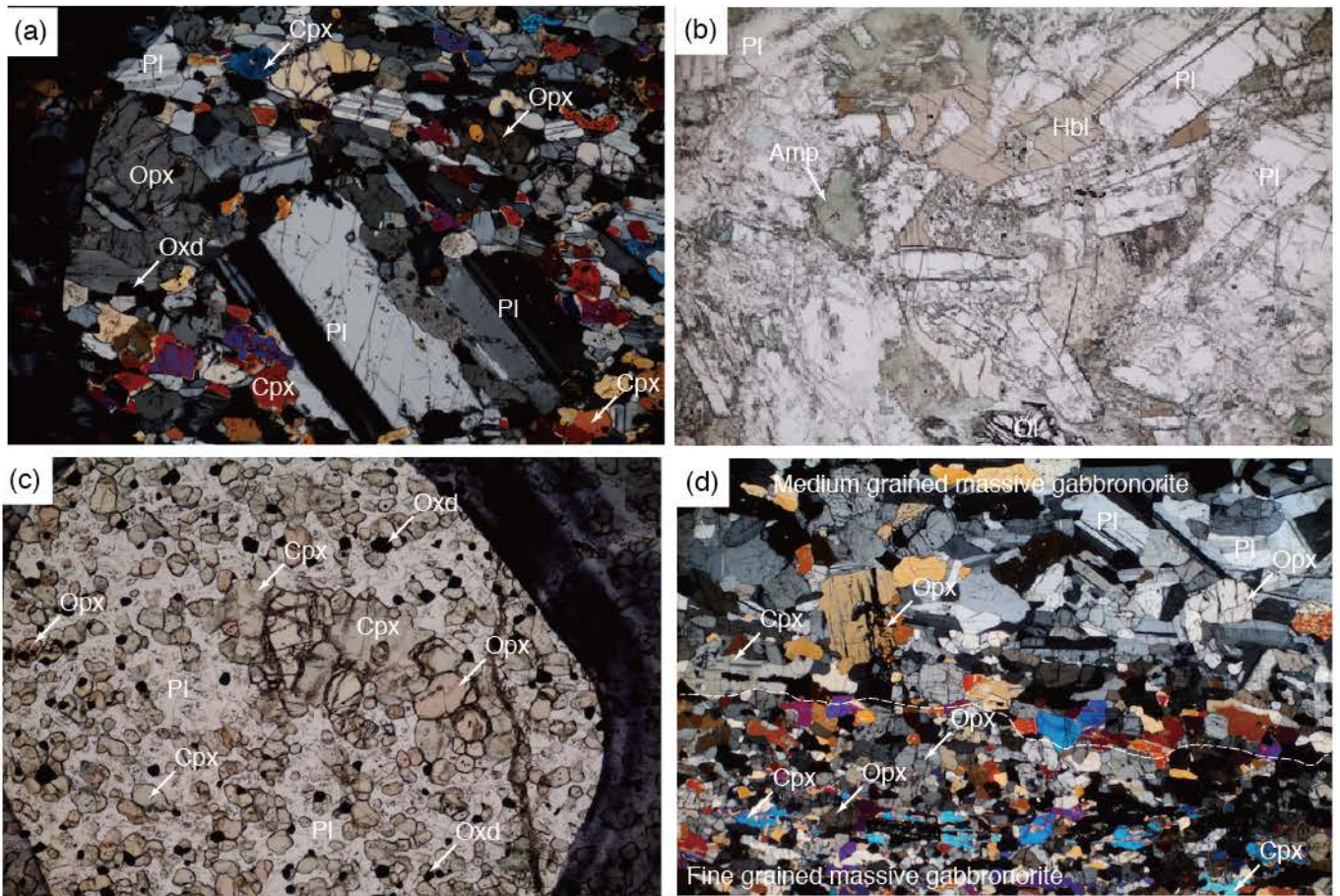


Fig. 4-7. Photomicrographs of representative rocks from the Massive gabbronorite of the Lasail-south complex. (a) Euhedral large plagioclase and granular clinopyroxene and orthopyroxene crystals with cumulate texture. (b) Anhedral light brown hornblende occurring interstitially to euhedral plagioclase grains. (c) Clinopyroxene and orthopyroxene showing granular, and showing heterogeneity of grain size of pyroxene. (d) Layering structure due to the difference between grain sizes. Length of the scale bar is 1 mm. Abbreviations: Ol, olivine; Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Opx, orthopyroxene; Hbl, hornblende; Amp, amphibole; Spl, spinel; Oxd, oxide.

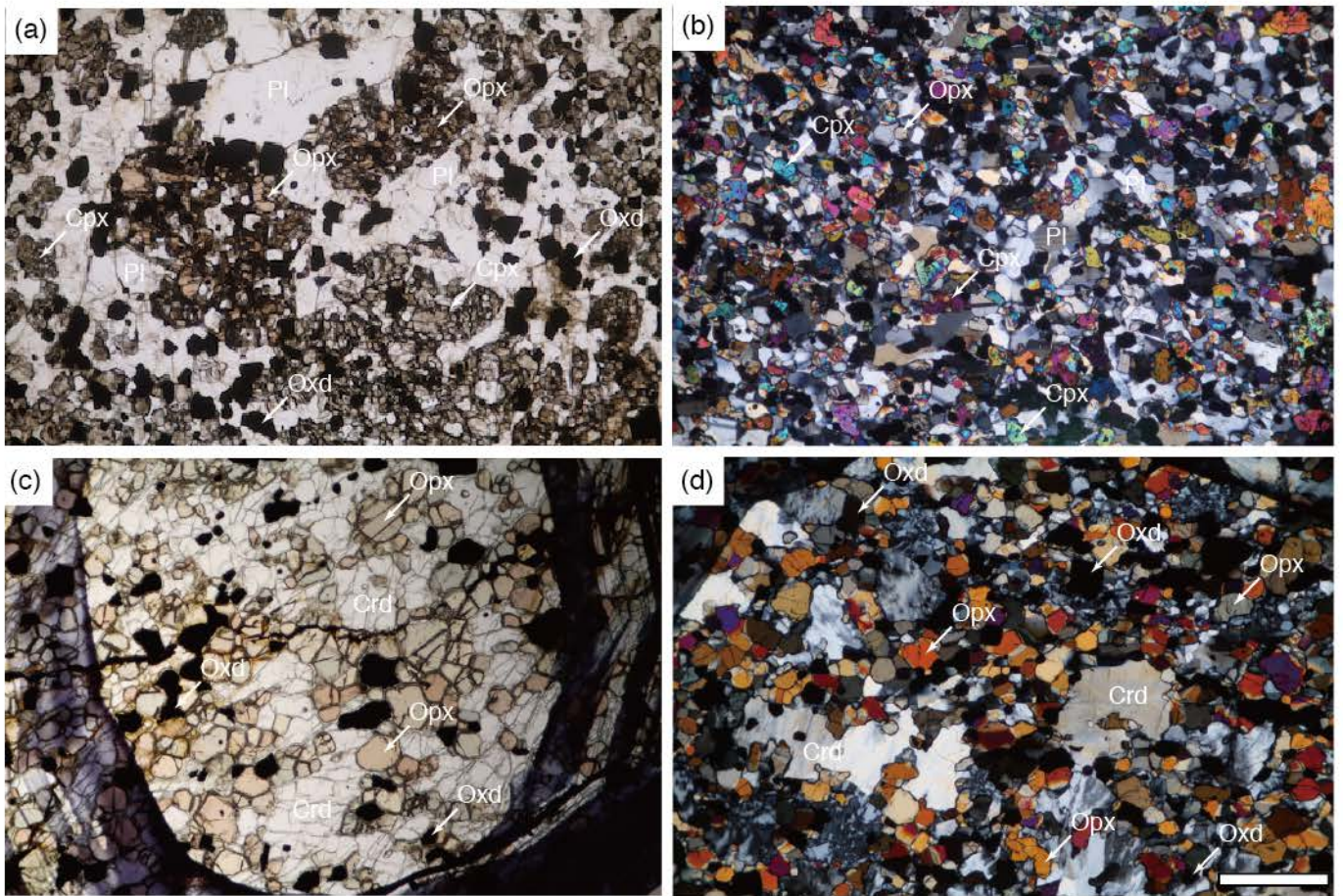


Fig. 4-8. Photomicrographs of representative rocks from the gabbronorite and cordierite - opx rocks. (a) Clinopyroxene and orthopyroxene grains occurring the poikilitic between plagioclase grains. (b) Euhedral to subhedral clinopyroxene and orthopyroxene showing granular, and containing numerous oxide crystals. (c,d) Orthopyroxene showing granular, and cordierite grains occurring interstitially to orthopyroxene grains. Cordierite rim altered to pinitite. Length of the scale bar is 1 mm. Abbreviations: Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Opx, orthopyroxene; Crd, cordierite; Oxd, oxide.

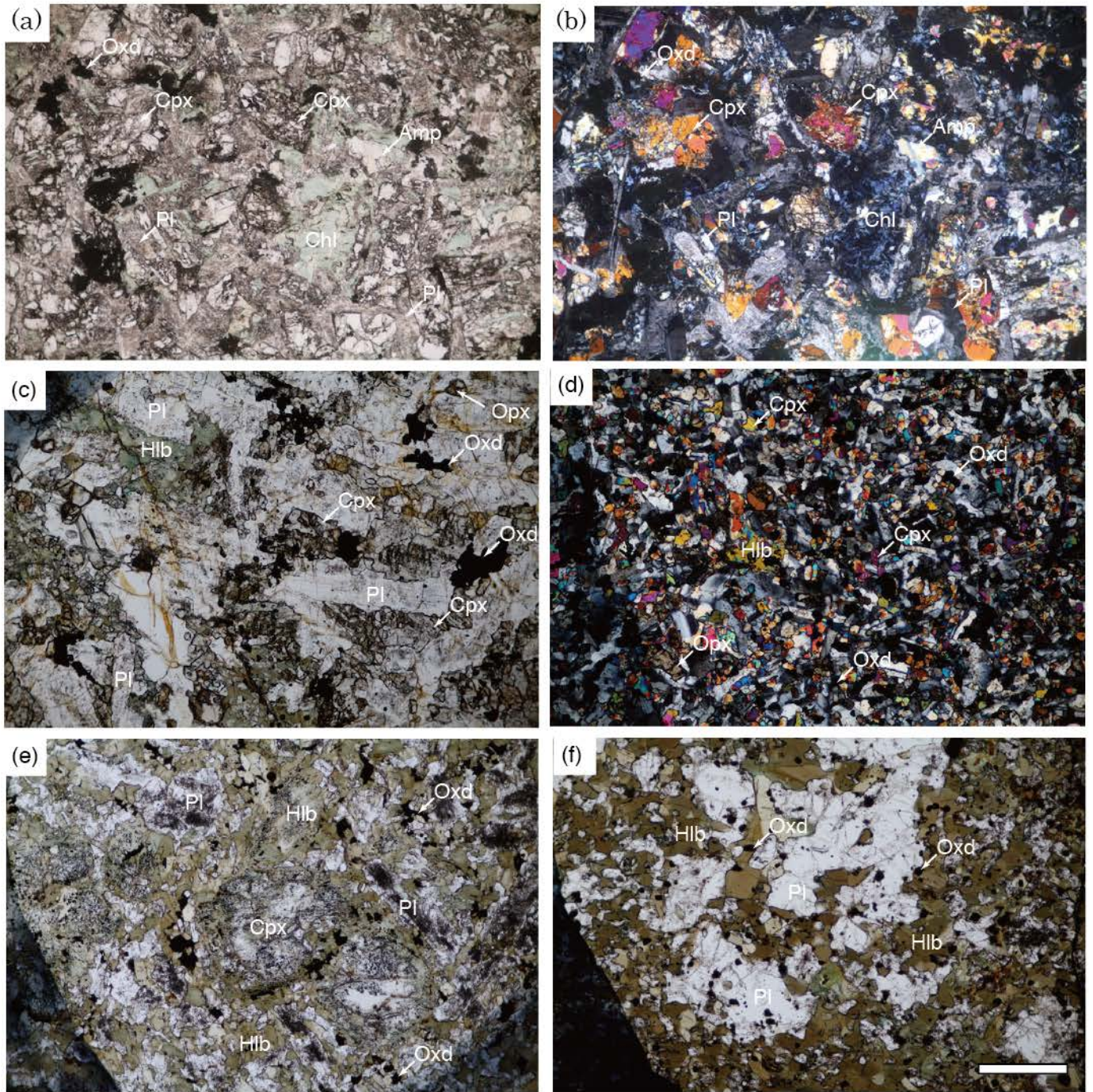


Fig. 4-9. Photomicrographs of representative rocks from the sheeted dykes and mafic hornfels at the basal part of the sheeted dyke complex. (a) Clinopyroxene and plagioclase micro-phenocryst in the altered sheeted dykes. (b) Crossed-polarized image of (a) showing plagioclase changed to saussurite. (c) Clinopyroxene and orthopyroxene showing granular in gabbro-norite (basal part of the sheeted dyke complex). (d) Cross-polarized image of gabbro-norite, euhedral to subhedral plagioclase occurring interstitially with clinopyroxene and orthopyroxene. (e) Although clinopyroxene appears to be a relict, clinopyroxene rim is changed to hornblende and oxide. (f) Brown to light green hornblende in the mafic hornfels. Length of the scale bar is 1 mm. Abbreviations: Ol, olivine; Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Opx, orthopyroxene; Hlb, hornblende; Amp, amphibole; Oxd, oxide; Chl, chlorite.

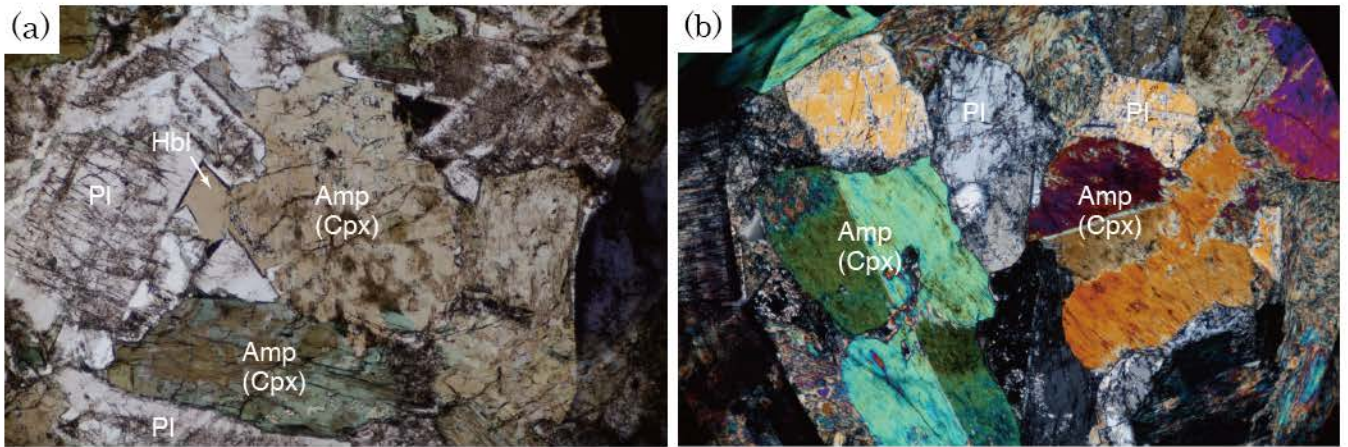


Fig. 4-10. Photomicrographs of representative rocks from the mafic to felsic dykes. (a,b) Euhedral to subhedral clinopyroxene is changed to amphibole, and anhedral light brown hornblende occurs interstitially between clinopyroxene and plagioclase. Length of the scale bar is 1 mm. Abbreviations: Pl, plagioclase; Cpx, clinopyroxene; Hbl, hornblende; Amp, amphibole.

第5章 全岩化学組成

全岩の主要元素および微量元素組成分析は、高橋・周藤（1997）に基づき、ガラスビードを作成し、分析は新潟大学理学部設置の蛍光 X 線分析装置（リガク RIX3000）を用いた。蛍光 X 線による分析は、FeO と Fe₂O₃ は区別せず総量を FeO total として扱い、無水 100% へ補正した値を用いた。また、Lasail-south complex および苦鉄質ホルンフェルス、シート状岩脈群、安山岩質貫入岩体の一部の試料は、アルカリ融解法を用いて試料を約 50,000 倍に希釈した溶液を作り、新潟大学自然科学研究科に設置の誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS : Agilent 7500a）で微量元素組成分析を行った。

5.1 シート状岩脈群

シート状岩脈群を構成するドレライト質岩脈の SiO₂ 量は 48.9-54.7 wt% を示し、塩基性岩の特徴を有している。Mg# ((Mg/(Mg+Fe))) は 0.69-0.31 の広い組成幅を示し、不適合元素の TiO₂ (0.26-2.24 wt%) や Na₂O (0.50-5.48 wt%)、P₂O₅ (0.01-0.19 wt%) では Mg# の減少に伴い不適合元素の含有量が増加する結晶分化作用のトレンドを示している (Fig. 5-1)。微量元素の V (212-451 ppm) や Ga (13.0-18.6 ppm)、Y (27.6-43.7 ppm)、Zr (72.7-124.0 ppm)、Yb (2.69-4.13 ppm) の含有量も同様に、Mg# の減少に伴い微量元素の含有量が増加する結晶分化のトレンドを示している (Fig. 5-2)。FeO*/MgO と TiO₂ wt% を用いた組成判別図 (Rochette et al., 1991; Lippard et al., 1986; Einaude et al., 2000) では、海嶺火成活動 (V1 ; Geotimes unit) の組成領域内にプロットされる (Fig. 5-3)。Lasail-south complex に貫入するドレライト質岩脈は、Mg# が 0.50-0.43 の組成幅を示し、不適合元素の TiO₂ (1.03-1.40 wt%) や Na₂O (3.50-4.15 wt%)、P₂O₅ (0.07-0.12 wt%) は高い値を示すことから結晶分化作用が比較的進行していると考えられる。

シート状岩脈群の微量元素組成をコンドライトで規格化した REE パターンは、HREE から MREE はフラットで MREE から LREE へ向かって僅かに左下がりをする典型的な MORB (V1) の REE パターン (Godard et al., 2003) を示す (Fig. 5-4a)。本研究に分布するシート状岩脈群は、Lasail-south complex を挟んで西側と東側に分

第5章 全岩化学組成

かれており、西側のシート状岩脈群の REE 含有量は東側のシート状岩脈群の REE 含有量よりも低く枯渇した特徴を有している (Fig. 5-4a)。

5.2 シート状岩脈群基底部 (Mafic hornfels)

東側のシート状岩脈群基底部は苦鉄質ホルンフェルスに変成しており、その SiO₂ 量は 49.0-51.6 wt%を示し、塩基性岩に相当する。Mg#は 0.49-0.44 および不適合元素の TiO₂ (1.20-1.31 wt%) や Na₂O (3.00-3.63 wt%)、P₂O₅ (0.10-0.11 wt%) は均質な組成を示している (Fig. 5-1)。同様に、微量元素の V (238-254 ppm) や Ga (16.4-16.8 ppm)、Y (31.5-33.2 ppm)、Zr (86.2-106 ppm)、Yb (2.92-3.15 ppm) においても均質な微量元素含有量を示している (Fig. 5-2)。苦鉄質ホルンフェルスの微量元素組成をコンドライトで規格化した REE パターンは、HREE から MREE 向かってフラットで MREE から LREE へ向かって僅かに左下がりし、研究地域のシート状岩脈群や MORB の REE パターンと類似している (Fig. 5-4a)。

5.3 Lasail-south complex

Lasail-south complex を構成する岩石の SiO₂ 量は 44.6-55.0 wt%を示し、塩基性岩の特徴を有している。Mg#は 0.77-0.31 の広い組成幅を有し、不適合元素の TiO₂ (0.10-1.70 wt%) や Na₂O (0.12-3.28 wt%) では Mg#の減少に伴い不適合元素の含有量が増加する結晶分化作用のトレンドを示している (Fig. 5-1)。本岩体の不適合元素含有量はシート状岩脈群の不適合元素含有量と比べると低く、枯渇した組成を示している。微量元素の Zr (0.65-12.2 ppm)、Nb (0.005-0.16 ppm)、La (0.04-0.30 ppm) の含有量も同様に低い特徴を有している (Fig. 5-2)。

Lasail-south complex は野外産状の特徴から、優黒質層状ガブローライト、フォリエテッドガブローライト、塊状ガブローライトに区分される。それぞれの産状ごとに微量元素組成をコンドライトで規格化した REE パターンは、Eu に正の異常が認められると同時に LREE の含有量に乏しい特徴を示す (Fig. 5-4c,d,e)。これらの REE 組成の特徴は、斜長石の集積効果と単斜輝石の分別効果の影響と考えられる。同様に、コンドライトで規格化した微量元素組成の多元素パターンでは、フォリエテ

第5章 全岩化学組成

ッドガブロンライトおよび塊状ガブロンライト中の Zr および Hf に負の異常が認められ (Fig. 5-5d,e)、単斜輝石の分別効果の影響を受けていると考えられる。斜長石の集積や単斜輝石の分別効果の影響を強く受けている場合、全岩化学組成を用いてマグマの特徴を議論することには適していない。そのため、Lasail-south complex を構成する岩石の分別結晶作用のモデル計算を行うことで鉱物の集積・分別効果を検討する必要がある。

結晶を集積および分別させる試料は、Lasail-south complex を構成する岩石の中で平均的な組成を示す 12BarE85 を用いた。本試料は塊状ガブロンライトで SiO₂、Al₂O₃、FeO*、CaO 量はそれぞれ 49.7 wt%、16.2 wt%、8.78 wt%、12.7 wt%、Mg# は 0.52 を示している。集積および分別させるカンラン石 Fo ($(\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}))$) は 0.86、単斜輝石 Mg# は 0.88、斜方輝石 Mg# は 0.87、斜長石 An ($(100*\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na}))$) は 91.6 をそれぞれ用いている。Lasail-south complex の優黒質層状ガブロンライトの鉱物量比を基にカンラン石および斜方輝石に富む層をカンラン石 : 単斜輝石 : 斜方輝石 = 5 : 4 : 10 の割合で、単斜輝石と斜長石に富む層を単斜輝石 : 斜方輝石 : 斜長石 = 2 : 1 : 2 の割合でそれぞれ集積させたトレンドの延長線上に Lasail-south complex の全岩化学組成がプロットされる (Fig. 5-6)。同様に CaO と FeO* では単斜輝石 : 斜方輝石 : 斜長石 = 2 : 1 : 2 の割合で分別させたトレンド上に塊状ガブロンライトがプロットされる (Fig. 5-6c,d)。これらのことから、Lasail-south complex の優黒質層状ガブロンライトおよびフォリエィテッドガブロンライト、塊状ガブロンライトは結晶集積によって形成された岩石であり、不適合元素である Ti や Na、P、Zr などの元素に乏しいことと調和的である。そのため、本岩体を形成した親マグマの化学組成や成因を議論するためには鉱物化学組成による議論が必要である。

5.4 ブロック : 細粒ガブロンライト

Lasail-south complex 上部の塊状ガブロンライトにブロックとして取り込まれているガブロンライトの SiO₂ 量は 43.5-58.7 wt% を示し、塩基性岩から中性岩の特徴を有している。Mg# は 0.16-0.53 の広い組成幅を有し、不適合元素の TiO₂ (0.53-2.63 wt%) や Na₂O (1.83-3.78 wt%)、P₂O₅ (0.01-0.16 wt%) では Mg# の減少に伴い不適合元素の含有量が増加する結晶分化作用のトレンドを示す (Fig. 5-1)。微量元素の

第5章 全岩化学組成

V (264-475 ppm) や Ga (12.4-20.8 ppm)、Y (13.8-36.6 ppm)、Zr (17.6-51.6 ppm)、Yb (1.26-3.53 ppm) の含有量も同様に、Mg#の減少に伴い微量元素の含有量が増加する結晶分化のトレンドを示している (Fig. 5-2)。

ガブロノーライトブロックの微量元素組成をコンドライトで規格化した REE 組成には組成幅が見られ、肥沃的な REE 組成を示すタイプは V1 と類似した REE 含有量および REE パターンを示し、枯渇した REE 組成を示すタイプはシート状岩脈を部分溶解させた REE パターンと類似する (Fig. 5-4f)。

5.5 苦鉄質-珪長質貫入岩体および安山岩質岩脈

Lasail-south complex に貫入する角閃石ガブロの SiO₂ 量は 47.0-52.9 wt% を示し、塩基性岩の特徴を有している。1 試料のみ SiO₂ 量が 66.6 wt% を示し、珪長質なトーナラル岩も存在する。角閃石ガブロの Mg# は 0.41-0.72 の広い組成幅を有し、不適合元素の TiO₂ (0.11-0.67 wt%) や Na₂O (0.36-2.90 wt%)、P₂O₅ (0-0.05 wt%) の低い値を示す (Fig. 5-1)。角閃石ガブロ中の不適合元素 (Ti、Na、P) は、海嶺火成活動で形成される上部ガブロの化学組成 (野川, 2013MS) よりも低い特徴を有している。微量元素の Zr (2.32-18.3 ppm)、Nb (0.01-0.27 ppm)、Ce (0.39-1.45 ppm)、La (0.10-0.64 ppm)、Nd (0.64-1.79 ppm) の低い含有量を示す (Fig. 5-2)。角閃石ガブロの微量元素組成をコンドライトで規格化した REE パターンは、HREE から MREE はフラットで MREE から LREE へ向かって左下がりをする REE パターンを示すが、海洋地殻層序を構成する上部ガブロの REE 含有量よりも低い特徴を有している (Fig. 5-4g)。コンドライトで規格化した微量元素組成の多元素パターンでは、Zr および Hf に負の異常が認められる試料も存在することから (Fig. 5-5g)、単斜輝石の分別効果の影響を受けていると考えられる。そのため、角閃石ガブロを形成した親マグマの特徴や成因を議論する際には、単斜輝石の分別効果を受けていると試料を除く必要がある。

トーナラル岩の Mg# は 0.27、不適合元素の TiO₂、Na₂O、P₂O₅ 量はそれぞれ 0.69 wt%、5.11wt%、0.05 wt% を示し、Amp. gabbro の結晶分化作用のトレンドの延長線上にプロットされる (Fig. 5-1)。微量元素組成の Rb ppm と Y+Nb ppm および Nb ppm と Y ppm を用いた組成判別図 (Pearce et al., 1984) では、Y+Nb ppm および Y ppm が

第5章 全岩化学組成

低く島弧的花崗岩類の組成領域内にプロットされる (Fig. 5-7)。

研究地域北部のシート状岩脈群に貫入する安山岩質岩脈の SiO_2 量は 59.0-59.9 wt% を示し、中性岩の特徴を有している。シート状岩脈群を構成する岩石の平均 SiO_2 量は 52.1 wt% であり、安山岩質岩脈の SiO_2 量は約 7 wt% 高い。不適合元素の TiO_2 (0.32-1.06 wt%) や Na_2O (2.38-7.30 wt%) の広い組成幅を示しているが、Mg#は 0.35-0.43 の狭い組成幅を有している (Fig. 5-1)。

安山岩質岩脈の微量元素組成をコンドライトで規格化した REE パターンは、HREE から LREE へ向かって全体的に左下がりの REE パターンを示す (Fig. 5-4h)。Zr ppm とコンドライトで規格化した Nd/Yb (n) を用いた組成判別図 (Ernewein et al., 1988; Beurrier et al., 1989; Einaudi et al., 2003; Godard et al., 2003, 2006; Miyashita et al., 2003; A'Shaikh et al., 2005) では、安山岩質岩脈は Zr ppm (60-69.7 ppm) および Nd/Yb(n) (0.7-0.8) が低いため沈み込み帯火成活動 (V2、Alley unit) の組成領域内にプロットされる (Fig. 5-8)。

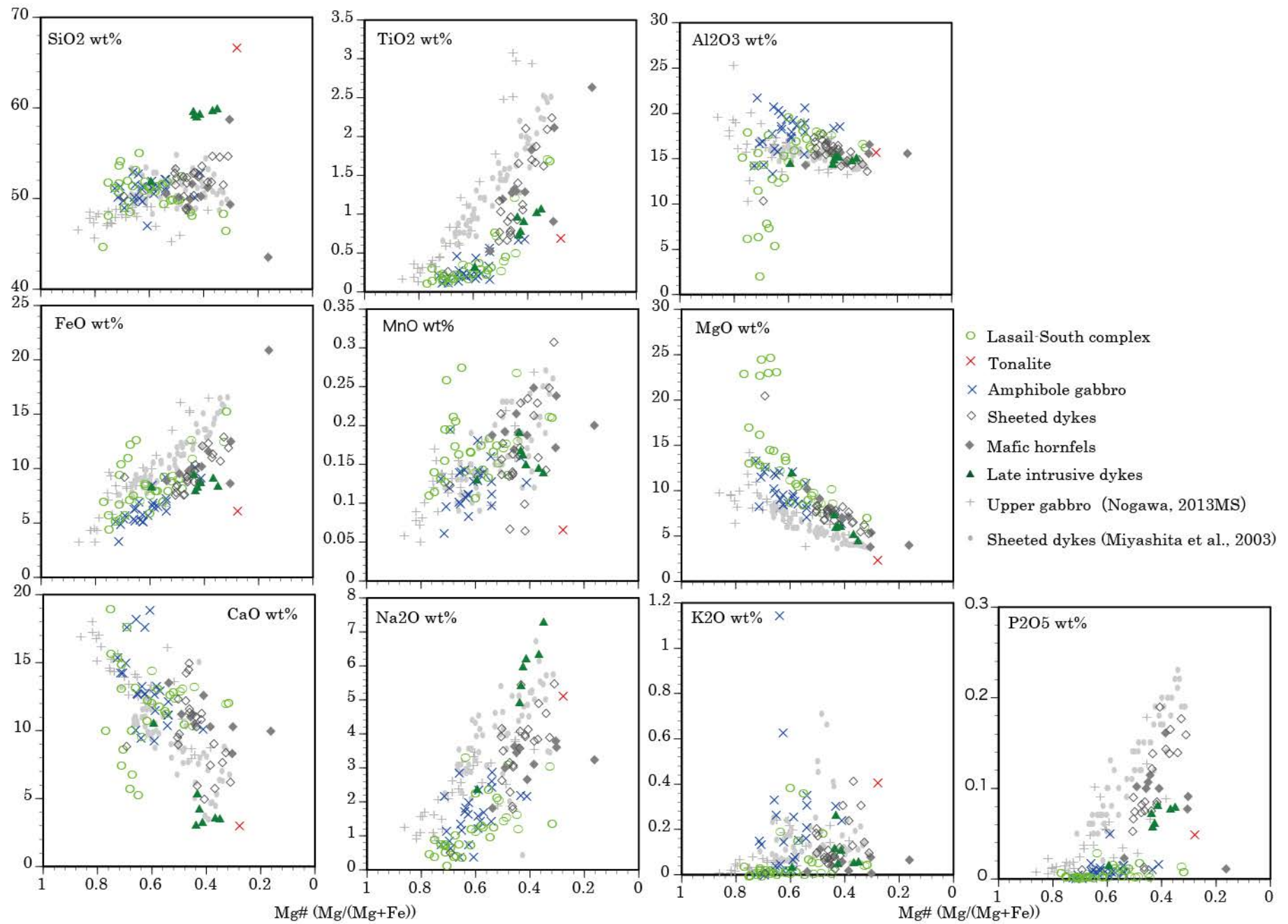


Fig. 5-1. Bulk major elements versus Mg# ($Mg/(Mg+Fe)$). Major element compositions are recalculated on an anhydrous basis.

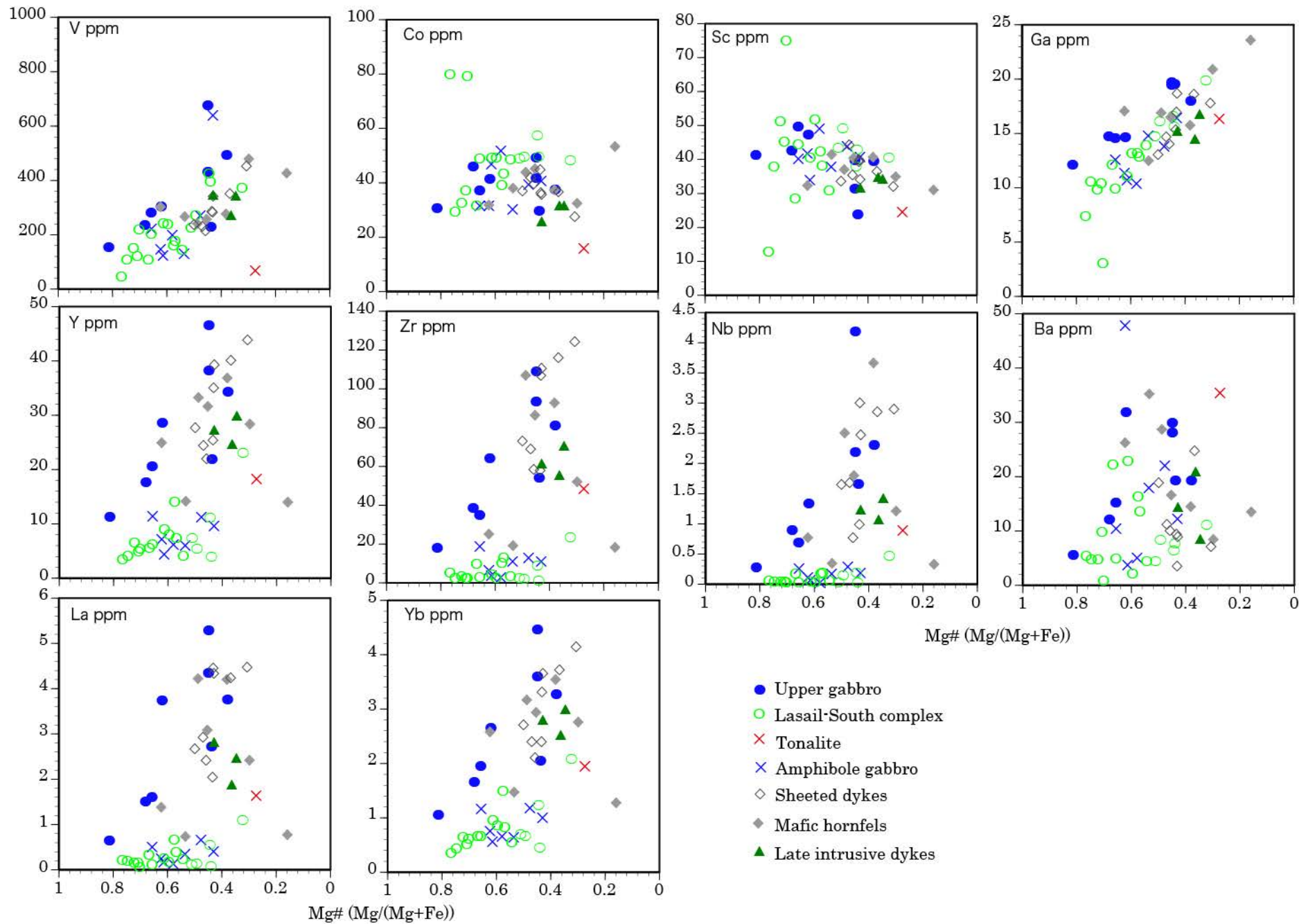
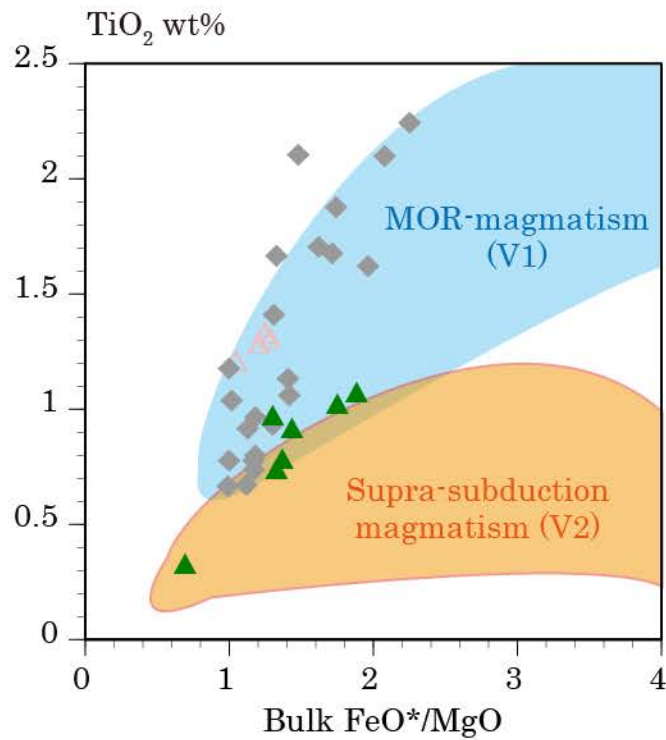


Fig. 5-2. Bulk trace elements versus Mg# (Mg/(Mg+Fe)).



- ◆ Sheeted dyke complex
- △ Mafic hornfels (basal part of the sheeted dyke complex)
- ▲ Andesitic dykes

Fig. 5-3. Whole rock compositions of the sheeted dyke complex, mafic hornfels and andesitic dykes compared to the MOR-magmatism (V1) and supra-subduction magmatism (V2). Compositional fields are MOR-magmatism (V1) and supra-subduction magmatism (V2) after Rochette et al. (1991), Lippard et al. (1986) and Einude et al. (2000).

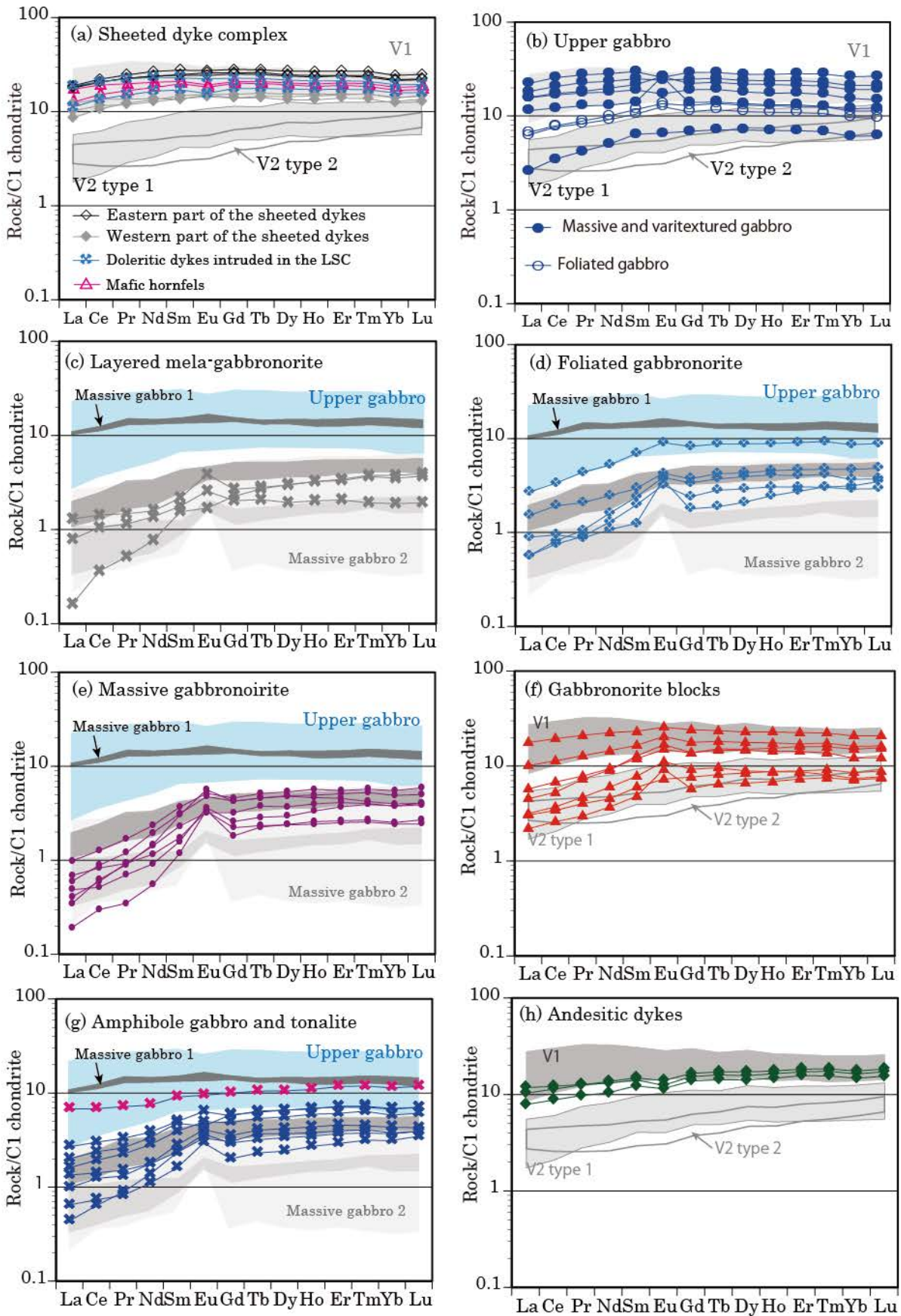


Fig. 5-4. Chondrite normalized REE patterns of the (a) doleritic dykes, (b) upper gabbro, (c-e) Lasail-south complex (Layered mela-gabbro, foliated gabbro and massive gabbro), (f) gabbro block, (g) amphibole gabbro and (h) andesitic dykes. Compositional fields are V1, V2 type1 and V2 type2 after Godard et al. (2003), Massive gabbro 1 and 2 after Tsuchita et al. (2013). Chondrite values are after Sun and McDonough (1989).

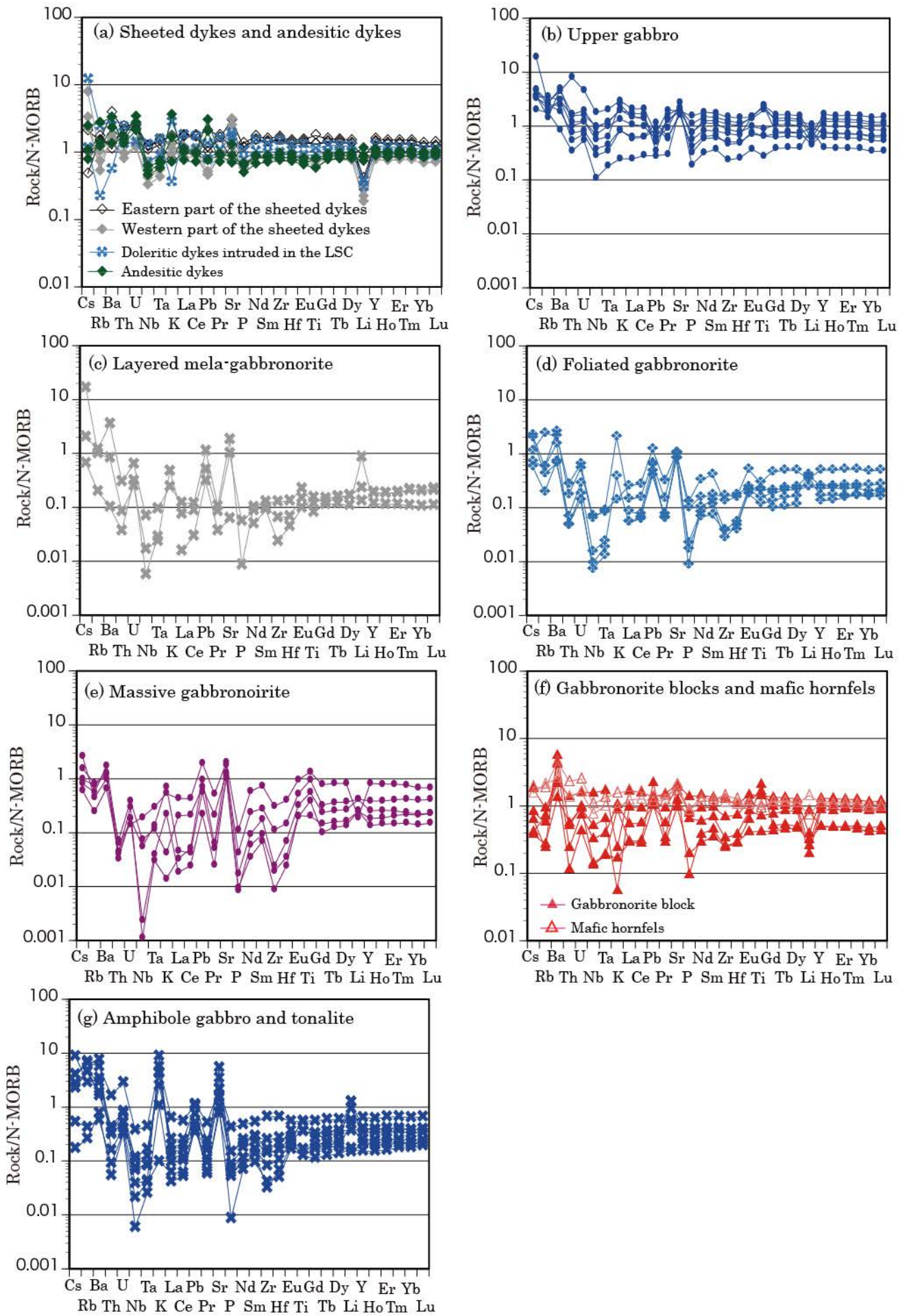
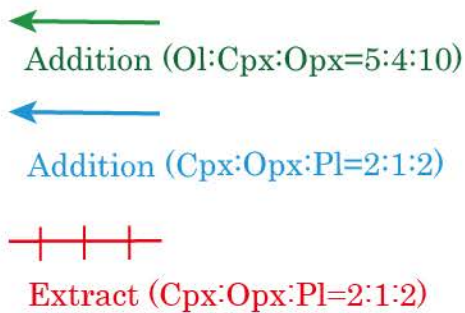
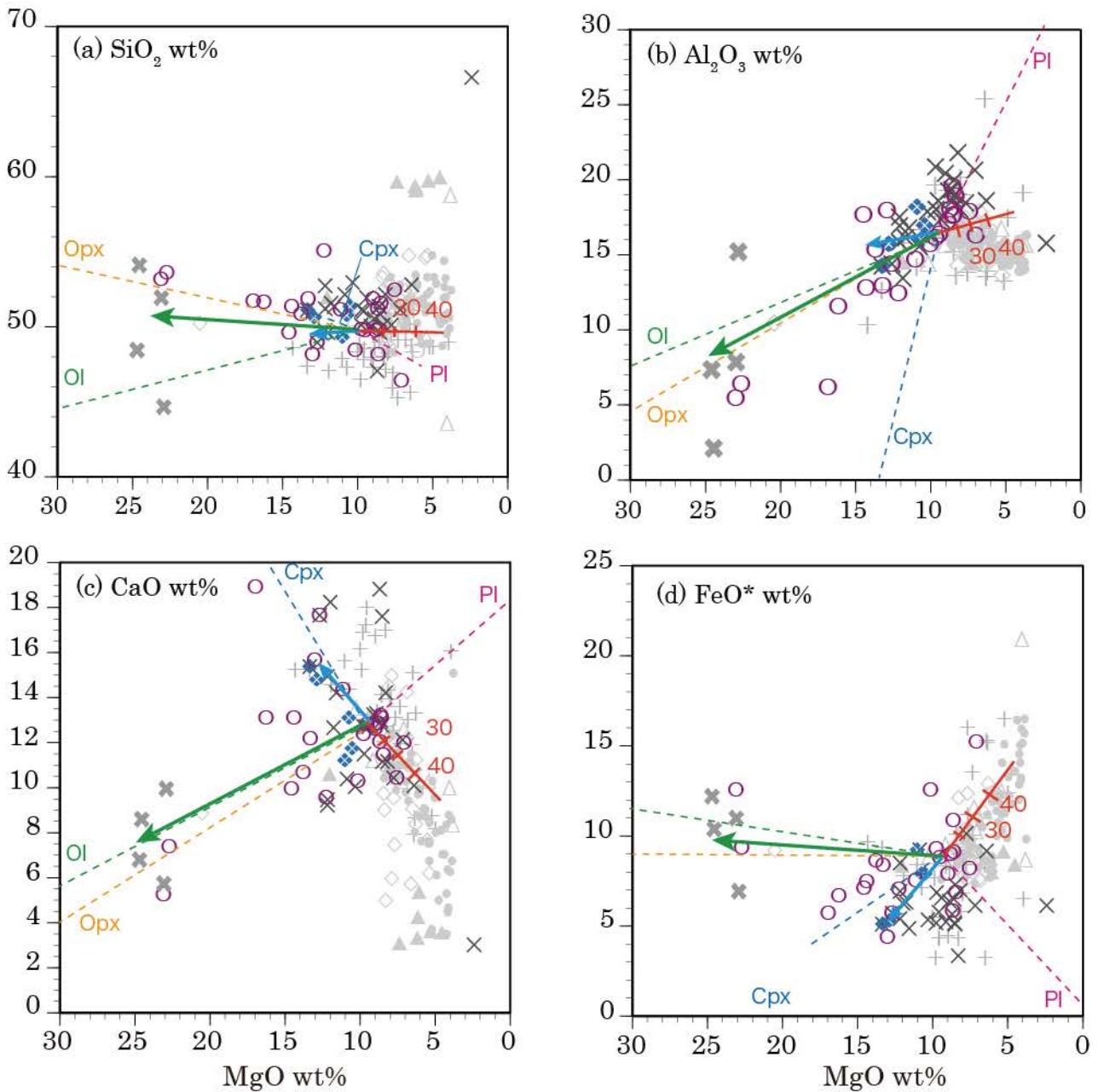


Fig. 5-5. N-MORB normalized multi element patterns of the (a) sheeted dykes and andesitic dykes, (b) upper gabbro, (c-e) Lasail-south complex (Layered mela-gabbro, foliated gabbro and massive gabbro), (f) gabbro block and mafic hornfels and (g) amphibole gabbro. N-MORB values are after Sun and McDonough (1989).



- × Amp. gabbro and tonalite
- ◆ Foliated gabbronorite
- Massive gabbronorite
- × Layered gabbronorite

Fig. 5-6. Plots of whole rock MgO wt% versus (a) SiO_2 wt%, (b) Al_2O_3 wt%, (c) CaO wt% and (d) FeO^* wt% of the Lasail-south complex. Green line is the addition of 5:4:10 of olivine, clinopyroxene and orthopyroxene, blue line is the addition of 2:1:2 of clinopyroxene, orthopyroxene and plagioclase, reddish line is the extract of 2:1:1 of clinopyroxene, orthopyroxene and plagioclase.

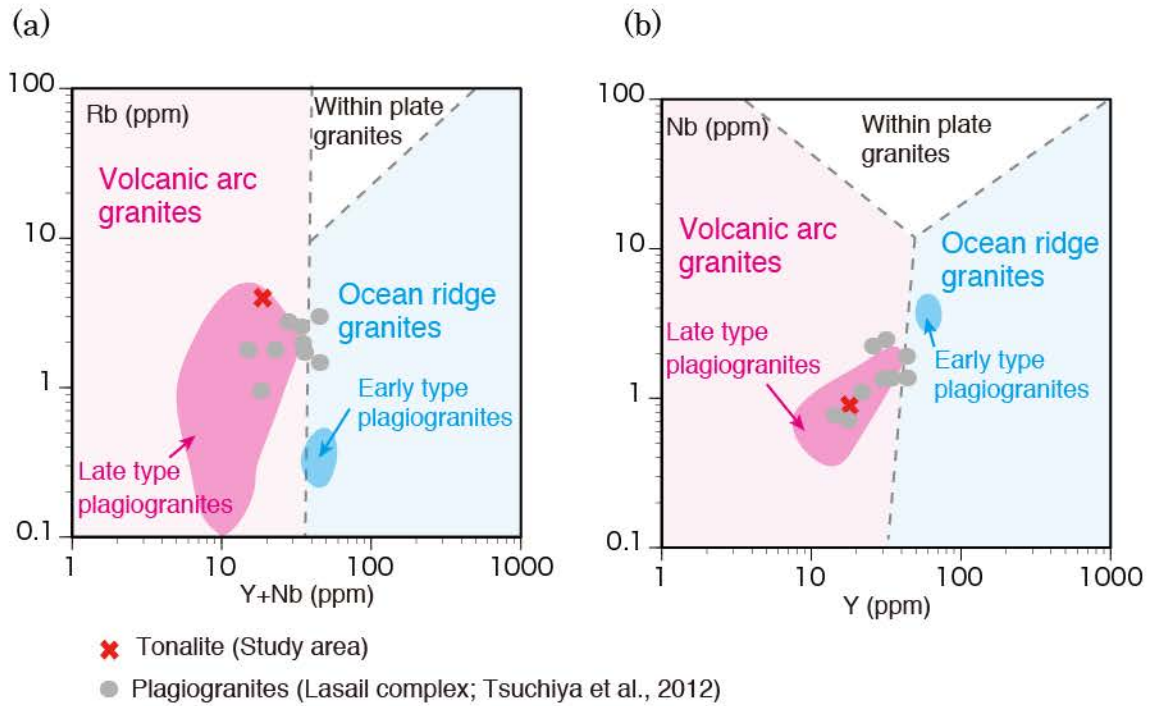


Fig. 5-7. Discrimination diagrams for granites of (a) Y+Nb ppm vs Rb ppm and (b) Y vs Nb ppm. Ocean ridge granites, volcanic arc granites and within plate granites are from Pearce et al. (1984) and early type plagiogranites and late type plagiogranites are from Rollinson (2009).

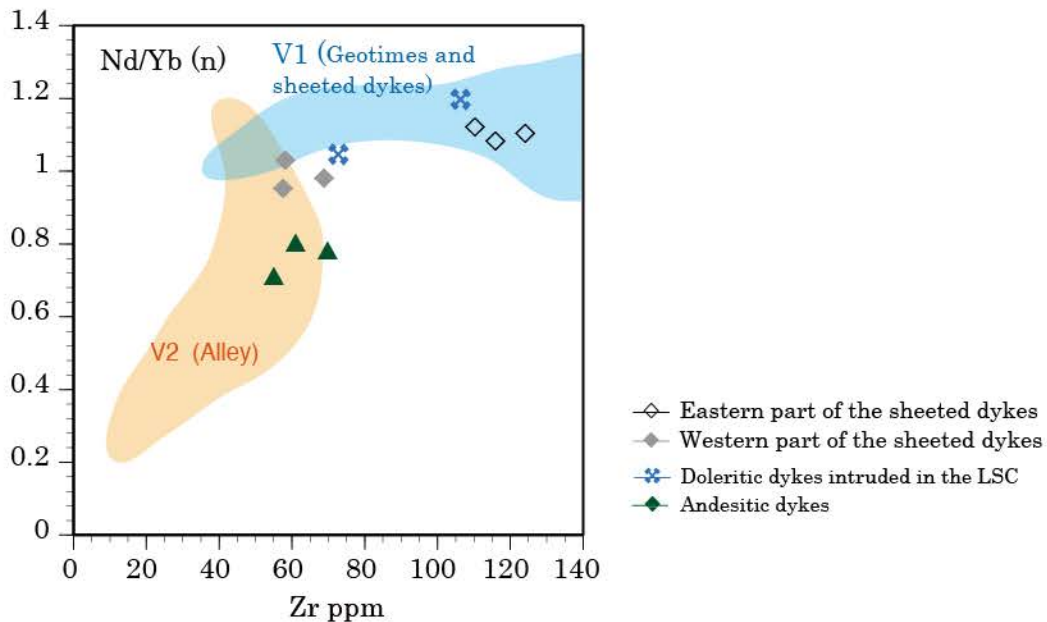


Fig. 5-8. Discrimination diagram for V1 and V2 magmatism of Zr ppm vs chondrite normalized Nd/Yb (n). V1 (geotimes and sheeted dykes) is from Ernewein et al. (1988), Beurrier et al. (1989), Einaudi et al. (2003), Godard et al. (2003), Miyashita et al. (2003) and A' Shaih et al. (2005). V2 (alley unit) is from Alabaster et al. (1982) and Lippard et al. (1986).

第6章 鉍物化学組成

鉍物化学組成は、新潟大学自然科学研究科に設置されている波長分散型分光器付き EPMA (WDS) JEOL AXA8600SX を用いた定量分析によるものである。測定条件は鉍物ごとに変更し、斜長石および単斜輝石、斜方輝石、スピネルは加速電圧 15.0kV、試料電流 1.30×10^{-8} A、カンラン石は加速電圧 25.0kV、試料電流 2.0×10^{-8} A、普通角閃石は加速電圧 15.0kV、試料電流 3.0×10^{-8} A で行い、補正計算には Oxide ZAF 法を用いた。モホ遷移帯 (2 試料) および Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions (5 試料)、Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type (3 試料) の一部の試料においては新潟大学自然科学研究科に設置されているレーザー照射型誘導結合プラズマ質量分析装置 (LA-ICP-MS : Agilent 7500a) で単斜輝石中の微量元素組成分析を行った。

6.1 モホ遷移帯およびウェールライト質貫入岩体

本研究地域に分布するモホ遷移帯および Barghah complex、Lower wehrlitic intrusions を構成する鉍物には累帯構造が認められないため、分析値は薄片 1 枚ごとの平均値を示している。

6.1.1 モホ遷移帯およびウェールライト質貫入岩体中のカンラン石

モホ遷移帯、Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions 中のカンラン石 Fo ($(\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}))$) は、それぞれ 92.5-87.6 (NiO : 0.44-0.14 wt%)、90.6-87.0 (NiO : 0.36-0.20 wt%)、90.8-84.7 (NiO : 0.31-0.13 wt%) の組成幅を示す。モホ遷移帯のカンラン石 Fo 値の最大は 92.5 を示し、Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions のカンラン石 Fo 値はモホ遷移帯よりも僅かに低く分化した特徴を有している。カンラン石 Fo 値が高い組成は Olivine mantle array (Takahashi, 1986) の組成領域付近にプロットされ、カンラン石 Fo 値の減少と同時に NiO wt% も低下するカンラン石の結晶分化作用のトレンド (Ozawa, 1994) を示す (Fig. 6-1)。しかし、Lower wehrlitic intrusions の中には低いカンラン石 Fo 値 (84.7) を示し、高い NiO wt% (0.31

第6章 鉍物化学組成

wt%) を示す分析値がある。本分析値は Olivine mantle array 上にプロットされるため、上述のカンラン石の結晶分化作用のトレンドだけではウェールライト質貫入岩体の鉍物化学組成の特徴を説明することができない。低カンラン石 Fo 値を示す試料 (Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type) は、Wadi Salahi 地域の層状ハンレイ岩層中部に貫入する小規模な貫入岩体であり、カンラン石と単斜輝石の鉍物量比の差による層状構造を形成する特異な野外産状を示すウェールライト質貫入岩体である。

6.1.2 モホ遷移帯およびウェールライト質貫入岩体中の単斜輝石

モホ遷移帯、Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions の単斜輝石 Mg# ($(\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}))$) は、それぞれ 0.942-0.891、0.923-0.896、0.925-0.864 の組成幅を示している。モホ遷移帯の単斜輝石 Mg# の最大は 0.942 を示し、カンラン石の鉍物化学組成と同様に、ウェールライト質貫入岩体の単斜輝石はモホ遷移帯よりも僅かに分化した特徴を有している。モホ遷移帯、Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions の TiO_2 wt% は、それぞれ 0.15-0.37 wt%、0.24-0.44 wt%、0.20-0.38 wt% の組成幅を示している (Fig. 6-2a)。単斜輝石 Mg# は比較的狭い組成幅を示すのに対し、 TiO_2 wt% は広い組成幅を持っている。この特徴はモホ遷移帯、Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions で共通して認められる。この組成変化は単純な結晶分化作用では説明できず、メルトとマントルの反応によるトレンドの可能性が考えられる (Arai and Matsukage, 1998)。 Na_2O wt% はそれぞれ 0.11-0.67 wt% (モホ遷移帯)、0.24-0.43 wt% (Barghah complex)、0.26-0.33 wt% (Lower wehrlitic intrusions) を示し (Fig. 6-2b)、 TiO_2 wt% と同様に単斜輝石 Mg# の組成幅と比べて広い組成幅を有している。 Cr_2O_3 wt% はそれぞれ 1.27-0.86 wt% (モホ遷移帯)、1.41-0.94 (Barghah complex)、1.26-0.92 wt% (Lower wehrlitic intrusions) を示し (Fig. 6-2c)、単斜輝石 Mg# が減少すると Cr_2O_3 wt% も同様に減少する適合元素の挙動を示している。

モホ遷移帯 (2 試料) および Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions (5 試料)、Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type (3 試料) の単斜輝石は、LA-ICP-MS を用いて微量元素組成分析を行っており、それぞれの REE 組成について以下にまとめる。モホ遷移帯中の単斜輝石の微量元素組成をコンドライトで規格化し

第6章 鉍物化学組成

た REE パターンは、HREE の Lu、Yb から Er へ向かって左上がりに含有量が増加し、MREE から LREE へ向かって急激に左下がりを示す REE パターンを有している (Fig. 6-3a)。Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions 中の単斜輝石の微量元素組成をコンドライトで規格化した REE パターンは、HREE から MREE へ向かって僅かに左上がりに REE 含有量が増加し、MREE-LREE へ向かってはモホ遷移帯同様に左下がりの REE パターンを有している (Fig. 6-3b)。Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type 中の単斜輝石の微量元素組成をコンドライトで規格化した REE パターンは、HREE から MREE はフラットで、MREE から LREE へ向かって左下がりを示す REE パターンを有している (Fig. 6-3c)。ウェールライト質貫入岩体である Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions、Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type は類似した REE パターンおよび含有量を示している。ウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions、Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type) 中の単斜輝石の REE 組成を Hart and Dunn (1933) の分配係数を用いてメルトの REE 組成の計算を行った。その結果、HREE から MREE へ向かってフラットで MREE から LREE 向かって僅かに左下がりの REE パターンを示し、Sun and McDonough (1989) によって報告されている N-MORB の REE パターンと非常に調和的で、僅かに REE 含有量が肥沃的な特徴を有している (Fig. 6-4)。

6.1.3 モホ遷移帯およびウェールライト質貫入岩体中の Cr スピネル

モホ遷移帯、Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions 中のスピネル Cr# ($(Cr/(Cr+Al))$) は、それぞれ 0.48-0.60、0.48-0.64、0.52-0.85 の組成幅を示している。Lower wehrlitic intrusions の Cr スピネルの中には Cr# の高い試料 (Cr#: 0.85) があり、カンラン石 Fo 値および単斜輝石 Mg# の最も分化した特徴を示す Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type と一致している。本試料中の Cr スピネルは高い $Y_{Fe^{3+}}$ ($(Fe^{3+}/(Cr+Al+Fe^{3+}))$) (0.59) を示すことから、他のウェールライト質貫入岩体よりも酸化的条件で形成された可能性が考えられる。Lower wehrlitic intrusions から本試料を除くと、スピネル Cr# は 0.52-0.62 の組成幅を示している。モホ遷移帯、Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions の Cr スピネル中の TiO_2 wt% はそれぞれ 0.20-0.70 wt%、0.36-1.86 wt%、0.48-1.73 wt% の組成幅を示し、ウェー

第6章 鉍物化学組成

ルライト質貫入岩体の方がモホ遷移帯よりも高い TiO_2 含有量を有している。スピネル $\text{Cr}\#$ と TiO_2 wt% を用いた組成判別図では、モホ遷移帯およびウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex と Lower wehrlitic intrusions) の組成は中央海嶺火成活動の組成領域内にプロットされる (Fig. 6-4a)。スピネルの $Y_{\text{Fe}^{3+}}$ はそれぞれ 0.02-0.10 (モホ遷移帯)、0.06-0.17 (Barghah complex)、0.06-0.11 (Lower wehrlitic intrusions) を示し、ウェールライト質貫入岩体の方がモホ遷移帯よりも $Y_{\text{Fe}^{3+}}$ が高い特徴を有している (Fig. 6-4b)。このことは、ウェールライト質貫入岩体がモホ遷移帯よりも高い $f\text{O}_2$ 環境下 (酸化的な条件) で形成されたことを示唆している。

6.1.4 モホ遷移帯およびウェールライト質貫入岩体中の斜長石

モホ遷移帯、Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions 中に出現する斜長石の大部分はソーシュライト化している。そのため本研究では、Barghah complex が 2 試料、Lower wehrlitic intrusions が 1 試料の分析値しか得ることができなかった。Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions の斜長石 An 値 ($(100 \cdot \text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na}))$) は、それぞれ 87.9-88.7 と 89.5 の組成を有している。カンラン石の Fo 値と斜長石の An 値を用いた組成判別図では、Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions の化学組成がオマーン・オフィオライトに産出する層状ハンレイ岩層の結晶分化作用のトレンド (Ernewein et al., 1998; Adachi and Miyashit, 2003; Browning, 1984; Yamasaki et al., 2006) の延長線上にプロットされ、島弧性ハンレイ岩 (Beard, 1986; Yamasaki et al., 2006) とは明確に区別される (Fig. 6-5)。

6.1.5 ウェールライト質貫入岩体中の角閃石

本研究地域に分布するウェールライト質貫入岩体の中には普通角閃石が出現する試料がある。初生的な普通角閃石中の塩素含有量は、海水の影響を考える指標として用いることが可能であり、海水の影響を受けていない試料中の普通角閃石の塩素の含有量は >0.05 wt% を示す (Coogan et al., 2003)。

Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions (Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type) 中の初生的な角閃石 $\text{Mg}\#$ ($(\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}))$) は、0.83-0.90 (Si 量 :

第6章 鉱物化学組成

6.31-7.10) と 0.82-0.84 (Si 量 : 6.31-6.73) の組成幅をそれぞれ有し、マグネシオホルンブレンドからチェルマッカイトの組成領域にプロットされる (Fig. 6-7a)。初生的な角閃石中の TiO_2 wt% はそれぞれ 0.02-3.15 wt% (Barghah complex) と 0.03-2.73 wt% (Lower wehrlitic intrusions) の広い組成幅を有している。明褐色から褐色の普通角閃石中の TiO_2 wt は 0.36-3.15 wt%、淡緑色から緑色の普通角閃石中の TiO_2 wt は 0.1-1.38 wt%、無色の普通角閃石中の TiO_2 wt は 0.02-1.38 wt% をそれぞれ示し無色から褐色へ向かって TiO_2 wt% が増加する特徴を有している (Fig. 6-7b)。

Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions 中の角閃石の塩素含有量はそれぞれ 0.03-0.27 wt% と 0.02-0.34 wt% の組成幅を示し、角閃石中の TiO_2 wt% と Cl wt% を比較した図では、 TiO_2 wt% の高い明褐色から褐色の普通角閃石は塩素含有量が低く、 TiO_2 wt% の低い緑色から無色の普通角閃石は塩素含有量が高い (>0.15 wt%) 特徴を有している (Fig. 6-7c)。 TiO_2 wt% の高い褐色普通角閃石は高温時に出現し、角閃石中の Ti は適合元素の特徴を示すと考えられている。このことから、褐色普通角閃石が出現する高温時にはマグマ中の塩素は角閃石中に入りやすく、塩素は温度低下に伴い結晶分化作用が進行した緑色から無色普通角閃石中に多く含まれたと考えられる。

6.2 Lasail-south complex

Lasail-south complex は記載岩石学的特徴および野外産状の違いから、優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライトに区別される。本岩体の構成岩石中の鉱物には顕著な累帯構造が認められることから、薄片内の分析した鉱物のコアおよびリムの平均値をそれぞれ示していく。

6.2.1 Lasail-south complex 中のカンラン石

優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライト中のカンラン石の Fo 値は、それぞれ 88.6-76.1 (NiO : 0.42-0.04 wt%)、82.1-79.8 (NiO : 0.29-0.17 wt%)、81.3-80.6 (NiO : 0.21-0.18 wt%) の組成幅を示し、累帯構造は認められない (Fig. 6-7)。優黒質層状ガブロノーライトの Fo 値は広

第6章 鉍物化学組成

い組成幅を示し、一部の試料では Olivine mantle array を超える高い NiO wt% を有している。フォリエイテッドガブロノーライトや塊状ガブロノーライト中のカンラン石 Fo は、優黒質層状ガブロノーライト中のカンラン石 Fo よりも低く、分化した特徴を示している。優黒質層状ガブロノーライトの中にもカンラン石 Fo が比較的低い値 (09Sal49 カンラン石 Fo : 77.4、09Sal50 カンラン石 Fo : 76.1) を示す試料は、研究地域南部の Wadi Salahi 周辺の上部ハンレイ岩-シート状岩脈群境界部付近に小規模な貫入岩体 (300 m) を形成している。Lasail-south complex を構成する岩石中のカンラン石 Fo 値はモホ遷移帯やウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions) の Fo 値よりも全体的に低く分化した特徴を示すが、Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type 中のカンラン石の化学組成 (Fo : 84.7、NiO wt% : 0.31 wt%) とは類似した特徴を有している。

6.2.2 Lasail-south complex 中の単斜輝石

優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライト中の斜方輝石のコアおよびリムはそれぞれ 0.917-0.827 (リム : 0.916-0.829)、0.854-0.836 (リム : 0.848-0.832)、0.865-0.711 (リム : 0.854-0.720) の組成幅を示している。単斜輝石 Mg# は、優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライトの順に分化した特徴を示している。優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライト中の TiO₂ wt% は、それぞれ 0.02-0.43 wt% (リム : 0.05-0.58 wt%)、0.24-0.40 wt% (リム : 0.32-0.54 wt%)、0.06-0.69 wt% (リム : 0.05-0.71 wt%) の組成幅を示している (Fig. 6-8a)。各岩相中の単斜輝石 Mg# には顕著な累帯構造が認められなかったが、不適合元素の TiO₂ wt% ではコアよりもリムで含有量が増加する正累帯構造を示している (Fig. 6-9,10)。TiO₂ wt% は単斜輝石 Mg# が減少するにしたがい増加するトレンドを示し、Oceanic gabbro の組成領域およびトレンド上にプロットされる (Fig. 6-8a)。優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライト中の単斜輝石の Na₂O wt% のコアおよびリムは、それぞれ 0.11-0.32 wt% (リム : 0.14-0.40 wt%)、0.20-0.43 wt% (リム : 0.22-0.40 wt%)、0.05-0.34 wt% (リム : 0.15-0.32 wt%) を示し (Fig. 6-8c)、TiO₂ wt% と同様にリム部で Na₂O wt% が増加す

第6章 鉍物化学組成

る正累帯構造を有している (Fig. 6-9,10)。Cr₂O₃ wt%はそれぞれ 1.01-0.27 wt% (リム:0.88-0.20 wt%)、0.71-0.11 (リム:0.72-0.16 wt%)、0.82-0.01 wt% (リム:0.62-0.02 wt%) を示している (Fig. 6-8d)。単斜輝石 Mg#が減少すると Cr₂O₃ wt%も同様に減少する適合元素の挙動を示し、リム部で Cr₂O₃ wt%が減少する正累帯構造を有している (Fig. 6-9,10)。

6.2.3 Lasail-south complex 中の斜方輝石

優黒質層状ガブローライト、フォリエイテッドガブローライト、塊状ガブローライト中の斜方輝石のコアおよびリムはそれぞれ 0.883-0.782 (リム:0.886-0.781)、0.838-0.814 (リム:0.840-0.810)、0.840-0.659 (リム:0.834-0.658) の組成幅を示している。斜方輝石 Mg#は、優黒質層状ガブローライト、フォリエイテッドガブローライト、塊状ガブローライトの順に分化した特徴を示している。優黒質層状ガブローライト、フォリエイテッドガブローライト、塊状ガブローライト中の TiO₂ wt%は、それぞれ 0-0.54 wt% (リム:0-0.50 wt%)、0.09-0.23 wt% (リム:0.18-0.26 wt%)、0.06-0.37 wt% (リム:0.06-0.35 wt%) の組成幅を示している (Fig. 6-11a)。優黒質層状ガブローライト、フォリエイテッドガブローライト、塊状ガブローライト中の Cr₂O₃ wt%はそれぞれ 0.51-0.08 wt% (リム:0.43-0.10 wt%)、0.41-0.15 (リム:0.43-0.15 wt%)、0.34-0.03 wt% (リム:0.29-0.02 wt%) を示している (Fig. 6-11d)。

6.2.4 Lasail-south complex 中の Cr スピネル

優黒質層状ガブローライト、フォリエイテッドガブローライト、塊状ガブローライト中のスピネル Cr# ((Cr/(Cr+Al)) のコアおよびリムの値は、それぞれ 0.49-0.76 (リム:0.50-0.71)、0.60 (リム:0.59-0.60)、0.65 (リム:0.63) の組成幅を示している。同様に TiO₂ wt%は、それぞれ 0.33-4.31 wt% (リム:0.29-4.19 wt%)、2.64-4.76 (リム:2.11-4.33 wt%)、0.70 wt% (リム:0.85 wt%) を示し、スピネル Cr#と TiO₂ wt%を用いた組成判別図では中央海嶺玄武岩 (MORB) の組成領域内にプロットされる (Fig. 6-12a)。スピネルの Y_{Fe3+}はそれぞれ 0.07-0.44 (リム:

第6章 鉱物化学組成

0.08-0.55 ; 優黒質層状ガブローライト)、0.28-0.37 (リム : 0.59-0.60 ; フォリエイテッドガブローライト)、0.65 (リム : 0.63 ; 塊状ガブローライト) を示し、モホ遷移帯やウェールライト質貫入岩体を構成する岩石よりもスピネル $Y_{Fe^{3+}}$ が高い特徴を有している (Fig. 6-12b)。一方、層状ハンレイ岩層中に貫入する Wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type は、Lasail-south complex と同様にスピネル $Y_{Fe^{3+}}$ が高く類似した化学組成の特徴を示し (5.1.3 を参照)、両岩体は高い fO_2 環境下 (酸化的な条件) で形成されたことを示唆している。

6.2.5 Lasail-south complex 中の斜長石

優黒質層状ガブローライト、フォリエイテッドガブローライト、塊状ガブローライト中の斜長石 An のコアおよびリムの組成は、それぞれ 81.8-93.1 (リム : 79.01-93.22)、88.1-90.7 (リム : 87.0-90.7)、59.5-92.0 (リム : 60.2-92.7) を示し、単斜輝石のような顕著な累帯構造は認められない (Fig. 6-13)。カンラン石の Fo 値と斜長石の An 値を用いた組成判別図では、Lasail-south complex を構成する岩石の大部分は Oman layered gabbro の組成領域内もしくは延長線上にプロットされるが、斜長石の An 値が高く Arc gabbro の組成領域内にプロットされる試料が各岩相で認められる (Fig. 6-14a)。同様に、単斜輝石 Mg# と斜長石の An 値を用いた組成判別図では、優黒質層状ガブローライトおよびフォリエイテッドガブローライトは Oman layered gabbro の組成領域内もしくはその付近にプロットされるのに対し、塊状ガブローライトの一部の試料は Island arc tholeiite の組成領域内にプロットされる (Fig. 6-14b)。

6.2.6 Lasail-south complex 中の角閃石

優黒質層状ガブローライト、フォリエイテッドガブローライト、塊状ガブローライト中の角閃石 Mg# ($(Mg/(Mg+Fe))$) は、0.63-0.92 (Si 量 : 6.24-7.97)、0.64-0.88 (Si 量 : 6.28-7.64)、0.69-0.72 (Si 量 : 7.11-7.31) の組成幅をそれぞれ有し、トレモライト、アクチノライト、マグネシオホルンブレンド、チェルマッカイトの組成領域にプロットされる (Fig. 6-15a)。二次的に形成されたトレモライトを除き、初生的

第6章 鉍物化学組成

な角閃石中の TiO_2 wt% はそれぞれ 0.01-4.34 wt% (優黒質層状ガブローライト)、0.06-3.11 wt% (フォリエイテッドガブローライト)、1.27-1.52 wt% (塊状ガブローライト) の広い組成幅を有している (Fig. 6-15b)。Cl wt% および Al_2O_3 wt% は、それぞれ 0-0.26 wt%、1.68-12.09 wt% (優黒質層状ガブローライト)、0-0.22 wt%、1.20-11.64 wt% (フォリエイテッドガブローライト)、0.11-0.16 wt%、4.71-5.75 wt% (塊状ガブローライト) を示し、 Al_2O_3 wt% が高い角閃石ほど塩素の含有量も増加するトレンドを有している (Fig. 6-15c)。各岩相の角閃石中の Cl wt% は、広い組成幅を有しており、Lasail-south complex の約 1/3 が Cl wt% < 0.05 wt% を示している (Fig. 6-15d)。しかし、Lasail-south complex の上部に露出するフォリエイテッドガブローライトや塊状ガブローライトは $0.05 < \text{Cl wt\%} < 0.01$ の場所に分析データ数のピークがあり、Lasail-south complex の形成には海水が影響していたと考えることができる。

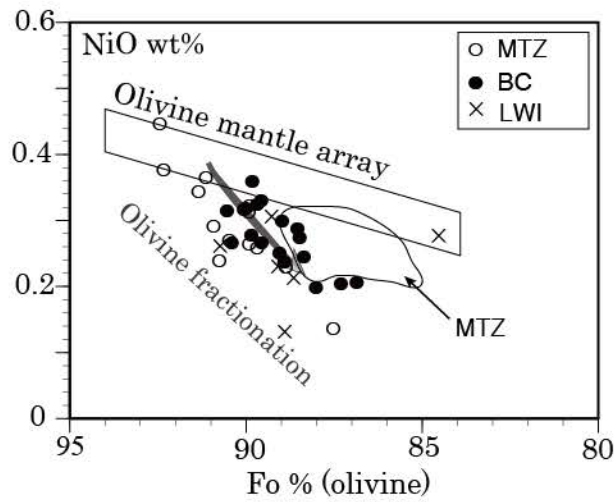


Fig. 6-1. Wehrlitic intrusions: Olivine forsterite content (Fo %) plotted against NiO olivine content. The field for the MTZ from the Wadi Fizh area was taken from Akizawa et al. (2012). The olivine mantle array is from Takahashi (1986) and the fractionation trend is from Ozawa (1994). Abbreviations: MTZ, Moho Transition Zone; BC, Barghah complex; LWI, lower wehrlitic intrusions.

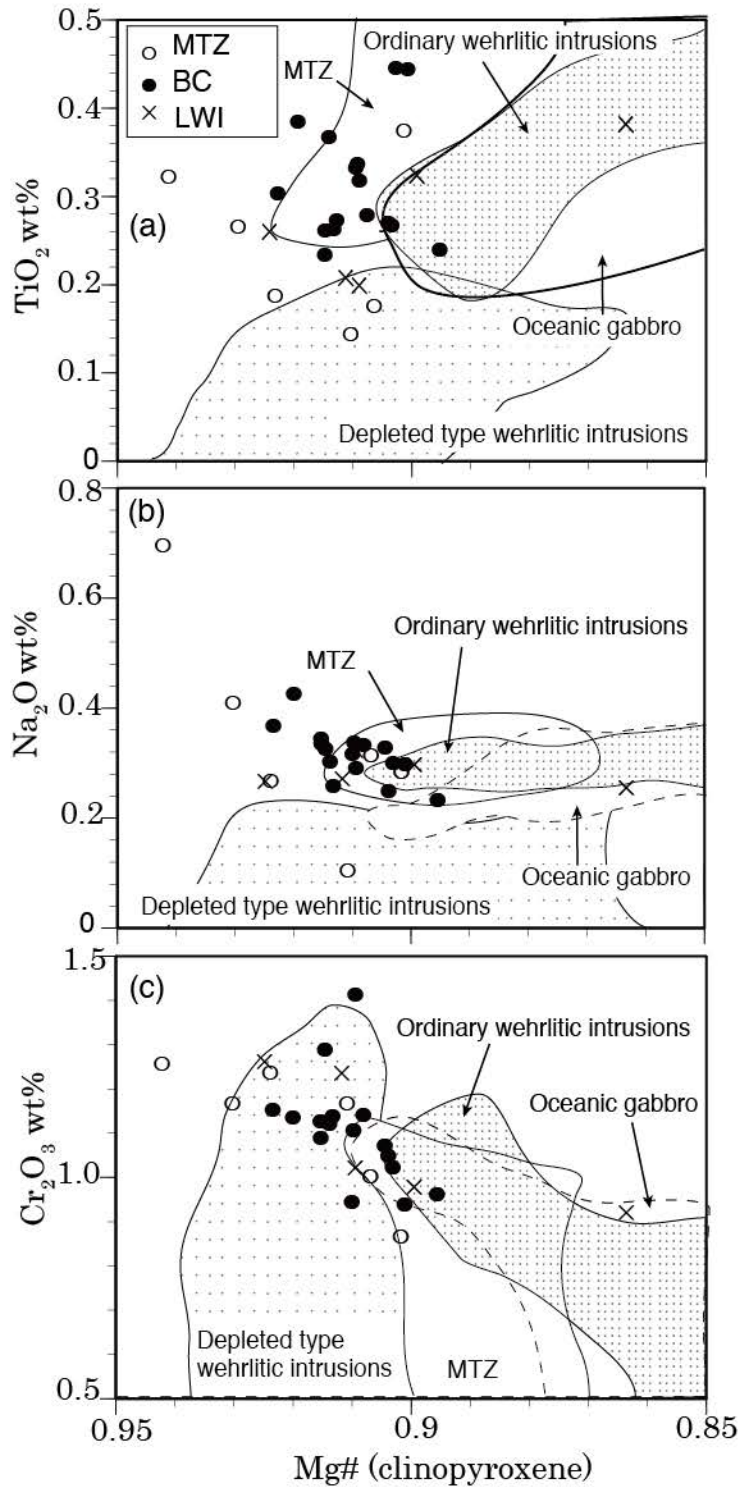


Fig. 6-2. Wehrlitic intrusions: Mg# variation diagrams for (a) TiO₂, (b) Na₂O and (c) Cr₂O₃ contents of clinopyroxene. Fields for the oceanic gabbro and ordinary wehrlitic intrusions are from Adachi and Miyashita (2003), and the depleted type of wehrlitic intrusions is from Adachi and Miyashita (2003) and Clenet et al. (2009). Other data sources are as for Fig. 6-1.

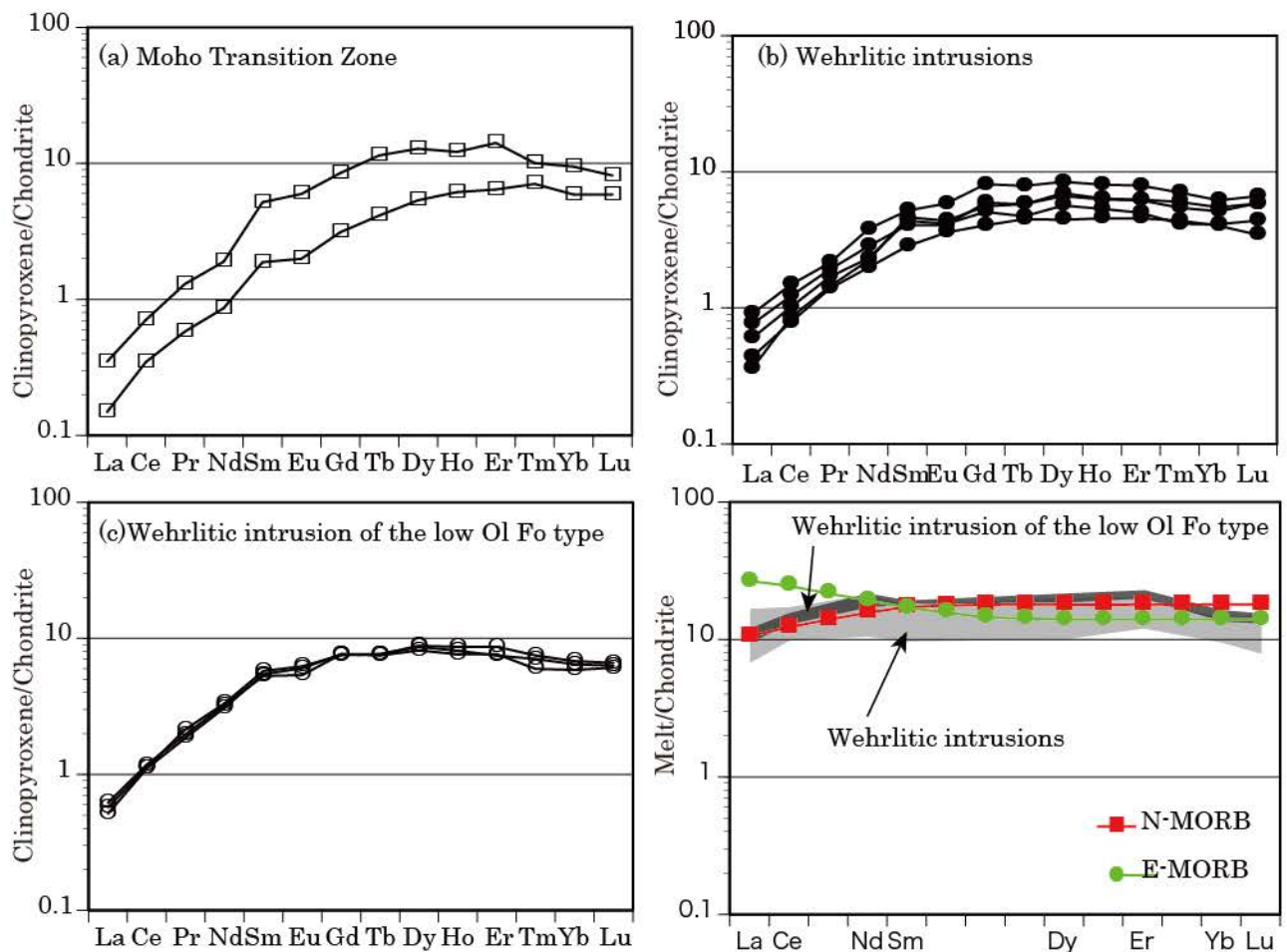


Fig. 6-3. Chondrite normalized REE patterns of clinopyroxene from the (a) Moho Transition Zone, (b) Barghah complex and (c) Lower wehrlitic intrusions. (d) REE pattern of melts, calculated from REE compositions of clinopyroxene by using partition coefficients of Hart and Dunn (1993). N- and E-MORB data are from Sun and McDonough (1989). The REE pattern of the wehrlitic intrusions and wehrlitic intrusion of the low Ol Fo type are similar pattern to that of N-MORB, and shows less depleted feature.

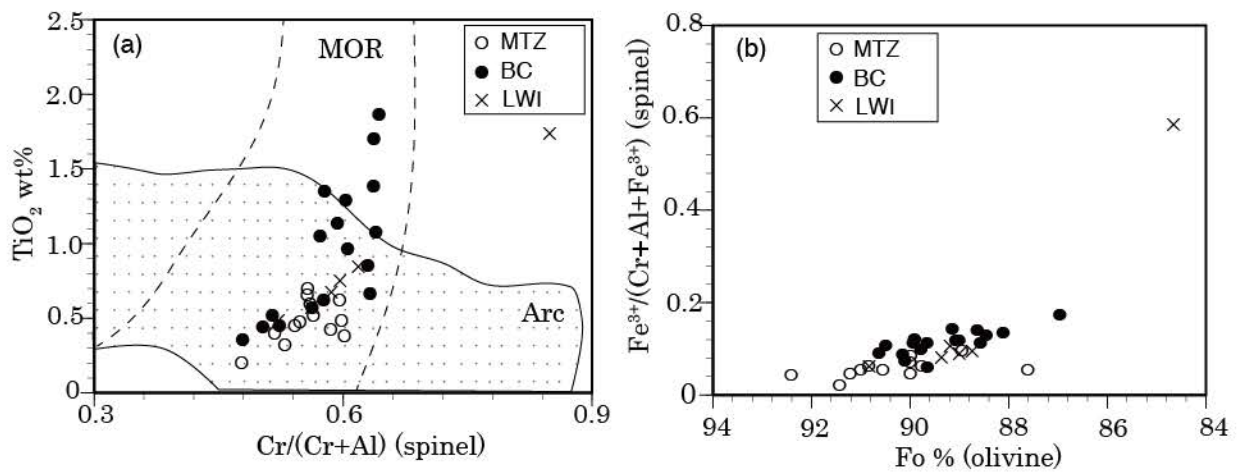


Fig. 6-4. Wehrlitic intrusions: (a) Cr# versus TiO_2 content for Cr-spinel. Fields for MOR and arc peridotite are from Arai et al. (2011). (b) Compositional co-variation diagram for olivine and Cr-spinel. Olivine forsterite content (Fo %) plotted versus $\text{Fe}^{3+}/(\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^{3+})$ of spinel.

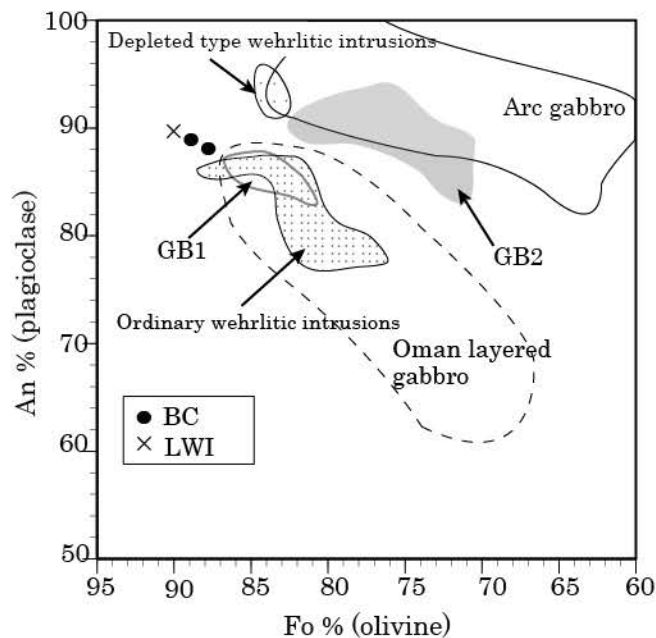


Fig. 6-5. Compositional co-variation diagram for olivine and plagioclase of the wehrlitic intrusions. Fields for the Oman layered gabbro, arc gabbro, GB1 (MOR-like-magmatism) and GB2 (intra-oceanic thrusting stage magmatism) were taken from Yamasaki et al. (2006) and the field for the depleted type of wehrlitic intrusions was taken from Adachi and Miyahita (2003). Abbreviations: BC, Barghah complex, LWI. Lower wehrlitic intrusions.

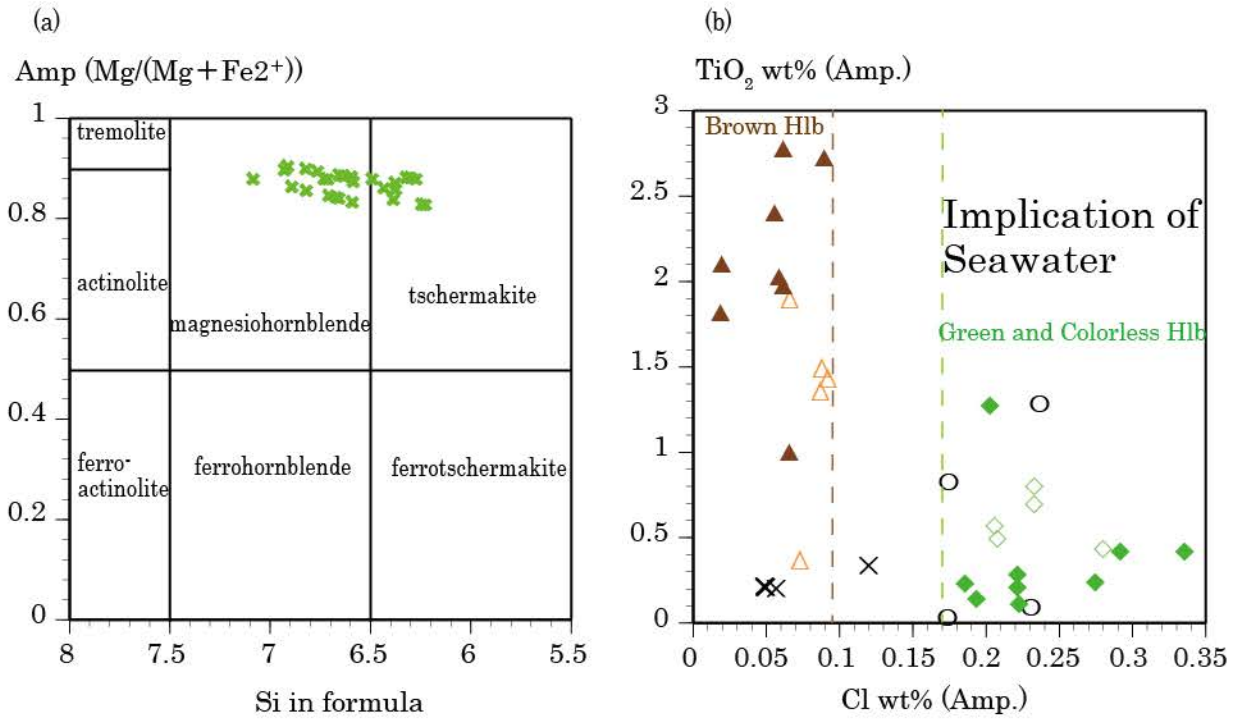
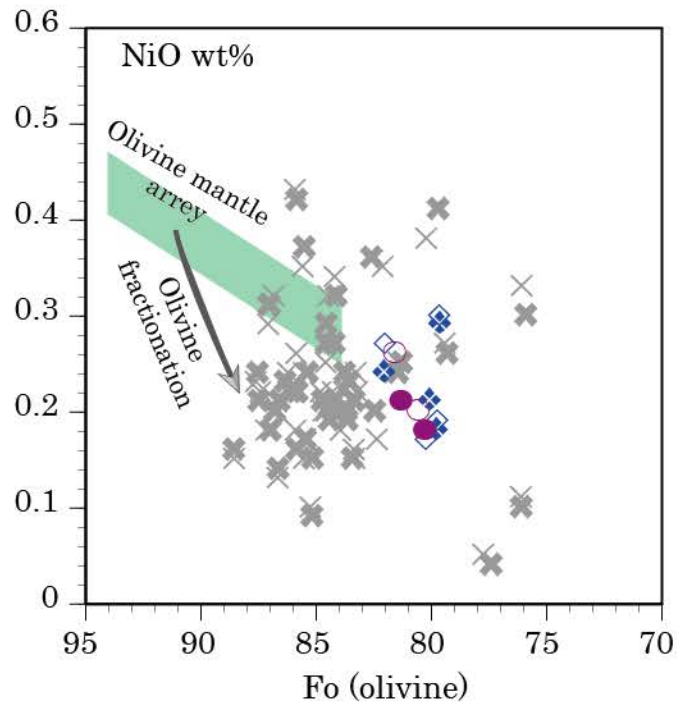


Fig. 6-6. Mineral chemistry of hornblende in the werhltic intrusions (a) Si in formula versus Mg# of hornblende. (b) Cl contents versus TiO₂ contents of hornblende.



- ✕ Layered mela-gabbronorite (core) ◆ Foliated gabbronorite (core)
- ✕ Layered mela-gabbronorite (rim) ◇ Foliated gabbronorite (rim)
- Massive gabbronorite (core)
- Massive gabbronorite (rim)

Fig. 6-7. Lasail-south complex: Olivine forsterite content (Fo %) plotted against NiO olivine content. The field for the MTZ from the Wadi Fizh area was taken from Akizawa et al. (2012). The olivine mantle array is from Takahashi (1986) and the fractionation trend is from Ozawa (1994). Abbreviations: MTZ, Moho Transition Zone; BC, Barghah complex; LWI, lower wehrlitic intrusions.

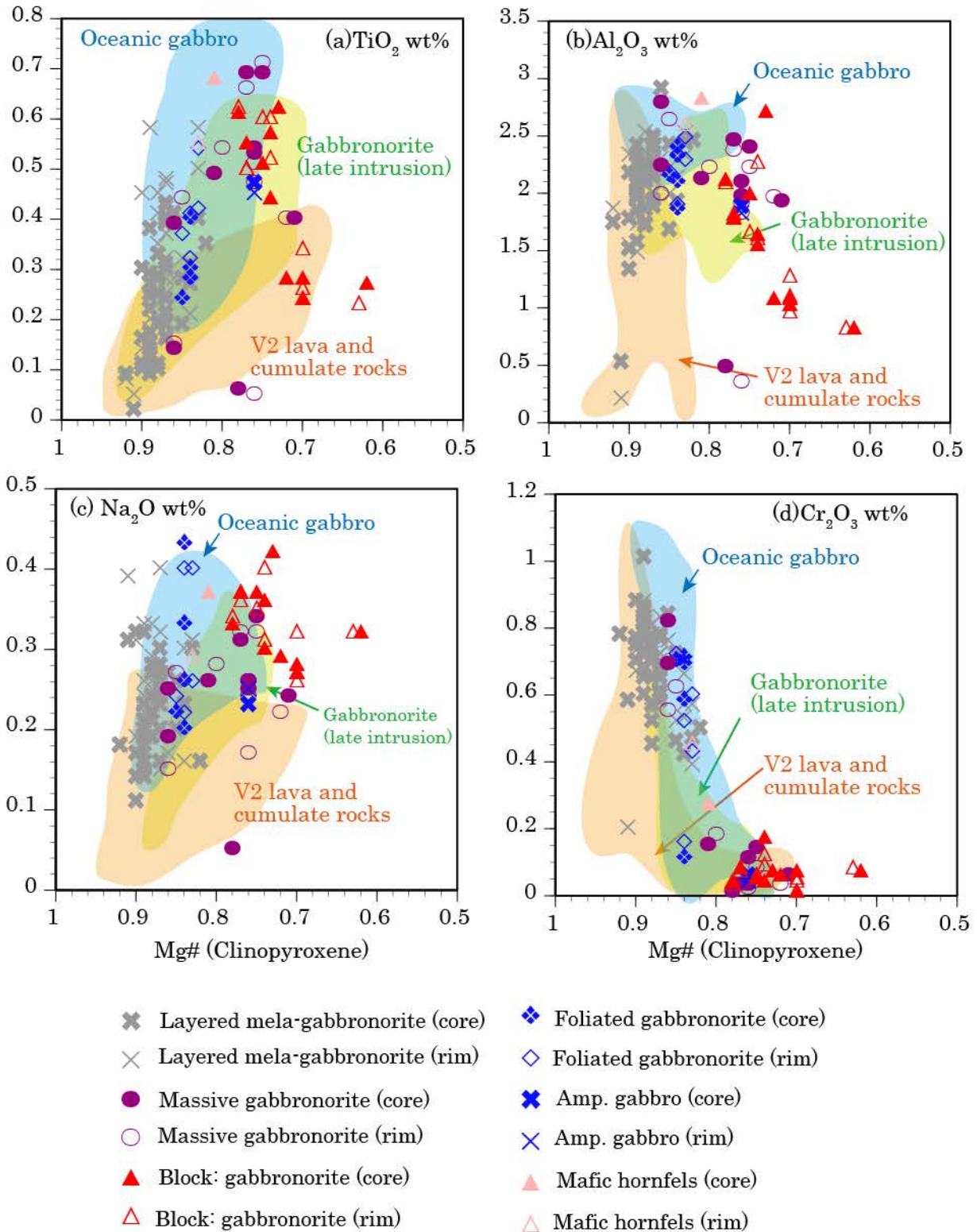


Fig. 6-8. Clinopyroxene compositions of the Lasail-south complex, Amp. gabbro, gabbronorite blocks and mafic hornfels. Mg# variation diagrams for (a) TiO_2 , (b) Al_2O_3 , (c) Na_2O and (d) Cr_2O_3 contents. Fields for the Oceanic gabbro is from Adachi and Miyashita (2003), Gabbronorite (late intrusion) is from Yamazaki (2014) and V2 lava and cumulate rocks is from Adachi and Miyashita (2003), Clenet et al. (2009) and Kusano et al. (2014).

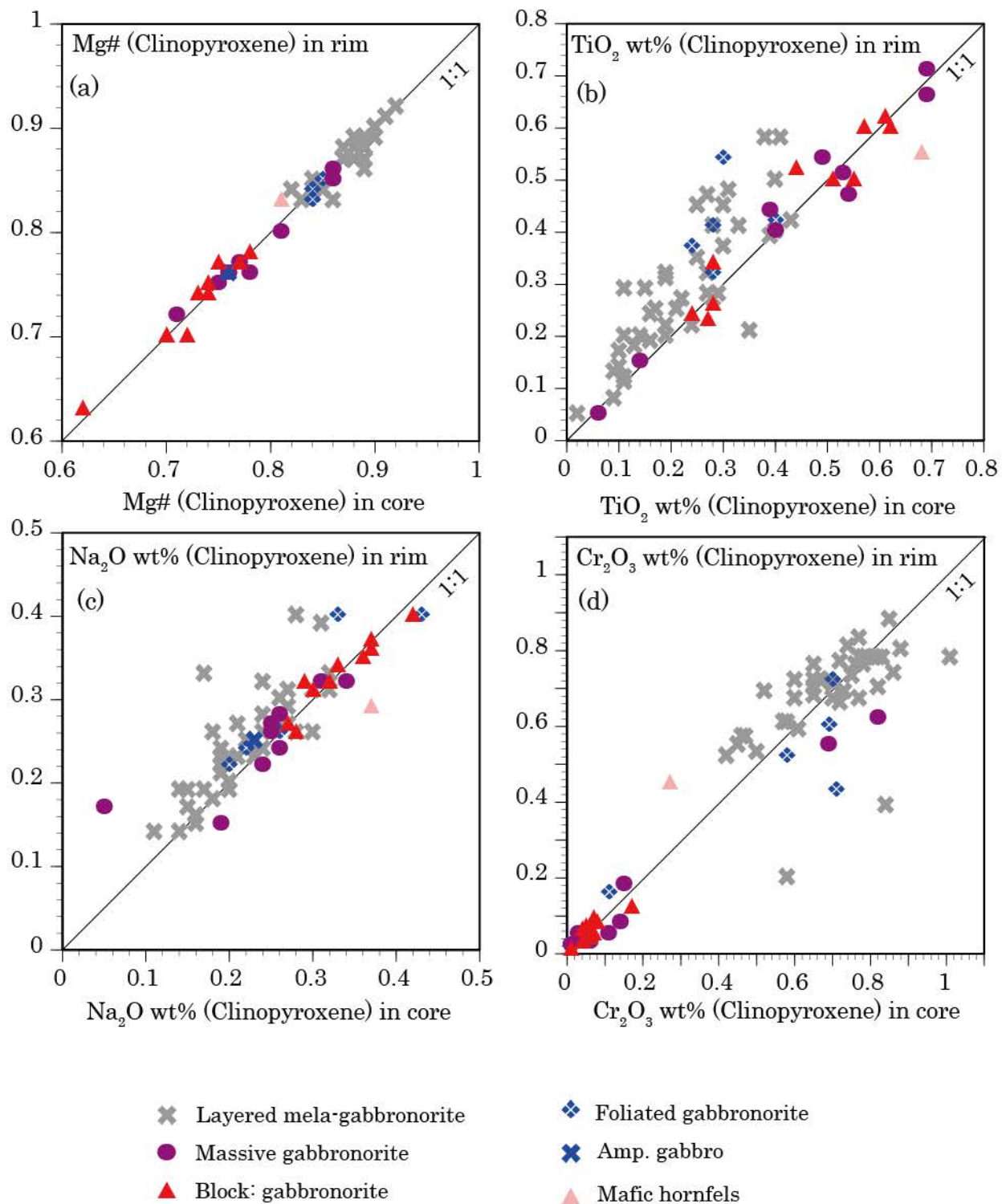


Fig. 6-9. Clinopyroxene compositional zoning of the Lasail-south complex, Amp. gabbro, gabbronorite blocks and mafic hornfels. Mg# variation diagrams for (a) Mg#, (b) Cr₂O₃, (b) Ti₂O, (c) Na₂O and (d) Cr₂O₃ contents of core and rim.

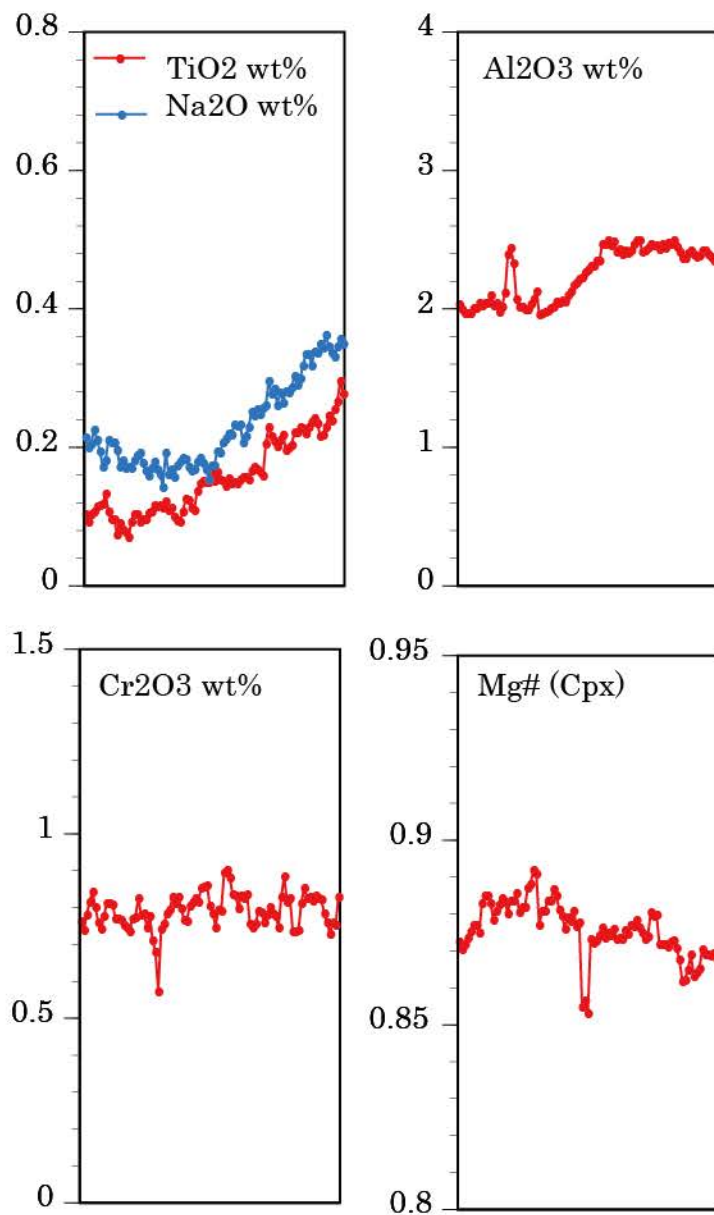
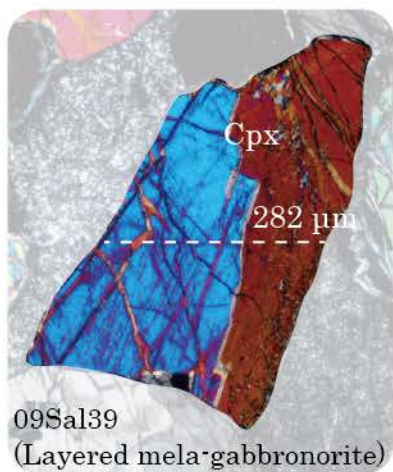


Fig. 6-10. Zoning profiles of clinopyroxene from the Lasail-south complex.

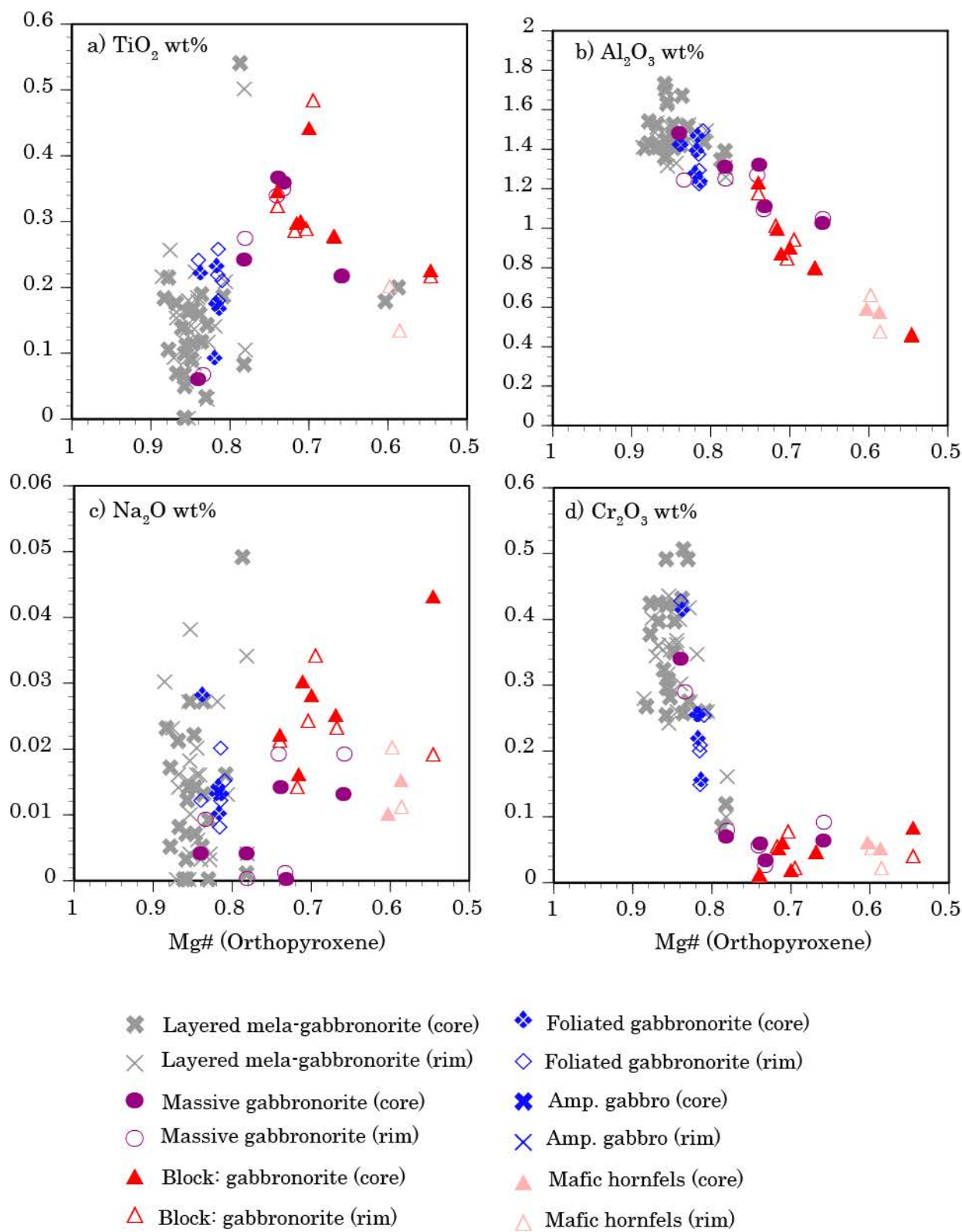


Fig. 6-11. Orthopyroxene compositions of the Lasail-south complex, Amp. gabbro, gabbronorite blocks and mafic hornfels. Mg# variation diagrams for (a) TiO_2 , (b) Al_2O_3 , (c) Na_2O and (d) Cr_2O_3 contents.

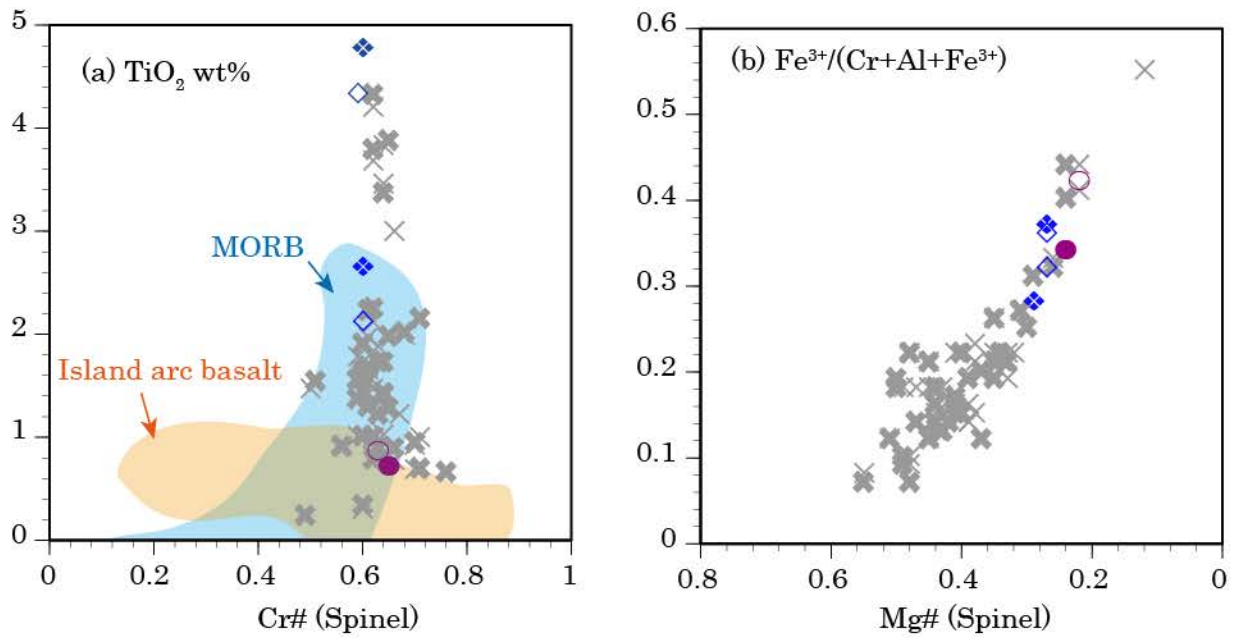
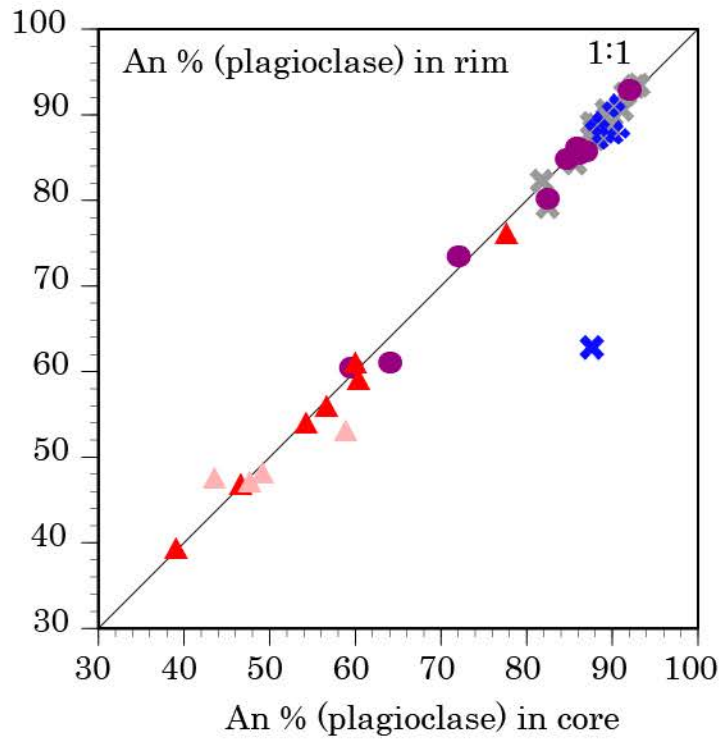


Fig. 6-12. Lasail-south complex: (a) Cr\# versus TiO_2 content for Cr-spinel. Fields for MOR and arc peridotite are from Arai et al. (2011). (b) Mg\# versus $\text{Fe}^{3+}/(\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^{3+})$ of spinel.



- × Layered mela-gabbronorite
 - Massive gabbronorite
 - ▲ Block: gabbronorite
- ◆ Foliated gabbronorite
 - × Amp. gabbro
 - ▲ Mafic hornfels

Fig. 6-13. An % (plagioclase) zoning of the Lasail-south complex, Amp. gabbro, gabbronorite blocks and mafic hornfels.

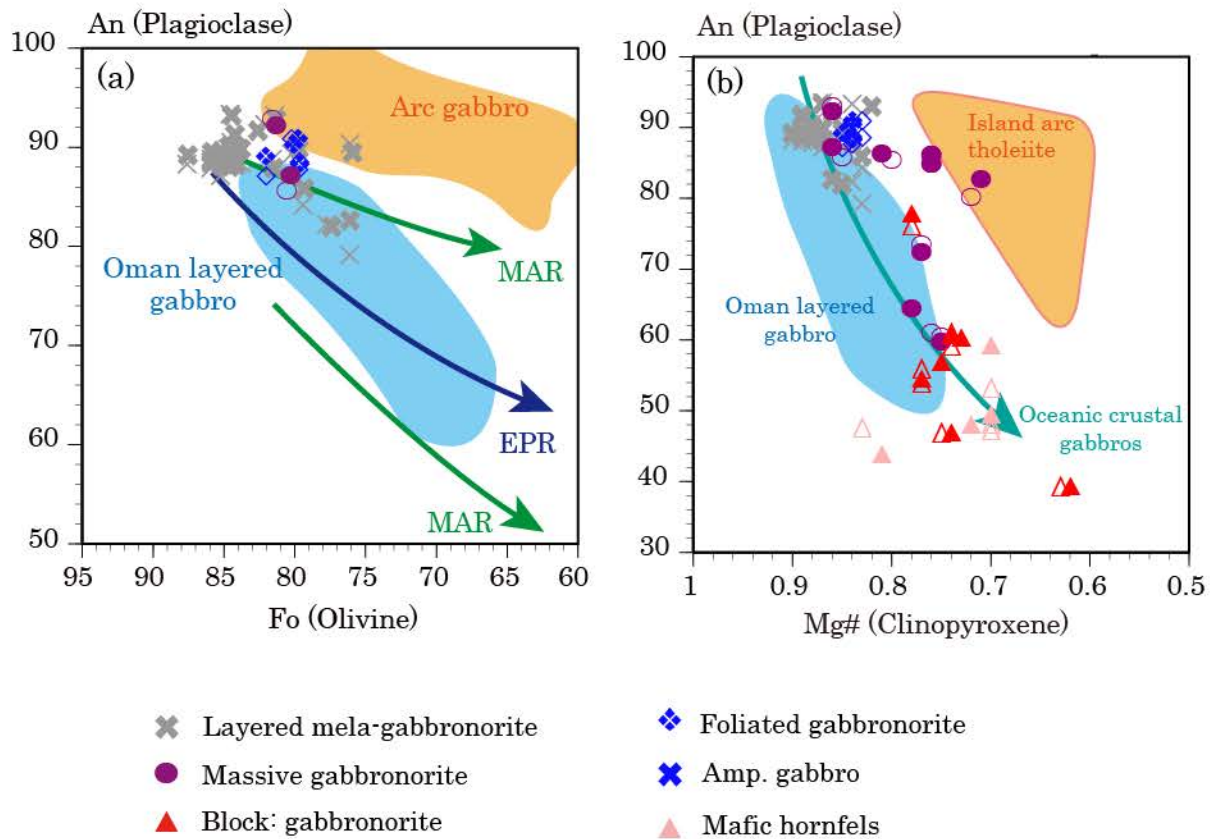


Fig. 6-14. Compositional co-variation diagram for (a) olivine Fo and plagioclase An contents and (b) clinopyroxene Mg# and plagioclase An contents of the Lasail-south complex. Compositional fields are Oman layered gabbro after Adachi and Miyashita (2003), Python and Ceuleneer (2003) and Yamasaki et al. (2006), Arc gabbro after Beard (1986), EPR after Natland and Dick (1996) and Dick and Natland (1996), MAR after Ross and Elthon (1997), Hodges and Papike (1976), Clarke and Loubat (1977) and Symes et al. (1977), Island arc tholeiites after Isiwatari et al. (1992) and Oceanic crustal gabbros after Python and Ceuleneer (2003).

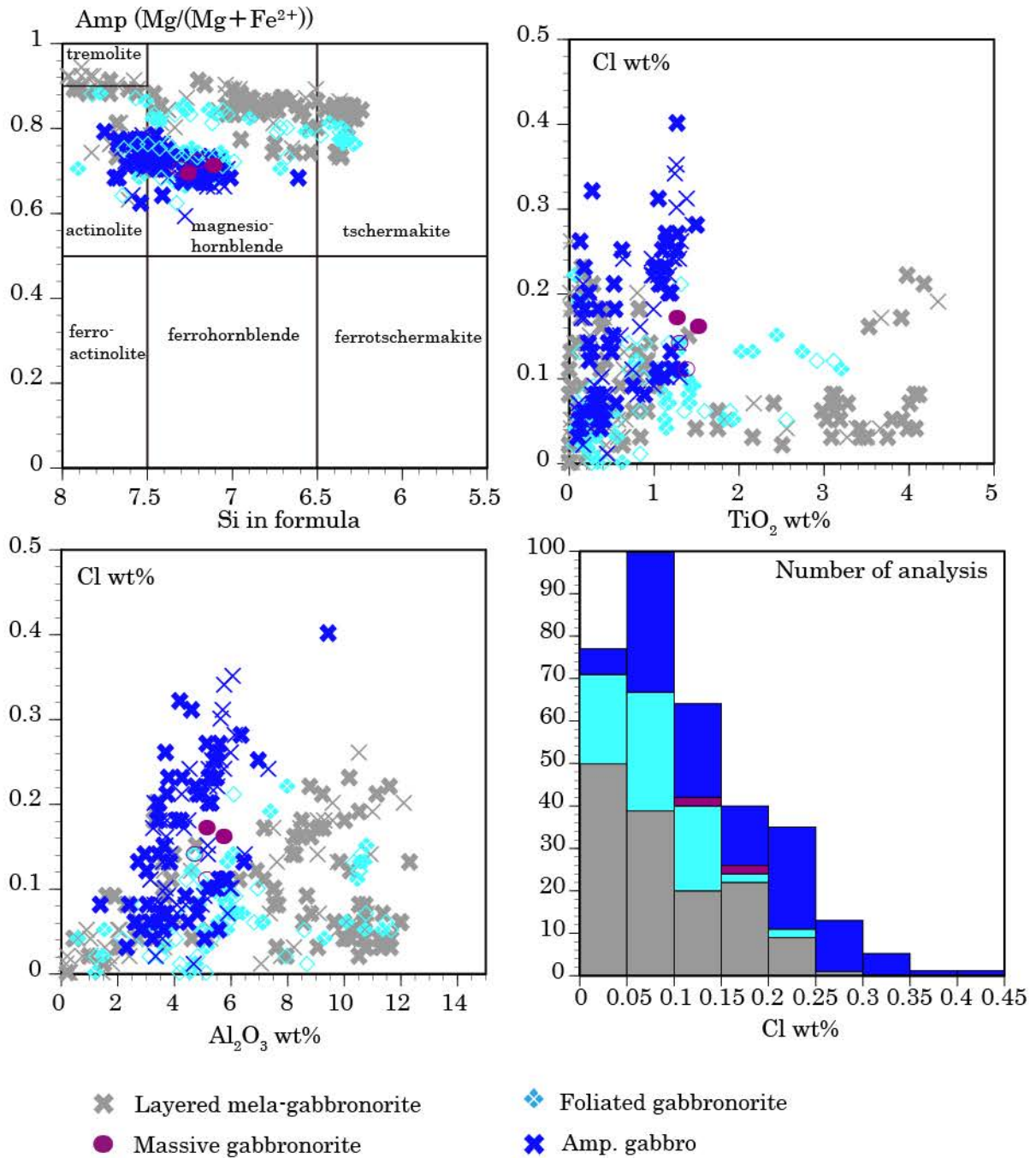


Fig. 6-6. Mineral chemistry of hornblende in the Lasail-south complex (a) Si in formula versus Mg#. (b) Cl versus TiO₂ contents. (c) Cl versus Al₂O₃ contents (d) histogram of Cl contents of the Lasail-south complex.

第7章 考察

オフアクシス火成活動は、海嶺軸近傍で海洋地殻上部の層厚を約2倍に厚化させるほど膨大なマグマを供給しており、海洋地殻上部においてはその実体や岩石学的特徴の多様性が明らかになってきた (Harding et al., 1993; Kent et al., 1994; Hooft et al., 1996, 1997; Carbotte et al., 1997)。オフアクシス火成活動で形成される噴出岩の化学組成は、N-MORB から E-MORB までの組成幅を示しており、ソースマントルの化学組成や熔融度の差を反映していると考えられる。研究地域のオマーン・オフィオライト北部 Salahi ブロック Wadi Barghah –Wadi Salahi 地域に分布する主要な後期貫入岩体は、ウェール質貫入岩体 (Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions) や Lasail-south complex、苦鉄質-珪長質貫入岩体 (角閃石ガブロおよびトータル岩)、安山岩質岩脈である。海洋地殻下部におけるオフアクシス火成活動の特徴を理解するためには、個々の岩体の成因や形成場を明らかにする必要がある。

7.1 ウェールライト質貫入岩体の岩石学的特徴と成因

ウェールライト質貫入岩体の成因は、研究者ごとに構造岩石学・記載岩石学・実験岩石学的な知見から海嶺軸近傍火成活動や沈み込み帯火成活動が提唱されてきた。これらの議論の多くでは、ウェールライト質貫入岩体が一括りにされ、その多様性はあまり注目されてこなかった。ウェールライト質貫入岩体の成因の解明には詳細な野外産状の観察や記載岩石学的特徴 (構成岩石や岩石組織、鉱物晶出順序など)、化学組成の総合的な検討が求められている。

7.1.1 ウェールライト質貫入岩体の鉱物晶出順序

本研究地域に分布するウェールライト質貫入岩体は斜長石ウェールライト、ダナイト、斜長石-単斜輝石ダナイトから構成され、ウェールライト (カンラン石+単斜輝石) の出現は非常に稀である。オマーン・オフィオライト南部の Maqsad 地域のモホ遷移帯においても、大部分の構成岩石は斜長石と単斜輝石が出現している (Koga et al., 2001)。研究地域のウェールライト質貫入岩体の鉱物晶出順序は、カンラン石>単斜

第7章 考察

輝石と斜長石が同時期に出現している。一方で、オマーン・オフィオライト中部の Haymilyah 地域 (Yamasaki et al., 2006; Koepke et al., 2009) やオマーン・オフィオライト北部の Khor Fakkan および Aswad 地域 (Goodenough et al., 2010) のガブロおよびウェールライト質貫入岩体の晶出順序 (カンラン石>単斜輝石>斜長石) とは異なっている。Juteau et al. (1988) は、本研究地域南部の Wadi Salahi 地域に分布するウェールライト質貫入岩体を記載し、ダナイト中ではカンラン石が出現したのちに単斜輝石と斜長石が同時期に出現することをすでに報告している。また、単斜輝石のオイコクリストを伴うカンラン石-斜長石キュームレイト (ハンレイ岩質貫入岩) をウェールライト質貫入岩体の岩相の一つとして扱っており、ウェールライト質貫入岩体の鉍物品出順序は低圧下の典型的な MORB の鉍物品出順序 (カンラン石-斜長石-単斜輝石) と異なっている。オマーン・オフィオライトの層状ハンレイ岩基底部を構成する岩石の鉍物品出順序はカンラン石>単斜輝石と斜長石が同時期に出現しており (e.g. Pallister and Hopson, 1981; Browning, 1984; Adachi and Miyashita, 2003)、海洋地殻下部を構成する岩石は MORB の鉍物品出順序を示さないことが報告されている。この事実は、本オフィオライトの層状ガブロ層中に厚いトロクトライト (カンラン石+斜長石) が報告されていないことと整合的である (Lippar et al., 1986)。

ソレライト質マグマにおける鉍物品出順序は実験岩石学的な研究が数多くなされており、マグマの組成や温度、圧力によって変化することが知られている。Grove and Bryan (1983) は、低圧条件では MORB 組成のわずかな違いによって鉍物品出順序が変化することを実験岩石学的研究で報告している。鉍物品出順序がカンラン石>斜長石>単斜輝石 (典型的な MORB の晶出順序) を示す玄武岩は、カンラン石斑晶を 2.9-7.7 %、斜長石斑晶を 0.7-9.5 %、輝石斑晶を 0.3 % 含み、全岩化学組成は TiO_2 が低く (0.67-0.90 wt%)、 FeO (9.00-9.57 wt%) および MgO (8.82-10.4 wt%) が高い特徴を示している (大西洋中央海嶺 : 36° 50'N)。鉍物品出順序がカンラン石>単斜輝石>斜長石を示す玄武岩は、カンラン石斑晶を 1.6 %、斜長石斑晶を 0.1 %、ごく稀に単斜輝石斑晶を含み、全岩化学組成は LIL 元素 (K_2O : 0.22-0.49 wt%、 Sr : 130 ppm、 Ba : 130 ppm) や TiO_2 (1.14-1.46 wt%) に富む特徴を有している (大西洋中央海嶺 : 43° N)。鉍物品出順序が斜長石>カンラン石>単斜輝石、斜方輝石を示す玄武岩は、斜長石斑晶を 14 %、カンラン石斑晶を 2 %、輝石斑晶を 0.5-1.0 % 含み、全岩化学組成は FeO (8.99-10.43 wt%)、 TiO_2 (1.31-1.70 wt%)、 Na_2O (2.44-3.10 wt%)

第7章 考察

が高く、CaO (11.44-11.52 wt%) および MgO (6.96-7.34 wt%) が低い特徴を有している (大西洋中央海嶺 : 22° -29° N)。大西洋中央海嶺に限らず、MORB は多様な化学組成を示しており (Klein and Langmuir, 1987; Langmuir et al., 1992)、各海嶺特有の化学組成 (グローバルトレンド) および海嶺内での組成差 (ローカルトレンド) が存在している。斜長石が晶出する安定領域は圧力条件によって変化することが実験岩石学的に検討されており (e.g. Bender et al., 1978)、圧力が増加するにしたがい斜長石の安定領域は狭まると考えられている。また Grove et al. (1992) は、斜長石と単斜輝石の晶出を開始する温度差が圧力の増加によって変化することを報告しており、0.01 kbar では温度差が 46°C (カンラン石+斜長石 : 1207°C、カンラン石+斜長石+単斜輝石 : 1161°C) であるのに対し、2 kbar では 13°C (カンラン石+斜長石 : 1176°C、カンラン石+斜長石+単斜輝石 : 1163°C) となり晶出順序の差が狭くなっている。また、MORB メルトに水が付加することで斜長石の出現が遅れることが報告されており (Koga et al., 2001; Feig et al., 2006)、水に飽和した条件下では 1 kbar で単斜輝石と斜長石が同時期に出現することが実験岩石学的に確認されている。また、2 kbar ではマグマ中に >3 wt% の水が含まれている場合、単斜輝石が斜長石よりも早期に出現すると考えられている (Feig et al., 2006)。

本研究地域に分布するウェールライト質貫入岩体は海洋地殻下部のハンレイ岩層中に貫入していることから、結晶化した圧力条件は 1-2 kbar (深度 : 約 3-6 km) であり、圧力効果の影響を MORB より受けていると考えられる。Barghah complex の記載岩石学的特徴として、岩体縁辺部で無色から褐色の普通角閃石が認められる。含水鉱物である普通角閃石の出現の要因として、初生的にマグマの含水量が高かったことや結晶分化作用の進行に伴うマグマの含水量の増加が考えられるが、普通角閃石は Barghah complex の縁辺部で出現していることから後者の可能性が高い。もしウェールライト質貫入岩体を形成したマグマの含水量が高かった場合、斜長石の An 値が高い値を示し島弧的な特徴を示すと考えられる。しかし、研究地域のウェールライト質貫入岩体は斜長石 An 値とカンラン石 Fo 値を用いた組成判別図では、層状ガブロの組成領域の延長線上にプロットされ、島弧ガブロの組成領域とは明確区別される。さらに、本研究に露出するモホ遷移帯を構成する岩石の鉱物晶出順序もカンラン石 > 斜長石と単斜輝石が同時期に出現しており、研究地域においては海洋地殻深部からモホ遷移帯の深度では MORB の鉱物晶出順序が適用されないと考えられる。

第7章 考察

本研究地域に分布するウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions) は単斜輝石が典型的な MORB の鉍物晶出順序よりも早期に出現するが、モホ遷移帯を構成する岩石もウェールライト質貫入岩体と同様の晶出順序を示し、斜長石の An 値も島弧的な岩石よりも低い特徴を有している。以上のことから、本研究地域の海洋地殻下部の典型的な鉍物晶出順序は「カンラン石が晶出した後に単斜輝石と斜長石が同時期に出現」を示すと考えられる。

7.1.2 ウェールライト質貫入岩体の成因 (Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions)

野外産状の観点から、ウェールライト質貫入岩体は母岩のハンレイ岩が半固結状態時 (高温状態) に貫入したと考えられている (ウェールライト質貫入岩体側のチルドマージンの欠如、ハンレイ岩との接触境界がローブ状もしくは指交状; Ernewein et al., 1988; Juteau et al., 1988; Nicolas et al., 1988; Boudier and Nicolas, 1995; Kaneko et al., 2014)。本研究地域に分布する Barghah complex は周囲の層状ハンレイ岩の構造を大規模に乱し見かけ上の背斜構造が認められる (Fig. 3-1)。このことから、Barghah complex は海洋地殻下部を構成する岩石中にダイアピル状に貫入したと考えられる。

オマーン・オフィオライトに分布するウェールライト質貫入岩体を一括して単一の成因で議論している研究では (Koepke et al., 2009)、本貫入岩体の岩石学的特徴の多様性は考慮されておらず、初生マグマの含水量が高かったことにその成因を求めている。これまで報告されてきたウェールライト質貫入岩体は鉍物化学組成や記載岩石学的特徴から、海洋地殻層序を構成するハンレイ岩類と類似した組成および鉍物晶出順序 (カンラン石が出現したのち斜長石と単斜輝石が同時期に出現) を示す Ordinary wehrlite と鉍物化学組成がハンレイ岩類より枯渇し鉍物晶出順序が異なる (カンラン石、単斜輝石、斜長石の順に出現) Depleted wehrlite に区分することが可能である (Adachi and Miyashita, 2003; Yamasaki et al., 2006; Koepke et al., 2009; Clénet et al., 2009; Goodenough et al., 2010)。Ordinary wehrlite は海嶺軸近傍火成活動 (V1)、Depleted wehrlite は沈み込み帯火成活動にそれぞれ相当すると考えられる。

本研究地域に分布するウェールライト質貫入岩体中の単斜輝石に含まれる TiO_2 お

第7章 考察

よび Na_2O wt% は、Depleted wehrlite の鉍物化学組成よりも高く肥沃的な特徴を有しており、本研究地域に分布するモホ遷移帯の鉍物化学組成の特徴と類似している（メルト-マントル反応のトレンド）。また斜長石 An 値とカンラン石 Fo 値を用いた組成判別図では、本研究地域に分布するウェールライト質貫入岩体は層状ハンレイ岩の組成領域の延長線上にプロットされ、島弧性ハンレイ岩の組成領域とは明確に区別される。これらのことから Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions は、海嶺的な特徴を有する海嶺軸近傍火成活動で形成された岩体であることが示唆される。野外産状および岩石学的特徴を総合的に判断すると、本研究地域のウェールライト質貫入岩体は海嶺軸近傍でモホ遷移帯から派生し、未固結状態時のハンレイ岩に貫入した結果形成されたと考えられる。

ウェールライト質貫入岩体が上位の層状ハンレイ岩層中に貫入・定置するメカニズムは、海嶺セグメント中心部におけるマントルダイアピルの上昇（Jousselin and Nicolas, 2000）や海嶺（拡大場）から沈み込み帯（圧縮場）へのテクトニックセッティングの転換に伴う応力変化（Juteau et al., 1988; Ernewein et al., 1988）が考えられている。両者とも、ウェールライト質貫入岩体はモホ遷移帯に根を持ちハンレイ岩層に貫入するモデル図を作成しているが、前者はウェールライト質貫入岩体の岩石学的特徴が海嶺的であると考え、後者は島弧的な特徴を有するとそれぞれ報告している。しかし、本研究地域のウェールライト質貫入岩体の鉍物化学組成および記載岩石学的特徴は海嶺的な特徴を有し、沈み込み帯火成活動で形成された岩石とは異なった特徴を示している。一方、オマーン・オフィオライトの形成・定置プロセスの研究結果から、海嶺（拡大場）から沈み込み帯（圧縮場）への変化が短期間で起こったことはハンレイ岩類や斜長花崗岩類、メタモルフィックソールの年代測定から明らかになっており（e.g. Hacker, 1994; Warren et al., 2005; Rioux et al., 2012, 2013）、インバージョン・テクトニクスによってモホ遷移帯からの絞り出しがウェールライト質貫入岩体の貫入が促進した可能性も考えられる。

7.2 Lasail-south complex の岩石学的特徴と成因

7.2.1 Lasail-south complex の全体像

Lasail-south complex は海洋地殻層序の上部ガブロからシート状岩脈群中に貫入し、鉍物量比の差による層状構造や構成鉍物の定向配列による面構造が発達している。下位から優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライトから構成され、研究地域北部の Wadi Barghah 地域では一連の層序が露出している（層厚 910 m）（Fig. 3-1, 3-7）。

Lasail-south complex はシート状岩脈群基底部にシル状の貫入岩体として分布している。シート状岩脈群基底部は苦鉄質ホルンフェルスに変成しており、斜長石-角閃石温度計(Holland and Blundy, 1994)から見積もった苦鉄質ホルンフェルスの変成温度は 784-855 °Cを示している。Lasail-south complex 西部は海洋地殻層序の上部ガブロおよびシート状岩脈群と断層で接しているが、本研究では V1 組成を示すドレライト岩脈が Lasail-south complex に貫入する産状を新たに発見した（Fig. 3-8a,b, Fig. 5-3）。この野外産状および化学組成の結果から、Lasail-south complex は海洋地殻層序に取り込まれた「古海洋地殻」もしくは「海嶺軸近傍火成活動で形成された貫入岩体」の可能性が考えられる。しかし、本岩体は海洋地殻層序を形成するシート状岩脈群基底部にシル状に貫入していることから、ドレライト岩脈および Lasail-south complex は海嶺軸近傍火成活動で形成された岩体であると考えられる。

Lasail-south complex は角閃石ガブロやトータル岩にもネットワーク状に貫入され、ブロックとして取り込まれている（Fig. 3-8c）。角閃石ガブロの全岩化学組成は、不適合元素の TiO_2 (0.11-0.67 wt%) や Na_2O (0.36-2.90 wt%)、 P_2O_5 (0-0.05 wt%) といった不適合元素に乏しく、海洋地殻層序を構成する上部ガブロやシート状岩脈群よりも低い値を示している。さらに角閃石ガブロは微量元素の La (0.10-0.64 ppm)、Nb (0.01-0.27 ppm)、Zr (2.32-18.3 ppm) に乏しく、Pb (0.10-0.33 ppm) に富む特徴を示している。これらの微量元素含有量の特徴は、Massive gabbro 2 (Lasail complex : Tsuchiya et al., 2013) と類似している（Fig. 5-4c,d,e）。Tsuchiya et al. (2013) は、溶け残りカンラン岩に安山岩質なスラブメルトをコンタミさせた玄武岩質メルトの微量元素パターンと Massive gabbro2 の特徴が類似することから沈み込み帯火成活動で形成されたと結論付けている。このことから、本研究地域に分布する角

第7章 考察

閃石ガブロは、研究地域の北側に露出する Massive gabbro 2 の延長として本研究地域にも分布し、Lasail-south complex に貫入していると考えられる。

Lasail-south complex 上部の塊状ガブロノーライトは東側のシート状岩脈群基底部に貫入し、最上部では細粒ガブロノーライトをブロックとして包有している (Fig. 3-8d)。細粒ガブロノーライトの全岩 REE 含有量に差が認められ、高い REE 含有量を示すタイプは V1 と類似した REE パターンおよび含有量を示し、低い REE 含有量を示すタイプはシート状岩脈群を構成する岩石を部分溶融させた岩石の REE パターンおよび含有量 (France et al., 2014) と類似した特徴を示している。本研究地域のシート状岩脈群の全岩微量元素含有量から、平衡溶融作用によって抜き去られるメルトと溶け残り岩の REE 組成の計算を行った。その結果、細粒ガブロノーライトとシート状岩脈群の溶け残り岩の REE 含有量とパターンは類似した特徴を示している (Fig. 7-1)。野外産状の観点からも、細粒ガブロノーライトブロックと塊状ガブロノーライトの境界部には花崗岩質脈が形成されており (Fig. 3-13a,b)、シート状岩脈群が Lasail-south complex に貫入された際にシート状岩脈群が部分溶融し花崗岩質メルトの形成を示唆している。

Lasail-south complex と本岩体に関連する貫入岩体の火成活動の関係をまとめると、海嶺火成活動で形成されたシート状岩脈群基底部に Lasail-south complex が貫入し、その際にシート状岩脈群をブロックとして取り込み、一部は部分溶融したと推測される。その後、V1 組成を示すドレライト岩脈が Lasail-south complex 西縁部に貫入し、最後に V2 組成を示す角閃石ガブロがネットワーク状に Lasail-south complex に貫入していることが明らかとなった (Fig. 7-2)。

7.2.2 Lasail-south complex の鉱物晶出順序

Lasail-south complex は、下位から優黒質層状ガブロノーライト、フォリエイテッドガブロノーライト、塊状ガブロノーライトから構成され、鉱物晶出順序はカンラン石-単斜輝石-斜方輝石-斜長石-普通角閃石を示している。先に述べたように、ソレアイト質マグマは実験岩石学的に結晶化する際の化学組成や圧力変化によって鉱物の晶出順序が変化することが知られている。Lasail-south complex は斜長石より単斜輝石や斜方輝石が早期に出現しており、低圧・無水条件で結晶化する MORB (カンラン石-

第7章 考察

斜長石-単斜輝石) の鉱物晶出順序とは大きく異なっている。Lasail-south complex の全岩 SiO₂ 量は 44.6-55.0 wt%を示し、海洋地殻層序を構成するガブロやシート状岩脈群中の SiO₂ 量よりも高い含有量を有している (Fig. 5-1)。Langmur et al. (1992) は、スピネルレルズライト (Takahashi, 1986) を 0、10、30 kbar でそれぞれ熔融させた際のメルト中の SiO₂ 量は圧力の上昇に伴い減少することを報告している。

Lasail-south complex 下部の優黒質層状ガブロノーライト中に普通角閃石が普遍的に出現していることから、本岩体を形成した親マグマ中の含水量は高かったと推測される。海嶺火成活動で形成される MORB はソースマントルが水に乏しいと考えられているが、メルト中の含水量は結晶分化作用の進行に伴って増加し普通角閃石や斜方輝石が出現することが報告されている (野川, 2011MS)。一方で、Lasail-south complex 下部の優黒質層状ガブロノーライトは、普遍的に普通角閃石が出現し、結晶分化作用の進行に伴うメルト中の含水量の増加では説明不可能である。普通角閃石の早期出現は、(1) 変質した海洋地殻の同化、(2) 熱水循環が海洋地殻下部まで作用、(3) 断層や断裂帯に沿った流体の浸透などが考えられる。中央海嶺軸直下における熱水循環作用は、上部ガブロ-シート状岩脈群付近まで及んでおり (Alt et al., 2010)、オマーン・オフィオライトにおいても、シート状岩脈群は熱水変質を被っており緑簾石、緑泥石、アクチノ角閃石、石英、方解石が二次鉱物として出現している (Fig. 4-9a,b)。Lasail-south complex はシート岩脈群をブロック (細粒ガブロノーライトブロック) として取り込み、変質したシート岩脈群を同化・熔融したと考えられる。

角閃石中の塩素含有量は海水の影響の指標として用いられており (Michael and Cornell, 1988; Coogan et al., 2003a)、高速拡大海嶺で形成された岩石は塩素含有量が高い特徴を示している。高速拡大海嶺下では定常的にマグマ溜まりが存在し、熱水循環作用の影響や同化作用の影響を強く受けていると考えられている。オマーン・オフィオライトの上部ガブロ-シート状岩脈群境界部 (マグマ溜まりの天井部) では、同化作用の痕跡を観察することができる (Coogan et al., 2003b)。上部ガブロ中の最も分化が進行した岩石 (斜長花崗岩類や角閃石ガブロ) は、シート状岩脈のゼノリスを多量に含んでいることが知られている (Gills and Roberts, 1999; Gregory and Taylor, 1981; Malpas, 1990; Pallister, 1981; Pallister and Hopson, 1981; Pedersen, 1986; Stakes and Taylor, 1992; Stakes et al., 1984)。この野外産状は、上部ガブロ (マグマ溜まり天井部) がシート状岩脈群をゼノリスとして取り込み、ゼノリスの一部を同

第7章 考察

化したこと示唆している。化学組成の観点から、東太平洋海嶺で形成される玄武岩中のガラスは、マンタルメルトの *partial crystallization* よりも高い塩素含有量を示し、塩素に富んだ物質を同化することで説明されている (Jambon et al., 1995; Michael and Cornell, 1988; Michael and Schilling, 1989)。これらのことから、高速拡大海嶺下のマグマ溜まり天井部では変質したシート状岩脈群を同化し、上部ガブロ最上部の分化した岩石は高い塩素含有量を示している。Lasail-south complex 中の角閃石の塩素含有量は 0-0.26 wt% を示し、高速拡大海嶺で形成された岩石と類似した特徴を示している。本岩体は、優黒質層状ガブロノーライトの中間部においても普遍的に普通角閃石が出現していることから、大規模な同化作用が生じていたと考えられる。Lasail-south complex を形成した親マグマの含水量が高いことは、単斜輝石の早期出現とも調和的な結果である (Feig et al., 2006)。

以上のことから、Lasail-south complex はシート状岩脈群基底部を大規模に同化することでマグマの含水量が増加し、普通角閃石および単斜輝石の早期出現が説明可能である。さらに、本岩体は全岩 SiO_2 量が高いことから、ソースマンタルの熔融深度が浅く斜方輝石の早期出現につながったと考えられる。

7.2.3 Lasail-south complex の成因

Lasail-south complex はシート状岩脈群基底部にシル状に貫入し(層厚 > 0.9 km)、岩体西側の一部で V1 組成を示すドレライト岩脈に貫入されている。「7.2.1 Lasail-south complex の全体像」では、野外産状の観点から Lasail-south complex がオフアクシス火成活動で形成された可能性が高いことを述べている。オフアクシス火成活動で形成されるウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex や Lower wehrilitic intrusions) とは記載岩石学的特徴 (構成岩石、鉱物晶出順序など) が大きく異なっており、その要因を Lasail-south complex の鉱物化学組成の観点から議論する。

Lasail-south complex に含まれる単斜輝石の鉱物化学組成は、Mg# の減少に伴い不適合元素の TiO_2 および Na_2O 量が増加し、海洋性ガブロの組成トレンドと類似している (Fig. 6-8)。単斜輝石中の不適合元素 (TiO_2 および Na_2O 量) は顕著な正累帯構造を示し (Fig. 6-9,10)、海嶺で形成される層状ガブロよりも急速に冷却し結晶分化作

第7章 考察

用が進行したと考えられる。本岩体は下位から優黒質層状ガブローライト、フォリエイテッドガブローライト、塊状ガブローライトから構成され、研究地域北部 (Wadi Barghah) では連続的な垂直変化を観察することができる。カンラン石 Fo 値や単斜輝石 Mg#および TiO₂ 量、斜方輝石 Mg#は、上位に向かって分化するトレンドを示すことから、単一なマグマ溜まりによって形成されたと考えられる (Fig. 7-3)。一方で、斜長石の An 値は垂直方向の変化はあまり示しておらず、海洋性ガブロのカンラン石 Fo 値や単斜輝石 Mg#に比べて高い An 値を示す試料が存在する。カンラン石 Fo 値および斜長石 An 値、単斜輝石 Mg#および斜長石 An 値を用いた組成判別図では、Lasail-south complex の大部分が Oman layered gabbro の組成領域内にプロットされるが、一部の試料は斜長石の An 組成が高い値を示し Arc gabbro および Island arc tholeiite の組成領域内にプロットされる (Fig. 6-14b)。これらの斜長石 An 値が高い要因として、Lasail-south complex 上部はシート状岩脈群基底層を同化・溶融したことでメルトの含水量が増加し、斜長石の An 値が高くなったと考えられる。以上のことから、Lasail-south complex はオフアクシス火成活動によってシート状基底層にシル状に貫入し、単斜輝石が顕著な正累帯構造を示すことや岩体上部に向かってカンラン石 Fo 値や単斜輝石 Mg#が分化することから、定常的なメルトの供給が行われず単一なマグマ溜まりで冷却し形成された岩体であると考えられる。

Lasail-south complex とウェールライト質貫入岩体は、オフアクシス火成活動で形成される岩体であると考えられるが、両者の記載岩石学的特徴は大きく異なっている。ウェールライト質貫入岩体は、モホ遷移帯を起源として上部ガブロ基底層から層状ガブロ中に広く分布し、均質な化学組成を示している (Fig. 7-4a)。一方で、Lasail-south complex はシート状岩脈群基底層に貫入し、シート岩脈群の一部を同化・溶融することでマグマの組成が大きく変化したと考えられる。さらに、定常的なメルトの供給が行われず単一なマグマ溜まりとして形成されたことで、岩体内で広い組成幅を示すことが明らかになった (Fig. 7-4b)。本研究によって、オフアクシスにおける熱水循環が及ぼす変質作用の度合いや混染する岩石の特徴、溶融度、浸透深度が、海洋地殻下部に貫入する岩体の岩石学的特徴に深く関係していることが新たに明らかになった。

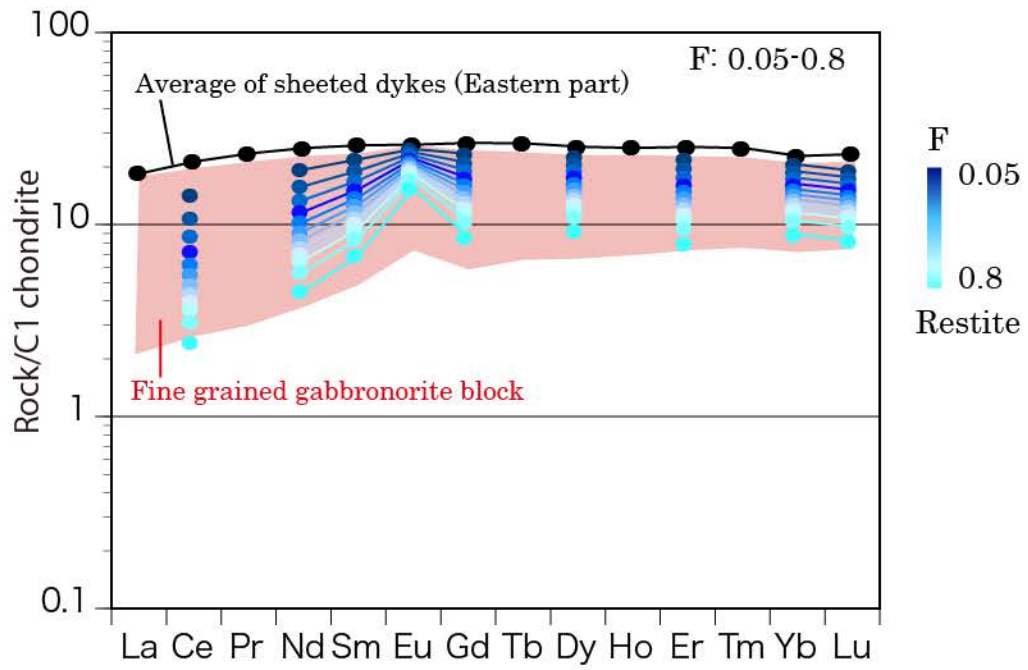


Fig. 7-1. Comparison between fine grained gabbro blocks and restite of basal part of the sheeted dykes.

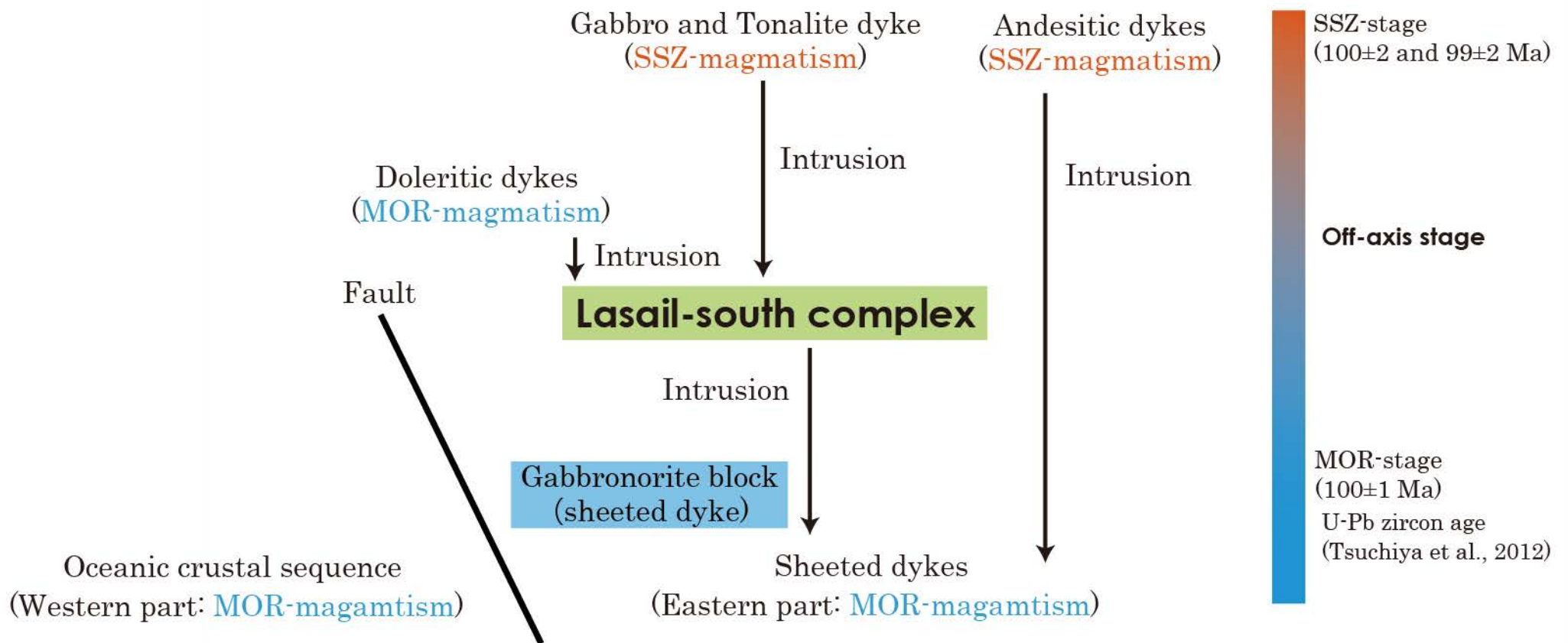


Fig. 7-2. Relationship between the Lasail-south complex and surrounding rocks (sheeted dykes, doleritic dykes, gabbro and tonalite dykes and andesitic dykes).

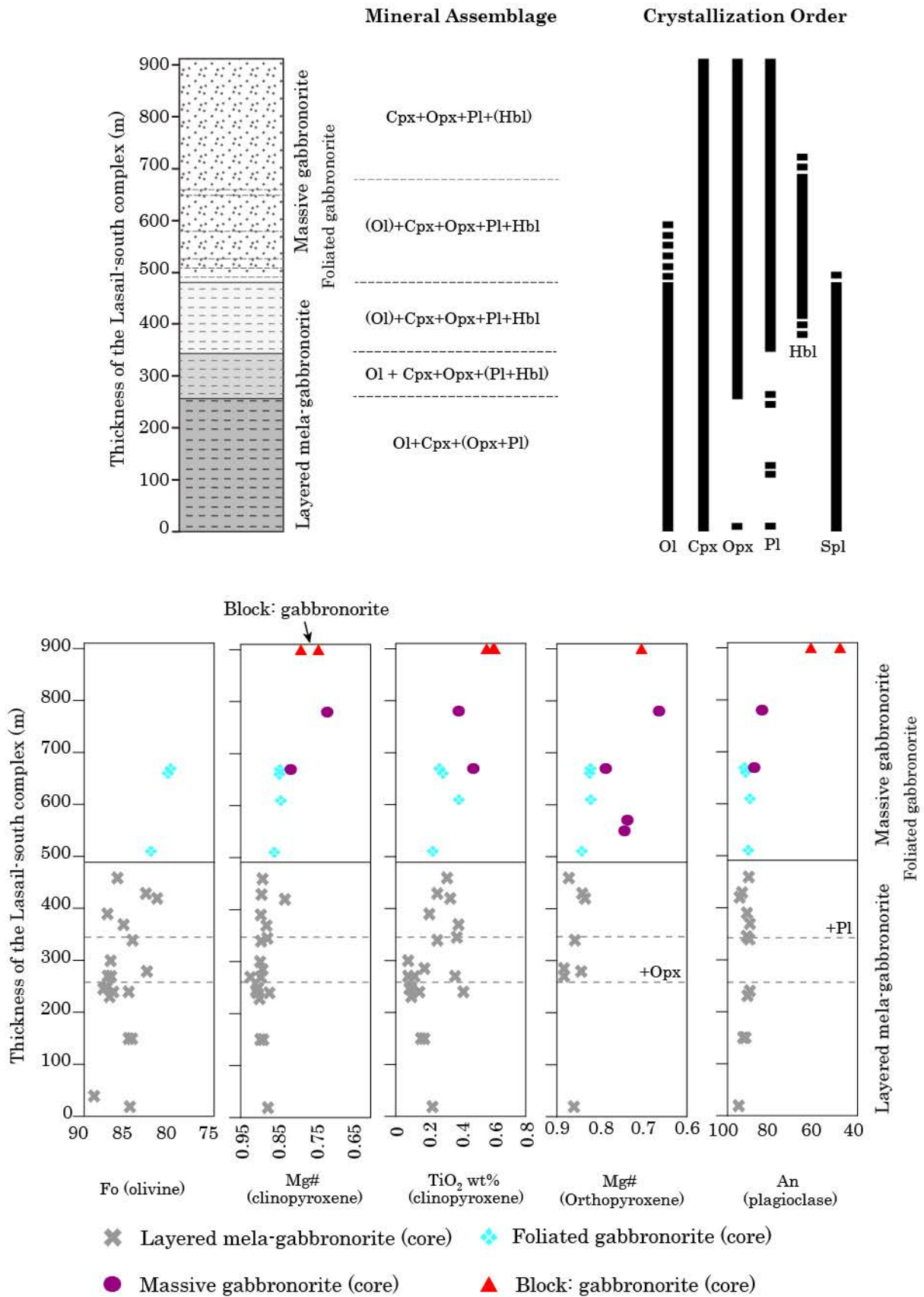


Fig. 7-3. Lithostratigraphic column, mineral assemblage and crystallization order of the Lasail-south complex around Wadi Barghah and vertical variations of olivine forsterite, clinopyroxene Mg# and TiO₂ contents, orthopyroxene Mg# and plagioclase An contents.

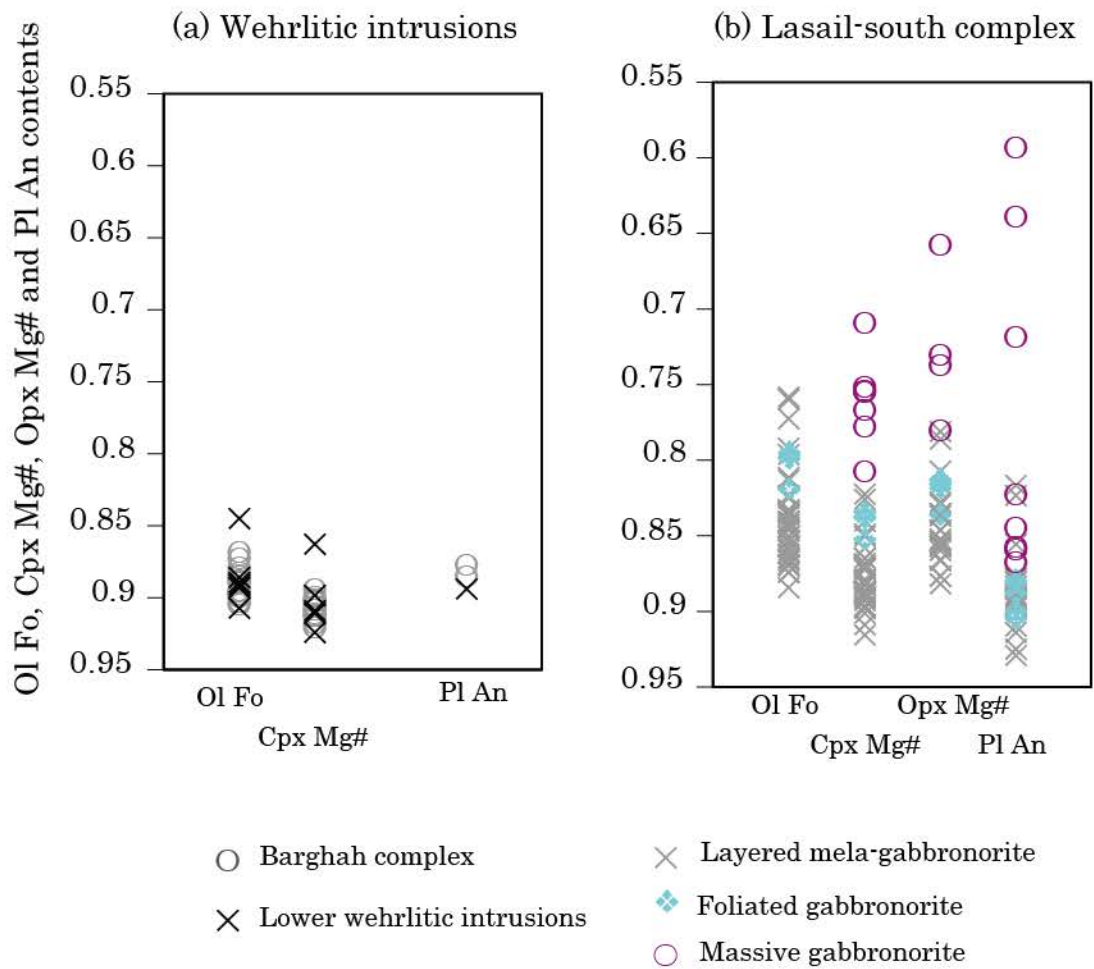


Fig. 7-4. Compositional variations of olivine, clinopyroxene, orthopyroxene and plagioclase from the (a) wehrlitic intrusions and (b) Lasail-south complex. Abbreviations: Ol, olivine; Cpx, clinopyroxene; Opx, orthopyroxene; Pl, plagioclase.

まとめ

1. 大規模なウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex) の発見

Barghah complex は層状ガブロから上部ガブロ基底部に貫入し、ガブロの層状構造や面構造を大規模に乱している。岩体の中心部では母岩のガブロとミングリングしており、高温状態時のガブロに貫入したと考えられる。単斜輝石の鉱物科学組成から、モホ遷移特有のメルト-マントル反応のトレンドを示している。カンラン石と斜長石の組成を用いた判別図においても、カンラン石の高い Fo 値に対して斜長石の An 組成は低い値を示し海嶺的な特徴を有している。Barghah complex の産状および岩石学的特徴から、海嶺軸近傍においてモホ遷移帯から派生し、未固結状態のガブロに貫入した結果形成されたと結論づけた。

2. Lasail-south complex の岩石学的特徴の特異性

Lasail-south complex の鉱物晶出順序は、カンラン石>単斜輝石>斜方輝石>斜長石、普通角閃石を示し、典型的な MORB の晶出順序 (カンラン石>斜長石>単斜輝石) とは大きく異なっている。

本岩体はシート状岩脈群基底部に大規模なシル状岩体として貫入し、その際にシート状岩脈群をブロックとして取り込んでいる。取り込まれたブロックの全岩 REE 含有量に差が認められ、海嶺的な特徴を示すタイプとシート状岩脈群を熔融させた時にできる岩石と類似するタイプが存在する。Lasail-south complex は、熱水変質したシート状岩脈群を同化した可能性が高く、Lasail-south complex 中の普通角閃石の塩素含有量が高いことと整合的である。本岩体は熱水変質した岩石を同化したことで、マグマの含水量が増大し特異な構成岩石および鉱物晶出順序を示すと考えられる。さらに本岩体は V1 組成を示すドレライト岩脈に貫入されていることから、オフアクシス火成活動で形成されたと考えられる。

3. 海洋地殻下部におけるオフアクシス火成活動の多様性

研究地域にはオフアクシス火成活動によって形成されたウェールライト質貫入岩体 (Barghah complex および Lower wehrlitic intrusions) と Lasail-south complex が存在している。両方の岩体とも同じオフアクシス火成活動で形成されているが、野外産状や岩石学的特徴は大きく異なっている。Lasail-south complex は変質した海洋地殻を同化・熔融することで、本岩体を形成した親マグマの組成

(マグマの含水量が増大) が大きく変化したと考えられる。中央海嶺軸直下における熱水循環はシート状岩脈群基底部まで作用していると考えられており、オフアクシスにおける熱水循環による変質作用やその度合い、浸透深度が直接、オフアクシス火成活動の多様性に影響を及ぼしていることが明らかになった。オフアクシス火成活動の多様性はソースマントルの組成や溶融度の違いだけでなく、同化の程度、混染する岩石の特徴、貫入深度や岩体の規模によっても支配されることを本研究で新たに示した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、宮下純夫教授、高澤栄一教授、足立佳子博士から丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。本論文をご精読いただきました小西博巳教授、サティッシュクマール教授、高橋俊郎准教授に深く感謝いたします。また、岩石セミナーの藤林紀枝教授、植田勇人准教授、田中真二博士、中村佳博氏をはじめ岩石セミナーの皆様には大変有益な議論をしていただいた。岩手大学の土谷信高教授には、本研究地域北部に露出する Lasail-south complex の地質や岩相に関して野外調査や学会発表を通じて貴重な意見をいただくことができた。6年間に渡るオマーン・オフィオライトの調査では、金沢大学の荒井章司教授、海野進教授、宮下研究室の草野有紀博士、山崎秀策博士、野川祐氏、宍戸拓磨氏、加藤聡美女史、吉田開祐氏、三瓶崇氏、林舞香女史、及川真宏氏、高澤研究室の藤井悟氏、馬暁帆氏、岩手大学の佐々木惇氏には岩石サンプルの運搬や輸送、地質調査の補助をしていただき大変お世話になった。オマーン商工省鉱物局にはオマーンにおける地質調査の便宜を図っていただき、調査期間を有意義かつ効率的に使うことができた。最後に、博士後期課程まで進学し学業に専念することができたのは、両親のご支援なしには成り立たなかった。加えてここに感謝申し上げる。

引用文献

- Adachi, Y. and Miyashita, S. 2003. Geology and petrology of the plutonic complex in the Wadi Fizh area: Multiple magmatic events and segment structure in the northern Oman ophiolite. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **4**, 8619, doi:10.1029/2001GC000272.
- Akizawa, N. and Arai, S. 2012. Behavior of MORB magmas at uppermost mantle beneath a fast-spreading axis: an example from Wadi Fizh of the northern Oman ophiolite. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **164**, 601-625, doi: 10.1007/s00410-012-0762-4.
- Alabaster, T., Pearce, J. and Malpas, J. 1980. The volcanic stratigraphy and petrogenesis of the Oman ophiolite complex, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **81**, 168–183.
- Alabaster, T., Pearce, J. and Malpas, J. 1982. The volcanic stratigraphy and petrogenesis of the Oman ophiolite complex, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **81**, 168–183, 1982.
- Alt, J., Laverne, C., Coggon, R., Teagle, D., Banerjee, N., Morgan, S., Smith-Duque, C., Harris, M. and Galli, L. 2010. Subsurface structure of a submarine hydrothermal system in ocean crust formed at the East Pacific Rise, ODP/IODP Site 1256. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **11**, Q10010, doi:10.1029/2010GC003144
- Arai, S. 1994. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: review and interpretation. *Chemical Geology*, **113**, 191-204
- Arai, S., Okamura, H., Kadoshima, K., Tanaka, C., Suzuki, K. and Ishimaru, S. 2011. Chemical characteristics of chromian spinel in plutonic rocks: Implications for deep magma processes and discrimination of tectonic setting. *Island Arc*, **20**, 125-137, doi:10.1111/j.1440-1738.2010.00747.x.
- Arai, S., kadoshima, K. and Morishita, T. 2006. Widespread arc-related melting in the mantle section of the northern Oman ophiolite as inferred from detrital

- chromian spinels. *Journal of Geological Society, London*, **163**, 869–879.
- Arai, S. and Matsukage, K. 1996. Petrology of the gabbro-troctolite-peridotite complex from Hess Deep, equatorial Pacific: implications for mantle-melt interaction within the oceanic lithosphere. In: Mével, C., Gillis, K. M., Allan, J. F. (eds) Proceedings of the Ocean Drilling Program, *Scientific Results*, **147**, 135-155.
- A'Shaikh, D., Miyashita, S. and Matsueda, H. 2005. The petrological and geochemical characteristics of an ophiolite volcanic suite from the Ghayth area of Oman, *Journal of Mineralogical and Petrological Science*, **100**, 202–220, doi:10.2465/jmps.100.202.
- Batiza, E., Niu, Y. and Zayac, C. 1990. Chemistry of seamounts near the East Pacific Rise: Implications for the geometry of subaxial mantle flow. *Geology*, **18**, 1122-1125.
- Beard, J. 1986. Characteristic mineralogy of arc-related cumulate gabbros: implications for the tectonic setting of gabbroic plutons and for andesite genesis, *Geology*, **14**, 848–851.
- Benn, K., Nicolas, A. and Ruber, I. 1988. Mantle-crustal transition zone and origin of wehrlite magmas: evidence from the Oman ophiolite. *Tectonophysics*, **151**, 75-85.
- Beurrier, M., Ohnenstetter, M., Cabanis, B., Lescuyer, j., Tegye, M. and LeMetour L. 1989. Géochimie des filons doléritiques et des roches volcaniques ophiolitiques de la nappe de Semail: Contraintes sur leur origine géotectonique au Crétacé supérieur, *Bulletin de la Société Géologique de France*, **8**, 205–219.
- Boudier, F. and Nicolas, A. 1995. Nature of the Moho Transition Zone in the Oman ophiolite. *Journal of Petrology*, **36**, 777-796.
- Browning, P. 1984. Cryptic variation within the cumulate sequence of the Oman ophiolite: magma chamber depth and petrological implications. *Geological Society, London, Special Publications*, **13**, 71-82.
- Carbotte, M., Mutter, C. and Xu, L. 1997. Contribution of volcanism and

- tectonism to axial and flank morphology of the southern East Pacific Rise, 17°10'N–17°40'S, from a study of layer 2A geometry. *Journal of Geophysical Research*, **102**, 10165-10184.
- Ceuleneer, G. 1991. Evidences for a paleo-spreading center in the Oman ophiolite: mantle structure in the Maqsad area. In: Peters, T., Nicolas, A. and Coleman, R. G. (eds.) *Ophiolite Genesis and Evolution of Oceanic Lithosphere*. Dordrecht, Ministry of Petroleum and Minerals, Sultanate of Oman, 149-175.
- Ceuleneer, G., Nicolas, A. and Boudier, F. 1988. Mantle flow patterns at an oceanic spreading center: The Oman peridotites record, *Tectonophysics*, **151**, 1-26.
- Clarke, D and Loubat, H. 1997. Mineral analyses from the peridotite– gabbro– basalt complex at site 334, DSDP Leg 37. In: F. Aumento, J. Melson, et al., (Eds.), *Initial Report DSDP, 37*, U. S. Government Printing Office, Washington, 847–855.
- Clénet, H., Ceuleneer, G., Pinet, P., Abily, B., Daydou, Y., Harris, E., Amri, I. and Dantas, C. 2009. Thick sections of layered ultramafic cumulates in the Oman ophiolite revealed by an airborne hyperspectral survey: Petrogenesis and relationship to mantle diapirism. *Lithos*, **114**, 265-281, doi:10.1016/j.lithos.2009.09.002.
- Coogan, L. 2003a. Contaminating the lower crust in the Oman ophiolite. *Geology*, **31**, 12, 1065-1068.
- Coogan, L., Mitchell, N. and O'Hara, M. 2003. Roof assimilation at fast spreading ridges: An investigation combining geophysical, geochemical, and field evidence. *Journal of Geophysical Research*, **108**, B1, doi:10.1029/2001JB001171.
- Crawford, C. and Webb, C. 2002. Variations in the distribution of magma in the lower crust and at the Moho beneath the East Pacific Rise at 9°-10°N. *Earth and Planetary Science Letters*, **203**, 117-130.
- Dick, Y., Moores, E., Elton, D. and Nicolas, A. (Eds.). 2000. Ophiolites and Oceanic Crust: New Insights from Field Studies and the Ocean Drilling

- Program, Geological Society America, Boulder, Colorado.
- Dick, H. et al. 2002. Primary silicate mineral chemistry of a 1.5-km section of very slow spreading lower ocean crust: ODP Hole 735B, Southwest Indian Ridge, in: J.H. Natland, J.J.B. Dick, D.J. Miller, R.P. von Herzen (Eds.), *Proc. ODP Science Results*, **176**, Ocean Drilling Program, College Station, TX, 1–61.
- Dick, H. and Natland, J. 1996. Late stage melt evolution and transport in the shallow mantle beneath the East Pacific Rise. In: C. Mevel, K.M. Gillis, J.F. Allan (Eds.), *Proc. ODP Science Results*, **147**, Ocean Drilling Program, Collage Station, TX, 103–134.
- Elthon, D. 1991. Chemical trends in abyssal peridotites: refertilization of depleted suboceanic mantle. *Journal of Geophysical Research*, **97**, 9015–9025.
- Einaudi, F., Godard, M., Pezard, P., Cochame, J.-J., Coulon, C., Brewer, T., Harvey, P., 2003. Magmatic cycles and formation of the upper oceanic crust at spreading centers: geochemical study of a continuous extrusive section in the Oman ophiolite. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **4**, doi:10.1029/2002GC000362.
- Ernewein, M., Pflumio, C. and Whitechurch, H. 1988. The death of an accretion zone as evidenced by the magmatic history of the Sumail ophiolite (Oman). *Tectonophysics*, **151**, 247-274, doi:10.1016/0040-1951(88)90248-X.
- Feig, S., Koepke, J. and Snow, J. 2006. Effect of water on tholeiitic basalt phase equilibria: An experimental study under oxidizing conditions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **152**, 611-638, doi:10.1007/s00410-006-0123-2.
- France, L., Ildefonse, B. and Koepke, J. 2009. Interactions between magma and hydrothermal system in Oman ophiolite and in IODP Hole 1256D: Fossilization of a dynamic melt lens at fast spreading ridges. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **10**, Q10O19, doi:10.1029/2009GC002652.
- France, L., Koepke, J., MacLeod, C., Ildefonse, B., Godard, M. and Deloule, E. 2014. Contamination of MORB by anatexis of magma chamber roof rocks: Constraints from a geochemical study of experimental melts and associated

- reidues. *Lithos*, 202-203, 120-137.
- Geshi, N., Umino, S., Kumagai, H., Sinton, J.M., White, M., Kisimoto, K. and Hilde, W. 2007. Discrete plumbing systems and heterogeneous magma sources of a 24 km³ off-axis lava field on the western flank of East Pacific Rise 14°S. *Earth and Planetary Science Letters*, **258**, 61-72.
- Gills, M. and Roberts, M. 1999. Cracking at the magma-hydrothermal transition: Evidence from the Troodos ophiolite, Cyprus, *Earth and Planetary Science Letters*, **169**, 227-244.
- Godard, M., Dautria, J. and Perrin, M. 2003. Geochemical variability of the Oman ophiolite lavas: relationship with special distribution and paleomagnetic directions. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **4**, doi:10.1029/2002GC000452.
- Goodenough, K. M., Styles, M. T., Schofield, D., Thomas, R. J., Crowley, C. Q., Lilly, M. R., McKervey, J., Stephenson, D. and Carney, N. J. 2010. Architecture of the Oman-UAE ophiolite: evidence for a multi-phase magmatic history. *Arabian Journal of Geosciences*, **3**, 439-458, doi:10.1007/s12517-010-0177-3.
- Gregory, T. and Taylor, H. 1981. An oxygen isotope profile in a section of Cretaceous oceanic crust, Samail ophiolite. Oman: Evidence for D18O buffering of the oceans by deep (>5 km) seawater-hydrothermal circulation at mid-ocean ridges, *Journal of Geophysical Research*, **86**, 2737-2755.
- Grove, T. L. and Bryan, W. B. 1983. Fractionation of pyroxene-phyric MORB at low pressure: an experimental study. *Contributions to Mineralogy and*, **84**, 293-309.
- Grove, L. T., Kinzler, J. R. and Bryan, B.W. 1992. Fractionation of mid-ocean ridge basalt (MORB). Mantle flow and melt generation at mid-ocean ridges. In: Phipps Morgan, J., Blackman, D. K. and Sinton, J M. (eds) *Mantle flow and Melt Generation at Mid-Ocean Ridges. Geophysical Monograph, American Geophysical Union*, **71**, 281-310.
- Hacker, B. R. 1994. Rapid emplacement of young oceanic lithosphere: Argon

- geochronology of the Oman ophiolite. *Science*, **265**, 1563-1565.
- Hall, S. and Sinton, M. 1996. Geochemical diversity of the large lava field on the flank of the East Pacific Rise at 8°17'S. *Earth and Planetary Science Letters*, **142**, 241-251.
- Harding, J., Kent, M. and Orcutt, A. 1993. A multichannel seismic investigation of upper crustal structure at 9°N on the East Pacific Rise: Implications for crustal accretion. *Journal of Geophysical Research*, **98**, 13925-13944.
- Hodges, F. and Papike, J. 1976. DSDP Site 334 magmatic cumulates from oceanic layer 3, *Journal of Geophysical Research*, **81**, 4135-4151.
- Holland, T. and Blundy, J. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **116**, 433-447.
- Hooft, E., Detrick, S. and Kent, M. 1997. Seismic structure and indicators of magma budget along the southern East Pacific Rise. *Journal of Geophysical Research*, **102**, 27319-27340.
- Jambon, A., Deruelle, B., Dreibus, G. and Pineau, F. 1995. Chlorine and bromine abundance in MORB: The contrasting behaviour of the Mid-Atlantic Ridge and East Pacific Rise and implications for chlorine geodynamic cycles, *Chemical Geology*, **126**, 101-117.
- Jousselin, D. and Nicolas, A. 2000. The Moho Transition Zone in the Oman ophiolite-relation with wehrlites in the crust and dunites in the mantle. *Marine Geophysical Researches*, **21**, 229-241.
- Jousselin, D., Nicolas, A. and Boudier, F. 1988. Detailed mapping of a paleo-spreading center in the Oman ophiolite. *Journal of Geophysical Research*, **103**, 18,153-18,170..
- Juteau, T., Ernewein, M., Reuber, I., Whitechurch, H. and Dahl, R. 1988. Duality of magmatism in the plutonic sequence of the Sumail Nappe, Oman. *Tectonophysics*, **151**, 107-135.
- Kaneko, R., Adachi, Y. and Miyashita, S. 2014. Origin of large wehrlitic intrusions from Wadi Barghah to Salahi area in the northern Oman Ophiolite.

- Geological Society, London, Special Publications*, **392**, 213-228. doi: 10.1144/SP392.11.
- Kent, M., Harding, J., Orcutt, A., Detrick, S., Mutter, C. and Buhl, P. 1994. Uniform accretion of oceanic crust south of the Garret transform at 14°15'S on the East Pacific Rise. *Journal of Geophysical Research*, **99**, 9097-9116.
- Klein, M. E. and Langmuir, H. C. 1987. Global correlations of ocean ridge basalt chemistry with axial depth and crustal thickness. *Journal of Geophysical Research*, **92**, 8089-8115.
- Koepke, J., Schoenborn, S., Oelze, M., Wittmann, H., Feig, T. S., Hellebrand, E., Boudier, F. and Schoenberg, R. 2009. Petrogenesis of crustal wehrlites in the Oman ophiolite: experiments and natural rocks. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **10**, 10002, doi:10.1029/2009GC002488.
- Koga, K. T., Kelemen, P. B. and Shimizu, N. 2001. Petrogenesis of the crust-mantle transition zone and the origin of lower crustal wehrlite in the Oman ophiolite. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **2**, 2000GC000132.
- Kusano, Y., Adachi, Y., Miyashita, S. and Umino, S. 2012. Lava accretion system around mid-ocean ridges: Volcanic stratigraphy in the Wadi Fizh area, northern Oman ophiolite. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **13**, Q05012, doi:10.1029/2011GC004006.
- Langmuir, H. C., Klein, Y. E. and Plank, T. 1992. Petrological systematics of mid-ocean ridge basalts; Constraints on melt generation beneath ocean ridges. In: Phipps Morgan, J., Blackman, D. K. and Sinton, J. M. (eds) *Mantle flow and Melt Generation at Mid-Ocean Ridges. Geophysical Monograph, American Geophysical Union*, **71**, 183-280.
- Le Maitre, R. 2002. 1. Rocks, Igneous-classification. International Union of Geological Sciences, QE461, I446, ISBN 0 521 66215 X hardback.
- Lippard, S. J., Shelton, A. W. and Gass, I. G. 1986. The ophiolite of Northern Oman. *Geological Society, London, Memoirs*, **11**, 178.
- Macleod, C. and Yaouancq, G. 2000. A fossil melt lens in the Oman ophiolite: Implications for magma chamber progresses at fast spreading ridges. *Earth*

- and Planetary Science Letters*, 176, 357-373.
- Malpas, J. 1990. Crustal accretionary processes in the Troodos ophiolite, Cyprus: Evidence from field mapping and deep crustal drilling, in *Ophiolites as Oceanic Crustal Analogues*, edited by J. Malpas, et al., 65 – 74, Geological Survey of Cyprus, Nicosia.
- Michael, J. and Cornell, W. 1998. Influence of spreading rate and magma supply on crystallisation and assimilation beneath mid-ocean ridges: Evidence from chlorine and major element chemistry of mid-ocean ridge basalts, *Journal of Geophysical Research*, **103**, 18,325–18,356.
- Michael, J. and Schilling, J. 1989. Chlorine in mid-ocean ridge magmas: Evidence for assimilation of seawater-influenced components, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 3131–3143.
- Ministry of Petroleum and Minerals 1987. Geological map of AL WASIT, sheet NG40-14E-3, Muscat, Sultanate of Oman.
- Miyashita, S., Adachi, Y. and Umino, S. 2003. Along-axis magmatic system in the northern Oman ophiolite: Implications of compositional variation of the sheeted dike complex. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **4**, 8617, doi:10.1029/2001GC000235.
- Miyashita, S., Umino, S. and Adachi, Y. 2002. A new perspective of ophiolite studies with special reference to the Oman ophiolite. *Journal of Geological Society of Japan*, **108**, 520-535 (In Japanese with English abstract).
- Natland, J. and Dick, H. 1996. Melt migration through high-level gabbroic cumulates of the East Pacific Rise at Hess Deep: the origin of magma lenses and the deep crustal structure of fast-spreading ridges. In: C. Mevel, K.M. Gillis, J.F. Allan (Eds.), *Proc. ODP Science Results*, **147**, Ocean Drilling Program, College Station, TX, 21–58.
- Nicolas, A., Boudier, F. and Ceuleneer, G. 1988. Mantle flow patterns and magma chambers at oceanic ridges: Evidence from the Oman Ophiolite. *Marine Geophysical Researches*, **9**, 293-310.
- Nicolas, A. and Boudier, F. 1995. Mapping oceanic ridge segments in Oman

- ophiolite. *Journal of Geophysical Research*, **100**, 6179-6197.
- Nicolas, A., Boudier, F., Ildefonse B. and Ball, E. 2000. Accretion of Oman and United Arab Emirates ophiolite-Discussion of a new structural map. *Marine Geophysical Researches*, **21**, 147-179.
- Niu, Y. and Batiza, E. 1997. Trace element evidence from seamounts for recycled oceanic crust in the Eastern Pacific mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, **148**, 471-483.
- 野川, 2012MS. オマーンオフィオライト上部ハンレイ岩層の岩石学的研究-海嶺下のマルチレンズの挙動-, 新潟大学大学院自然科学研究科修士論文.
- O'Nions, K. and Gronvold, K. 1973. Petrologenetic relationships of acid and basic rocks in Iceland: Sr-isotopes and rare-earth elements in late and post-glacial volcanics. *Earth and Planetary Science Letters*, **19**, 397-409.
- Ozawa, K. 1994. Melting and melt segregation in the mantle wedge above a subduction zone: evidence from the chromite-bearing peridotites of the Miyamori ophiolite Complex, northeastern Japan. *Journal of Petrology*, **20**, 3-35.
- Pallister, S. 1981. Structure of the sheeted dike complex of the Semail ophiolite near Ibra, Oman, *Journal of Geophysical Research*, **86**, 2593-2644.
- Pallister, S. J. and Hoppson, C. 1981. Semail ophiolite suite: Field relations, phase variation, cryptic variation and layering and model of a spreading ridge magma chamber. *Journal of Geophysical Research*, **86**, 2593-2644.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. 1984. Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, **25**, 956-983.
- Pedersen, B. 1986. The nature and significance of magma chamber margins in ophiolites: Examples from the Norwegian Caledonides, *Earth and Planetary Science Letters*, **77**, 100-112.
- Presnall, C. D., Dixon, J.R., O'Donnell, T.H. and Dixon, S.A. 1979. Generation of mid-ocean ridge tholeiites. *Journal of Petrology*, **36**, 777-796.
- Reuber, I. 1988. Complexity of the crustal sequence in the northern Oman ophiolite (Fizh and southern Aswad blocks): the effect of early slicing?

- Tectonophysics*, **151**, 137-165.
- Reuber, I., Nehlig, P. and Juteau, T. 1991. Axial segmentation at a fossil oceanic spreading center in the Haylayn Block (Semail Nappe, Oman)-Off-axis mantle diapir and advancing ridge tip. *Journal of Geodynamics*, **13**, 253-278, doi:10.1016/0264-3707(91)90041-C.
- Reynolds, R. and Langmuir, H. 2000. Identification and implications of off-axis lava flows around the East Pacific Rise. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **1**, doi:10.1029/1999GC 000033.
- Rollinson, H. 2009. New models for the genesis of plagiogranites in the Oman ophiolite. *Lithos* **112**, 603–614.
- Rioux, M., Bowring, S., Kelemen, P., Gordon, S., Dudás, F. and Miller, R. 2012. Rapid crustal accretion and magma assimilation in the Oman-U.A.E. ophiolite: High precision U-Pb zircon geochronology of the gabbroic crust. *Journal of Geophysical Research*, **117**, B07201.
- Rioux, M., Browring, S., Kelemen, P., Gordon, S., Miller, R. and Dudas, F. 2013. Tectonic development of the Samail ophiolite: High-precision U-Pb zircon geochronology and Sm-Nd isotope constraints on crustal growth and emplacement. *Journal of Geophysical Research*, **118**, 2085-2101.
- Ross, K. and Elthon, D. Cumulus and postcumulus crystallization in the oceanic crust: major- and trace-element geochemistry of Leg 153 gabbroic rocks. In: J.A. Karson, M. Cannat, D.J. Miller, D. Elthon (Eds.), *Proc. ODP Science Results*, 153, Ocean Drilling Program, College Station, TX. 333–350.
- Sigvaldson, E. 1974. Basalts from the centre of the assumed Iceland mantle plume. *Journal of Petrology*, **15**, 497-524.
- Smewing, J. 1981. Mixing characteristics and compositional differences in mantle-derived melts beneath spreading axes: evidence from cyclically layered rocks in the ophiolite of North Oman. *Journal of Geophysical Research*, **86**, 2645–5660.
- Stakes, S., Taylor, H. and Fisher, R. 1984. Oxygen isotope and geochemical characterisation of hydrothermal alteration in ophiolite complexes and

- modern ocean crust, in *Ophiolites and Oceanic Lithosphere*, edited by I. G. Gass, S. J. Lippard, and A. W. Shilton, *Special Publication, Geological Society, London*, 199–214, Blackwell, Malden, Mass.
- Stakes, S. and Taylor, H. 1992. The Northern Semail ophiolite: An oxygen isotope, microprobe and field study, *Journal of Geophysical Research*, **97**, 7043.
- Symes, R., Bevan, J and Hutcheon, R. 1977. Phase chemistry studies on gabbro and peridotite rocks from site 334, DSDP Leg 37. In: F. Aumento, J. Melson, et al., (Eds.), Initial Rep. DSDP, **37**, 841–845.
- Sun, S. and McDonough, W. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders, M.J. Norry (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*, Geol. Soc. London, 313–345.
- Takahashi, E. 1986. Origin of basaltic magmas: implication from peridotite melting experiments and an olivine fractionation model. *Bulletin of the Volcanological Society Japan*, **30**, 517-540 (in Japanese).
- Tilton, G. R., C. A. Hopson, and J. E. Wright, Uranium-lead isotopic ages of the Semail ophiolite, Oman, with applications to Tethyan ocean ridge tectonics, *Journal of Geophysical Research*, **86**, 2763–2775, 1981.
- Tsuchiya, N., Shibata, T., Yoshikawa, M., Adachi, Y., Miyashita, S., Adachi, T., Nakano, N. and Osanai, Y. 2013. Petrology of Lasail plutonic complex, northern Oman ophiolite, Oman: An example of arc-like magmatism associated with ophiolite detachment. *Lithos*, **156-159**, 120–138.
- Umino, S., Miyashita, S., Hotta, F. and Adachi, Y. 2003. Along-strike variation of the sheeted dike complex in the Oman Ophiolite: Insights into subaxial ridge segment structures and the magma plumbing system. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **4**, 8618, doi:10.1029/2001GC000233.
- 海野, 下司, 熊谷, 岸本. 2008. 東太平洋海膨のオフリッジ火山はモホ遷移起源か?. *地学雑誌*, 117, (1), 190-219.
- Warren, C. J., Parrish, R. R., Waters, D. J. and Searle, M. P. 2005. Dating the geologic history of Oman's Semail ophiolite: insights from U-Pb geochronology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **150**, 403-422.

- Willson, S. et al. 2006. Drilling to gabbro in intact ocean crust. *Science*, **312**, 1016-1020.
- Yamasaki, T., Maeda, J. and Mizuta, T. 2006. Geochemical evidence in clinopyroxenes from gabbroic sequence for two distinct magmatisms in the Oman ophiolite. *Earth and Planetary Science Letters*, **251**, 52-65, doi:10.1016/j.epsl.2006.08.027.
- Yamazaki, S. 2013. Incipient island arc crust formation within oceanic crustal sequence: Geology, geochemistry and geochronology of late intrusive rocks in the Oman ophiolite. *PhD thesis*, Doctoral Program in Fundamental Sciences, Graduate School of Science and Technology, Niigata University.

Table 1. Bulk rock major and trace element compositions by XRF analysis.

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | P2O5 | LOI | Total | Nb | Ni | Pb | Y | Zr | Ba | V |
|------------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|--------|------|------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Gabbro dyke | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10Bar61 | 48.98 | 0.22 | 17.21 | 7.27 | 0.14 | 9.23 | 11.00 | 2.23 | 0.24 | 0.01 | 3.12 | 99.64 | 0.022 | 88.6 | 2.468 | 5.131 | 13.13 | 15 | 153.37 |
| 10Sal34 | 49.26 | 0.20 | 17.91 | 6.15 | 0.11 | 9.18 | 12.24 | 1.58 | 0.60 | 0.01 | 2.46 | 99.71 | 1.526 | 86.7 | 0.318 | 7.126 | 10.88 | 34.5 | 159.92 |
| 11BarE23 | 48.72 | 0.24 | 19.78 | 5.66 | 0.10 | 8.79 | 12.91 | 1.77 | 0.05 | 0.01 | 0.79 | 98.81 | 1.338 | 103.1 | 1.811 | 6.847 | 8.71 | -6.5 | 77.62 |
| 11BarE01 | 49.18 | 0.54 | 18.27 | 7.79 | 0.12 | 8.14 | 10.79 | 2.52 | 0.20 | 0.01 | 2.16 | 99.72 | 1.754 | 66.9 | 2.499 | 8.279 | 10.98 | 18.6 | 167.47 |
| 10Sal33 | 50.61 | 0.21 | 15.12 | 7.33 | 0.14 | 11.59 | 9.06 | 1.65 | 1.10 | 0.01 | 3.04 | 99.85 | 1.542 | 149.4 | 1.196 | 6.293 | 11.2 | 64.4 | 181.11 |
| 10Sal35 | 50.20 | 0.43 | 16.84 | 5.63 | 0.10 | 9.70 | 9.49 | 2.69 | 0.31 | 0.02 | 4.57 | 99.98 | 1.733 | 92.4 | 2.468 | 9.703 | 22.21 | 1.6 | 201.21 |
| 11BarE08 | 65.00 | 0.67 | 15.27 | 6.62 | 0.06 | 2.26 | 2.91 | 4.99 | 0.40 | 0.05 | 2.20 | 100.42 | 1.973 | 0.4 | 1.231 | 16.559 | 50.51 | 26.7 | 90.36 |
| 12BarE01 | 48.61 | 0.64 | 17.80 | 10.92 | 0.15 | 7.44 | 10.12 | 2.11 | 0.29 | 0.01 | 2.23 | 100.33 | 1.005 | 56.3 | 0.866 | 7.693 | 12.68 | 1.2 | 601.75 |
| 12BarE20 | 47.99 | 0.18 | 17.65 | 5.49 | 0.08 | 8.15 | 17.03 | 0.72 | 0.02 | 0.01 | 3.59 | 100.92 | 0.829 | 64.7 | 0.789 | 4.202 | 13.46 | -6.3 | 119.74 |
| 12BarE22 | 49.80 | 0.15 | 20.03 | 6.61 | 0.11 | 6.89 | 11.80 | 2.35 | 0.30 | 0.01 | 2.70 | 100.74 | 1.141 | 40.2 | 2 | 4.997 | 18.69 | -2.2 | 132.89 |
| 12BarE28 | 49.12 | 0.20 | 18.65 | 6.89 | 0.13 | 8.57 | 12.89 | 1.39 | 0.07 | 0.01 | 2.39 | 100.33 | 0.992 | 78.5 | 2.334 | 4.63 | 12.94 | -1.7 | 114.61 |
| 12BarE31 | 44.89 | 0.20 | 18.42 | 5.98 | 0.12 | 8.22 | 17.99 | 0.34 | 0.02 | 0.01 | 4.57 | 100.77 | 2.802 | 87.9 | 0.881 | 5.321 | 10.46 | -8.6 | 132.29 |
| 12BarE51 | 49.17 | 0.17 | 16.67 | 5.89 | 0.12 | 11.96 | 14.77 | 0.84 | (0.00) | 0.00 | 0.72 | 100.31 | 1.336 | 154.5 | 2.141 | 6.1 | 4.65 | -11.7 | 107.47 |
| 12BarE67t | 50.80 | 0.50 | 17.49 | 7.56 | 0.09 | 7.87 | 10.87 | 2.80 | 0.34 | 0.01 | 2.31 | 100.66 | 1.266 | 92.4 | 3.906 | 9.557 | 18.16 | 4.8 | 276.52 |
| 12BarE89 | 51.26 | 0.43 | 17.03 | 7.17 | 0.13 | 9.20 | 12.51 | 1.57 | 0.06 | 0.05 | 1.02 | 100.43 | 1.993 | 106.6 | 5.042 | 12.84 | 39.18 | -4.6 | 171.75 |
| 12BarE94 | 48.12 | 0.20 | 12.91 | 6.74 | 0.14 | 11.52 | 17.65 | 0.37 | 0.02 | 0.01 | 3.35 | 101.03 | 0.736 | 116.3 | 3.819 | 7.954 | 17.19 | -5.2 | 166.56 |
| 12BarE103 | 50.58 | 0.23 | 18.36 | 7.11 | 0.14 | 8.38 | 12.77 | 1.66 | 0.15 | 0.01 | 1.34 | 100.72 | 0.52 | 95.6 | 4.258 | 5.84 | 10.86 | -1.1 | 149.63 |
| 12Bar51 | 50.27 | 0.13 | 16.34 | 5.26 | 0.09 | 11.25 | 13.92 | 1.10 | 0.13 | 0.00 | 1.78 | 100.28 | 0.898 | 125.1 | 2.003 | 4.001 | 10.83 | 6.4 | 121.99 |
| 12Bar54 | 50.28 | 0.20 | 19.51 | 5.57 | 0.11 | 8.26 | 12.45 | 1.94 | 0.14 | 0.01 | 2.29 | 100.75 | 1.305 | 81.4 | 1.467 | 7.021 | 14.84 | 4.9 | 111.55 |
| 12Bar39 | 48.86 | 0.13 | 20.21 | 5.60 | 0.10 | 9.43 | 12.40 | 1.31 | 0.04 | 0.00 | 2.61 | 100.68 | 1.443 | 139.7 | 1.423 | 2.635 | 8.32 | -0.7 | 89.38 |
| 11BarE68 | 50.69 | 0.32 | 15.05 | 9.93 | 0.16 | 10.47 | 10.07 | 1.39 | 0.15 | 0.01 | 1.63 | 99.88 | 2.422 | 136.7 | 2.605 | 8.436 | 15.21 | 5.9 | 206.89 |
| 12BarE42 | 51.51 | 0.30 | 6.08 | 6.28 | 0.14 | 16.81 | 18.87 | 0.36 | (0.01) | 0.00 | 0.53 | 100.86 | 1.046 | 159.8 | 1.56 | 7.136 | 11.11 | 5.3 | 179.1 |
| 12BarE99 | 50.21 | 0.17 | 17.09 | 9.22 | 0.18 | 11.85 | 9.04 | 1.18 | 0.02 | 0.00 | 1.68 | 100.65 | 1.052 | 85.1 | 2.101 | 2.815 | 6.15 | -12.5 | 101.78 |
| 12Bar46 | 48.54 | 0.11 | 21.00 | 3.57 | 0.06 | 7.94 | 13.77 | 2.10 | 0.15 | 0.00 | 3.47 | 100.70 | 1.424 | 72 | 2.146 | 2.183 | 11.21 | 1.8 | 78.67 |
| 12Bar48 | 48.27 | 0.11 | 14.09 | 6.25 | 0.19 | 12.44 | 17.39 | 0.63 | 0.02 | 0.00 | 1.22 | 100.61 | 1.868 | 162.9 | 2.102 | 3.927 | 3.87 | -2.3 | 134.2 |
| 12Bar25 | 50.87 | 0.20 | 14.12 | 5.61 | 0.13 | 13.20 | 15.29 | 0.74 | (0.00) | 0.00 | 0.78 | 100.94 | 1.606 | 165.4 | 3.405 | 6.786 | 4.29 | -9.2 | 127.04 |
| 12Bar55 | 51.65 | 0.66 | 18.12 | 9.95 | 0.12 | 6.18 | 9.85 | 2.12 | 0.23 | 0.02 | 1.88 | 100.77 | 1.373 | 56.9 | 1.072 | 11.222 | 24.13 | 14.9 | 384.79 |
| Foliated gabbro-norite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11BarE67 | 49.97 | 0.27 | 16.37 | 8.54 | 0.14 | 10.16 | 11.43 | 1.21 | 0.14 | 0.01 | 1.71 | 99.96 | 0.839 | 130.8 | 1.731 | 6.977 | 11.29 | -2.3 | 185.72 |
| 11BarE17- | 50.03 | 0.15 | 15.41 | 5.79 | 0.13 | 12.67 | 14.65 | 0.69 | 0.03 | 0.00 | 0.50 | 100.04 | 1.291 | 142.1 | 3.539 | 4.893 | 4.88 | -13.5 | 107.09 |
| 12BarE87 | 48.50 | 0.26 | 17.76 | 10.03 | 0.18 | 10.76 | 11.01 | 0.92 | (0.00) | 0.00 | 0.90 | 100.32 | 0.964 | 95.1 | 3.957 | 4.189 | 4.38 | -12.8 | 161.51 |

Table 1. Cont.

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | P2O5 | LOI | Total | Nb | Ni | Pb | Y | Zr | Ba | V |
|----------------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 12BarE88 | 50.30 | 0.36 | 15.74 | 8.65 | 0.17 | 10.56 | 12.97 | 1.29 | 0.01 | 0.01 | 0.86 | 100.93 | 2.528 | 91.7 | 4.198 | 14.619 | 11.72 | 5.1 | 165.67 |
| 12Bar25 | 50.87 | 0.20 | 14.12 | 5.61 | 0.13 | 13.20 | 15.29 | 0.74 | (0.00) | 0.00 | 0.78 | 100.94 | 1.606 | 165.4 | 3.405 | 6.786 | 4.29 | -9.2 | 127.04 |
| Massive gabbrobronite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11BarE25 | 49.89 | 0.21 | 18.20 | 7.38 | 0.13 | 8.08 | 11.07 | 2.26 | 0.35 | 0.01 | 2.66 | 100.24 | 1.349 | 69.7 | 2.211 | 6.579 | 13.56 | 19 | 156.08 |
| 11BarE19 | 49.93 | 0.21 | 18.99 | 6.27 | 0.10 | 8.36 | 11.69 | 2.18 | 0.37 | 0.01 | 2.17 | 100.27 | 1.062 | 86.9 | 2.298 | 6.363 | 12.61 | 20.2 | 129.88 |
| 12BarE11 | 49.58 | 0.15 | 14.85 | 9.29 | 0.16 | 13.35 | 10.40 | 0.70 | 0.01 | 0.00 | 1.87 | 100.35 | 1.007 | 288 | 1.824 | 4.125 | 5.41 | -6 | 137.81 |
| 12BarE85 | 48.73 | 0.74 | 15.93 | 9.56 | 0.17 | 9.24 | 12.52 | 2.06 | 0.05 | 0.01 | 1.90 | 100.92 | 1.515 | 86.7 | 3.092 | 14.695 | 16.46 | 1.8 | 278.78 |
| 12Bar45 | 52.09 | 0.13 | 6.10 | 10.07 | 0.19 | 21.99 | 7.16 | 0.50 | 0.02 | 0.00 | 2.24 | 100.49 | 1.263 | 496.8 | 2.115 | 1.848 | 2.51 | -9.4 | 151.56 |
| 11BarE45 | 50.99 | 0.43 | 17.29 | 8.81 | 0.13 | 7.24 | 10.12 | 2.99 | 0.17 | 0.02 | 1.71 | 99.92 | 0.619 | 22.8 | 1.162 | 10.662 | 19.06 | 14.3 | 237.14 |
| 11BarE15 | 46.34 | 0.12 | 17.18 | 4.67 | 0.11 | 12.44 | 15.05 | 0.84 | (0.01) | 0.00 | 2.72 | 99.47 | 0.811 | 184.9 | 0.831 | 5.096 | 4.07 | -8.6 | 94.01 |
| 12BarE08 | 45.47 | 1.64 | 15.84 | 16.54 | 0.21 | 6.84 | 11.72 | 1.30 | 0.04 | 0.01 | 0.40 | 100.00 | 1.212 | 32.7 | 0.927 | 8.751 | 13.67 | 95.1 | 785.03 |
| 12BarE10 ⁴ | 50.61 | 0.21 | 12.54 | 8.17 | 0.16 | 14.10 | 12.93 | 0.73 | 0.00 | 0.00 | 1.32 | 100.77 | -0.318 | 281.9 | 1.938 | 5.2 | 3.59 | -7.4 | 197.4 |
| 12Bar15 | 48.50 | 0.16 | 17.14 | 7.69 | 0.17 | 14.14 | 9.72 | 0.97 | 0.00 | 0.00 | 0.65 | 99.14 | 0.678 | 167.6 | 1.673 | 2.236 | 3.27 | -14.7 | 62.87 |
| 12BarE18 | 51.33 | 0.31 | 12.73 | 9.19 | 0.16 | 13.10 | 12.06 | 1.16 | 0.02 | 0.00 | 0.61 | 100.68 | 1.868 | 280.5 | 1.171 | 9.161 | 7.05 | 22.4 | 227.72 |
| 12Bar42 | 50.79 | 0.27 | 15.80 | 6.92 | 0.14 | 11.51 | 12.48 | 1.13 | 0.26 | 0.01 | 1.10 | 100.39 | 1.419 | 235.6 | 2.52 | 11.274 | 8.25 | -3.9 | 235.91 |
| 12Bar44 | 52.58 | 0.19 | 5.28 | 13.82 | 0.27 | 22.78 | 5.17 | 0.35 | (0.00) | 0.00 | 0.41 | 100.85 | 1.519 | 494 | 0.764 | 3.249 | 2.59 | -10.7 | 183.42 |
| 12Bar48 | 48.27 | 0.11 | 14.09 | 6.25 | 0.19 | 12.44 | 17.39 | 0.63 | 0.02 | 0.00 | 1.22 | 100.61 | 1.868 | 162.9 | 2.102 | 3.927 | 3.87 | -2.3 | 134.2 |
| 12Bar57 | 51.11 | 0.30 | 16.90 | 8.63 | 0.16 | 8.77 | 12.46 | 1.21 | 0.07 | 0.01 | 1.16 | 100.77 | 1.524 | 68.7 | 2.407 | 8.48 | 11.12 | 9.3 | 213.82 |
| 12Bar60 | 51.20 | 0.23 | 11.35 | 7.31 | 0.15 | 16.03 | 12.97 | 0.73 | 0.00 | 0.00 | 1.01 | 100.98 | 0.636 | 324.8 | 2.035 | 7.251 | 4.54 | 2.2 | 156.13 |
| 11BarE20 | 53.06 | 0.33 | 11.92 | 7.53 | 0.13 | 11.73 | 9.19 | 3.17 | 0.18 | 0.03 | 2.21 | 99.48 | 1.354 | 257 | 1.349 | 16.439 | 27.1 | 14.2 | 181.63 |
| 12BarE12 | 50.71 | 0.24 | 14.46 | 8.25 | 0.14 | 10.96 | 14.26 | 1.10 | 0.00 | 0.00 | 0.76 | 100.89 | 1.912 | 176.9 | 2.231 | 7.943 | 4.47 | -9.3 | 206.91 |
| 12BarE84 | 47.71 | 1.19 | 15.38 | 13.75 | 0.26 | 9.90 | 10.13 | 1.59 | 0.00 | 0.00 | 0.71 | 100.64 | 1.579 | 64.2 | 3.374 | 10.067 | 10.49 | -3.2 | 418.15 |
| 11BarE16 | 48.57 | 0.69 | 15.64 | 10.03 | 0.15 | 9.43 | 12.03 | 1.98 | 0.00 | 0.00 | 1.06 | 99.57 | 1.782 | 152.4 | 1.672 | 7.052 | 6.22 | -3.6 | 229.16 |
| 11BarE66 | 47.39 | 0.48 | 17.25 | 11.89 | 0.18 | 8.41 | 12.97 | 1.18 | 0.02 | 0.00 | 0.11 | 99.87 | 1.151 | 70.1 | 1.487 | 4.748 | 3.19 | -5.6 | 376.53 |
| 12BarE06 | 49.76 | 0.38 | 17.53 | 9.06 | 0.18 | 8.49 | 13.07 | 1.53 | 0.01 | 0.00 | 100.00 | 200.00 | 0.67 | 32.8 | -0.391 | 20.471 | 23.62 | 6.6 | 360.48 |
| 12BarE07 | 49.39 | 0.38 | 17.40 | 9.99 | 0.17 | 8.43 | 12.98 | 1.51 | 0.01 | 0.00 | 0.45 | 100.71 | 0.942 | 73 | 3.391 | 5.341 | 3.94 | 10.1 | 270.78 |
| 12BarE10 ⁶ | 49.16 | 0.25 | 17.70 | 9.83 | 0.17 | 8.61 | 12.67 | 1.41 | 0.05 | 0.00 | 1.14 | 100.99 | 1.036 | 38.6 | 1.751 | 4.965 | 3.76 | -1.5 | 243.35 |
| Layered mela-gabbrobronite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10Sal36 | 41.81 | 0.10 | 14.14 | 7.22 | 0.10 | 21.38 | 9.34 | 0.43 | 0.03 | 0.01 | 4.91 | 99.46 | 1.067 | 781.5 | 0.533 | 2.979 | 5.76 | -15.4 | 45.97 |
| 12BarE15 | 46.92 | 0.15 | 7.04 | 13.11 | 0.20 | 23.80 | 6.55 | 0.38 | 0.02 | 0.00 | 2.17 | 100.34 | 0.302 | 1185.9 | 0.759 | 2.454 | 1.43 | -11.5 | 144.13 |
| 12BarE10 ⁵ | 49.75 | 0.16 | 7.46 | 11.68 | 0.20 | 22.01 | 5.46 | 0.34 | 0.01 | 0.00 | 3.08 | 100.16 | 0.892 | 1132.1 | 4.484 | 3.307 | 1.97 | 11 | 143.79 |
| 12Bar40b | 53.89 | 0.19 | 1.97 | 11.45 | 0.26 | 24.33 | 8.56 | 0.12 | (0.01) | 0.00 | 0.55 | 101.31 | 0.56 | 240.4 | 2.688 | 5.246 | 0.73 | -12.8 | 202.7 |

Table 1. Cont.

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | P2O5 | LOI | Total | Nb | Ni | Pb | Y | Zr | Ba | V |
|----------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Block gabbronorite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09Sal34 | 58.17 | 0.90 | 15.41 | 9.53 | 0.17 | 3.70 | 8.24 | 3.75 | 0.08 | 0.08 | 2.03 | 102.04 | 1.719 | 18.2 | 2.447 | 21.351 | 24.69 | -3.8 | 287.31 |
| 09Sal40 | 49.93 | 1.28 | 15.59 | 11.30 | 0.19 | 6.97 | 12.55 | 2.64 | 0.06 | 0.10 | 3.75 | 104.35 | 3.085 | 62.7 | 1.811 | 29.552 | 54.85 | 27.3 | 274.05 |
| 09Sal65a | 48.87 | 2.09 | 16.46 | 13.77 | 0.24 | 5.29 | 10.18 | 3.59 | 0.00 | 0.09 | 0.04 | 100.62 | 2.204 | 20.2 | 1.248 | 26.812 | 51.13 | 8.1 | 480.7 |
| 10Sal100b | 50.37 | 1.80 | 14.26 | 12.64 | 0.24 | 7.04 | 10.13 | 3.05 | 0.02 | 0.16 | 0.08 | 99.78 | 5.337 | 39.1 | -0.502 | 33.918 | 86.17 | 9.1 | 290.17 |
| 10Sal95 | 50.38 | 0.53 | 14.27 | 9.81 | 0.19 | 10.15 | 13.47 | 1.82 | 0.01 | 0.02 | 0.20 | 100.85 | 0.776 | 84.1 | 1.562 | 12.786 | 18.96 | 30.6 | 260.21 |
| 12BarE05 | 42.18 | 2.55 | 15.15 | 22.52 | 0.19 | 3.85 | 9.67 | 3.14 | 0.06 | 0.01 | 0.32 | 99.64 | 0.984 | 19.7 | 0.779 | 12.048 | 19.72 | -5.1 | 437.88 |
| Mafic hornfels | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11BarE76 | 48.90 | 1.17 | 15.12 | 10.29 | 0.19 | 8.84 | 10.93 | 2.92 | 0.11 | 0.10 | 1.05 | 99.63 | 2.987 | 124.1 | 1.388 | 30.948 | 94.06 | 24.2 | 232.59 |
| 11BarE77 | 50.55 | 1.27 | 15.53 | 10.27 | 0.19 | 7.24 | 10.27 | 3.51 | 0.08 | 0.11 | 0.83 | 99.85 | 3.284 | 83.2 | 2.068 | 30.411 | 95.61 | 32.1 | 252.8 |
| 11BarE79 | 48.72 | 1.29 | 15.42 | 10.76 | 0.21 | 7.80 | 10.94 | 3.38 | 0.04 | 0.10 | 1.01 | 99.66 | 2.985 | 65.2 | 3.105 | 31.752 | 82.22 | 16.6 | 264.26 |
| 11BarE80 | 48.06 | 1.25 | 16.53 | 10.62 | 0.17 | 7.95 | 10.82 | 3.56 | 0.07 | 0.10 | 0.64 | 99.76 | 3.526 | 82.1 | 2.581 | 29.809 | 78.88 | 13.9 | 245.47 |
| Sheeted dyke complex | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09Sal91 | 50.64 | 0.77 | 14.95 | 9.63 | 0.16 | 7.35 | 11.21 | 2.94 | 0.05 | 0.07 | 2.17 | 99.94 | 2.241 | 48.9 | 0.731 | 21.076 | 52.94 | -3.1 | 229.39 |
| 10Sal70 | 52.98 | 1.57 | 14.46 | 11.49 | 0.14 | 5.27 | 7.41 | 4.47 | 0.30 | 0.14 | 1.54 | 99.75 | 4 | 36.4 | 1.684 | 41.604 | 130.25 | 20.9 | 306.19 |
| 09sal13 | 49.64 | 1.38 | 16.12 | 10.73 | 0.17 | 7.37 | 10.18 | 4.03 | 0.03 | 0.12 | 2.98 | 102.74 | 3.555 | 40.8 | 0.377 | 33.807 | 92.33 | -11 | 280.17 |
| 09sal14 | 53.35 | 1.17 | 15.39 | 9.18 | 0.16 | 8.29 | 9.00 | 4.15 | 0.20 | 0.09 | 2.17 | 103.15 | 3.263 | 70.5 | 1.929 | 26.947 | 67.23 | 3 | 251.55 |
| 09sal15 | 52.02 | 1.02 | 16.10 | 9.35 | 0.18 | 8.29 | 9.71 | 3.48 | 0.17 | 0.07 | 2.12 | 102.51 | 2.517 | 86.2 | 1.256 | 26.165 | 65.98 | 2.3 | 233.75 |
| 09sal53 | 57.65 | 1.60 | 14.94 | 11.07 | 0.22 | 7.52 | 5.73 | 5.26 | 0.05 | 0.13 | 3.40 | 107.58 | 2.917 | 32.4 | 3.419 | 36.094 | 93.8 | -1.6 | 328.95 |
| 09sal55 | 56.83 | 2.20 | 13.33 | 12.95 | 0.30 | 5.18 | 6.09 | 5.37 | 0.09 | 0.16 | 1.31 | 103.80 | 4.407 | 1.2 | 1.687 | 39.383 | 104.97 | -13.2 | 435.76 |
| 09sal58 | 51.83 | 2.03 | 13.76 | 13.01 | 0.23 | 7.93 | 4.82 | 3.99 | 0.30 | 0.18 | 3.13 | 101.21 | 4.292 | 15.1 | 2.203 | 46.18 | 124.06 | 6.4 | 378.83 |
| 09sal59 | 53.30 | 1.82 | 13.92 | 12.28 | 0.15 | 6.36 | 5.59 | 4.76 | 0.40 | 0.16 | 2.11 | 100.85 | 3.629 | 16.3 | 1.753 | 40.287 | 108.28 | 17.1 | 359.89 |
| 09Sal61b | 51.86 | 0.64 | 17.02 | 8.27 | 0.21 | 7.53 | 9.34 | 3.85 | 0.18 | 0.05 | 1.62 | 100.58 | 1.343 | 85 | 2.369 | 15.31 | 47.66 | 27.2 | 185.66 |
| 09Sal81a | 50.22 | 0.75 | 16.44 | 8.46 | 0.13 | 7.63 | 12.04 | 2.56 | 0.09 | 0.07 | 1.31 | 99.70 | 1.701 | 99.8 | 0.109 | 20.629 | 53.45 | -3.2 | 197.32 |
| 09Sal81b | 50.43 | 0.93 | 15.86 | 9.55 | 0.13 | 7.28 | 11.04 | 3.01 | 0.10 | 0.08 | 1.53 | 99.93 | 1.83 | 51.4 | 0.9 | 22.955 | 56.28 | 4.2 | 245.08 |
| 09Sal82a | 47.49 | 0.75 | 15.98 | 10.02 | 0.13 | 7.74 | 14.06 | 1.82 | 0.07 | 0.01 | 0.92 | 98.99 | 0.827 | 75 | 0.602 | 12.509 | 16.44 | 3 | 320.94 |
| 09Sal82b | 47.23 | 0.71 | 16.16 | 9.88 | 0.14 | 7.58 | 14.54 | 1.73 | 0.08 | 0.01 | 0.99 | 99.06 | 0.847 | 73.2 | 0.713 | 13.193 | 16.11 | 21.6 | 313.36 |
| 09Sal83b | 49.10 | 0.89 | 17.38 | 8.32 | 0.07 | 6.65 | 13.94 | 2.24 | 0.06 | 0.08 | 0.76 | 99.50 | 3.254 | 84.3 | 1.954 | 23.028 | 64.89 | 12.5 | 206.8 |
| 09Sal88 | 52.00 | 1.04 | 15.90 | 9.60 | 0.06 | 6.12 | 11.13 | 3.89 | 0.09 | 0.08 | 0.38 | 100.29 | 2.182 | 24.3 | 0.682 | 23.269 | 60 | 5.4 | 305.89 |
| 09Sal91 | 51.73 | 0.66 | 16.80 | 8.26 | 0.13 | 6.65 | 12.06 | 3.13 | 0.08 | 0.07 | 0.36 | 99.92 | 2.272 | 60.7 | 1.967 | 24.595 | 39.42 | 11 | 179.35 |
| 09Sal60 | 51.21 | 2.08 | 14.30 | 14.26 | 0.25 | 6.18 | 8.35 | 3.87 | 0.14 | 0.18 | 4.55 | 105.37 | 3.995 | 14.5 | 1.649 | 47.035 | 123.28 | 22.6 | 390.63 |
| 09Sal90b | 51.82 | 1.11 | 16.26 | 9.66 | 0.10 | 6.18 | 10.67 | 3.94 | 0.12 | 0.08 | 2.05 | 101.99 | 1.525 | 28.4 | 0.099 | 24.944 | 59.66 | 5.8 | 300.21 |

Table 1. Cont.

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | P2O5 | LOI | Total | Nb | Ni | Pb | Y | Zr | Ba | V |
|-----------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|------|--------|
| 09Sal93 | 51.59 | 1.66 | 15.71 | 12.16 | 0.23 | 6.39 | 9.02 | 3.82 | 0.13 | 0.14 | 3.61 | 104.45 | 3.739 | 27.7 | 0.77 | 36.029 | 102.34 | 18.1 | 318.72 |
| 09Sal94 | 51.62 | 1.69 | 14.67 | 13.64 | 0.21 | 7.58 | 7.41 | 3.78 | 0.24 | 0.14 | 3.79 | 104.76 | 4.009 | 39.9 | 1.788 | 37.594 | 102.4 | 30.2 | 320.34 |
| 09Sal113 | 52.81 | 0.93 | 17.45 | 9.75 | 0.16 | 7.08 | 10.46 | 3.26 | 0.08 | 0.08 | 2.66 | 104.72 | 1.605 | 42.1 | 1.979 | 24.723 | 57.11 | 11.6 | 261.44 |
| Andesitic dykes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11BarE72 | 51.38 | 0.32 | 14.31 | 9.09 | 0.13 | 11.83 | 10.47 | 2.35 | 0.03 | 0.02 | 4.57 | 104.49 | 1.204 | 216.9 | 2.895 | 10.851 | 18.45 | 13.2 | 205.7 |
| 09sal51 | 57.09 | 0.75 | 14.90 | 8.88 | 0.16 | 5.85 | 4.06 | 5.79 | 0.05 | 0.06 | 2.51 | 100.09 | 1.838 | 38 | 2.63 | 24.434 | 50.05 | -3.5 | 280.63 |
| 09sal52 | 51.02 | 0.99 | 14.41 | 9.84 | 0.14 | 5.07 | 3.46 | 6.16 | 0.05 | 0.08 | 2.09 | 93.32 | 2.921 | 15.5 | 1.617 | 27.581 | 60.51 | 1.1 | 348.06 |
| 09sal54 | 53.67 | 0.88 | 14.73 | 9.43 | 0.15 | 5.92 | 3.18 | 6.03 | 0.10 | 0.08 | 2.42 | 96.61 | 2.468 | 24.3 | 2.554 | 26.823 | 62.28 | 4.9 | 298.4 |
| 09sal56 | 56.83 | 0.70 | 14.27 | 8.46 | 0.16 | 5.74 | 5.11 | 5.21 | 0.25 | 0.06 | 4.64 | 101.43 | 1.905 | 32.5 | 4.012 | 24.182 | 48.92 | 5.7 | 273.3 |
| 09sal57a | 59.08 | 1.05 | 14.86 | 9.18 | 0.14 | 4.39 | 3.49 | 7.20 | 0.06 | 0.08 | 1.73 | 101.24 | 3.086 | 12.1 | 2.178 | 28.836 | 61.96 | -6.6 | 375.75 |
| 09sal57b | 57.65 | 0.94 | 13.88 | 10.20 | 0.19 | 7.05 | 2.93 | 4.77 | 0.11 | 0.07 | 3.74 | 101.53 | 1.513 | 20.8 | 2.315 | 27.448 | 56.71 | 11.9 | 376.58 |

Table 2. Bulk rock trace element compositions by ICP-MS analysis

| (ppm) | Sc | V | Co | Zn | Ga | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Cs | Ba | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Hf | Ta | Pb | Th | U | |
|--------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|------|--------|-------|--------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Gabbro dyke | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12BarE01 | 40.31 | 636.18 | 40.25 | 38.43 | 16.33 | 2.58 | 128.25 | 9.41 | 10.56 | 0.17 | 0.02 | 12.04 | 0.38 | 1.18 | 0.21 | 1.32 | 0.60 | 0.29 | 1.00 | 0.20 | 1.41 | 0.34 | 1.01 | 0.16 | 0.99 | 0.16 | 0.33 | 0.01 | 0.23 | 0.04 | 0.02 | |
| 11BarE45 | 43.47 | 266.18 | 39.03 | 28.12 | 13.70 | 1.57 | 138.52 | 11.07 | 12.30 | 0.27 | 0.06 | 21.85 | 0.64 | 1.83 | 0.31 | 1.79 | 0.76 | 0.37 | 1.18 | 0.24 | 1.67 | 0.38 | 1.20 | 0.19 | 1.16 | 0.18 | 0.42 | 0.02 | 0.31 | 0.05 | 0.02 | |
| 10Sal35 | 39.94 | 218.15 | 31.18 | 5.92 | 12.48 | 2.54 | 306.51 | 11.28 | 18.31 | 0.25 | 0.02 | 10.17 | 0.47 | 1.45 | 0.25 | 1.56 | 0.73 | 0.26 | 1.21 | 0.23 | 1.67 | 0.39 | 1.17 | 0.18 | 1.15 | 0.18 | 0.56 | 0.02 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | |
| 12BarE11 | 33.61 | 118.54 | 46.63 | 68.57 | 10.57 | 0.24 | 88.50 | 4.22 | 3.10 | 0.05 | 0.00 | 3.59 | 0.15 | 0.45 | 0.08 | 0.51 | 0.24 | 0.17 | 0.41 | 0.09 | 0.61 | 0.15 | 0.48 | 0.08 | 0.53 | 0.09 | 0.10 | 0.01 | 0.15 | 0.01 | 0.02 | |
| 12BarE28 | 48.78 | 193.40 | 51.45 | 56.63 | 10.27 | 0.14 | 68.93 | 5.95 | 2.32 | 0.01 | 0.00 | 4.81 | 0.10 | 0.39 | 0.08 | 0.64 | 0.36 | 0.19 | 0.62 | 0.14 | 0.94 | 0.21 | 0.66 | 0.10 | 0.64 | 0.10 | 0.14 | 0.00 | 0.13 | 0.01 | 0.01 | |
| 10Sal34 | 41.40 | 142.16 | 31.26 | 26.08 | 11.28 | 3.60 | 192.25 | 6.93 | 6.08 | 0.09 | 0.03 | 47.59 | 0.23 | 0.76 | 0.12 | 0.83 | 0.43 | 0.24 | 0.72 | 0.15 | 1.06 | 0.25 | 0.76 | 0.11 | 0.74 | 0.11 | 0.21 | 0.01 | 0.33 | 0.02 | 0.02 | |
| 11BarE08 | 24.20 | 63.96 | 15.40 | 8.29 | 16.22 | 3.87 | 195.85 | 18.03 | 48.19 | 0.87 | 0.03 | 35.21 | 1.61 | 4.17 | 0.68 | 3.47 | 1.39 | 0.55 | 2.05 | 0.39 | 2.67 | 0.62 | 1.94 | 0.30 | 1.93 | 0.30 | 1.36 | 0.06 | 0.34 | 0.20 | 0.13 | |
| 12BarE22 | 37.49 | 126.95 | 29.77 | 21.88 | 14.72 | 2.60 | 480.61 | 5.77 | 10.34 | 0.16 | 0.02 | 17.78 | 0.32 | 0.87 | 0.14 | 0.82 | 0.36 | 0.21 | 0.60 | 0.12 | 0.85 | 0.20 | 0.61 | 0.10 | 0.63 | 0.10 | 0.32 | 0.01 | 0.11 | 0.04 | 0.04 | |
| Foliated gabbroonorite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11BarE17-1 | 44.74 | 116.78 | 36.72 | 32.27 | 10.25 | 0.32 | 75.65 | 4.66 | 2.03 | 0.02 | 0.01 | 9.59 | 0.13 | 0.46 | 0.09 | 0.60 | 0.30 | 0.19 | 0.49 | 0.11 | 0.74 | 0.17 | 0.50 | 0.08 | 0.49 | 0.07 | 0.09 | 0.00 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | |
| 12Bar25 | 50.79 | 144.99 | 32.10 | 21.48 | 9.75 | 0.11 | 73.31 | 6.38 | 2.86 | 0.02 | 0.00 | 4.55 | 0.13 | 0.50 | 0.10 | 0.74 | 0.36 | 0.22 | 0.69 | 0.14 | 1.00 | 0.23 | 0.67 | 0.11 | 0.62 | 0.09 | 0.11 | 0.00 | 0.12 | 0.01 | 0.01 | |
| 11BarE67 | 37.81 | 171.36 | 42.93 | 49.32 | 12.73 | 1.34 | 94.04 | 7.13 | 12.22 | 0.16 | 0.01 | 13.34 | 0.36 | 1.17 | 0.20 | 1.15 | 0.45 | 0.25 | 0.77 | 0.16 | 1.09 | 0.26 | 0.77 | 0.12 | 0.80 | 0.12 | 0.35 | 0.01 | 0.20 | 0.03 | 0.03 | |
| 12BarE87 | 30.37 | 140.65 | 48.07 | 58.42 | 13.78 | 0.23 | 90.30 | 3.80 | 2.78 | 0.04 | 0.01 | 4.17 | 0.21 | 0.58 | 0.08 | 0.50 | 0.19 | 0.21 | 0.37 | 0.07 | 0.53 | 0.14 | 0.45 | 0.08 | 0.53 | 0.09 | 0.08 | 0.00 | 0.18 | 0.01 | 0.01 | |
| 12BarE88 | 41.98 | 154.80 | 38.79 | 52.45 | 13.09 | 0.33 | 92.55 | 13.85 | 9.75 | 0.15 | 0.02 | 16.11 | 0.64 | 2.05 | 0.41 | 2.43 | 1.06 | 0.53 | 1.69 | 0.33 | 2.23 | 0.50 | 1.50 | 0.24 | 1.46 | 0.22 | 0.32 | 0.01 | 0.36 | 0.02 | 0.03 | |
| Massive gabbroonorite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12BarE12 | 51.40 | 232.76 | 48.81 | 143.06 | 13.08 | 0.14 | 107.50 | 7.85 | 2.01 | 0.01 | 0.01 | 1.90 | 0.14 | 0.54 | 0.11 | 0.92 | 0.48 | 0.28 | 0.88 | 0.17 | 1.24 | 0.28 | 0.84 | 0.13 | 0.83 | 0.13 | 0.12 | 0.00 | 0.18 | 0.00 | 0.01 | |
| 11BarE15 | 37.53 | 103.53 | 29.01 | 30.51 | 10.44 | 0.09 | 161.46 | 3.86 | 1.92 | 0.02 | 0.01 | 4.56 | 0.16 | 0.51 | 0.09 | 0.54 | 0.27 | 0.19 | 0.46 | 0.09 | 0.60 | 0.14 | 0.42 | 0.07 | 0.41 | 0.06 | 0.08 | 0.00 | 0.23 | 0.00 | 0.00 | |
| 12BarE18 | 40.16 | 236.04 | 48.91 | 65.07 | 10.93 | 0.31 | 149.36 | 8.75 | 3.82 | 0.01 | 0.01 | 22.70 | 0.23 | 0.78 | 0.16 | 1.10 | 0.56 | 0.30 | 0.95 | 0.19 | 1.36 | 0.32 | 0.91 | 0.15 | 0.94 | 0.15 | 0.18 | 0.00 | 0.25 | 0.01 | 0.02 | |
| 12BarE104 | 44.02 | 196.70 | 48.33 | 55.10 | 9.75 | 0.21 | 68.04 | 6.01 | 2.44 | 0.01 | 0.00 | 4.65 | 0.10 | 0.36 | 0.09 | 0.66 | 0.35 | 0.19 | 0.66 | 0.14 | 0.94 | 0.23 | 0.68 | 0.10 | 0.64 | 0.10 | 0.13 | 0.00 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | |
| 12BarE108 | 48.67 | 267.12 | 49.12 | 66.10 | 15.96 | 0.46 | 91.73 | 5.17 | 1.42 | 0.13 | 0.01 | 8.09 | 0.12 | 0.32 | 0.07 | 0.43 | 0.24 | 0.21 | 0.53 | 0.11 | 0.75 | 0.19 | 0.61 | 0.10 | 0.65 | 0.10 | 0.07 | 0.02 | 0.17 | 0.00 | 0.01 | |
| 11BarE16 | 43.04 | 219.35 | 48.34 | 59.16 | 14.60 | 0.14 | 161.76 | 7.15 | 1.80 | 0.00 | 0.00 | 4.17 | 0.08 | 0.38 | 0.08 | 0.69 | 0.46 | 0.33 | 0.87 | 0.17 | 1.22 | 0.26 | 0.76 | 0.11 | 0.68 | 0.10 | 0.14 | 0.00 | 0.29 | 0.01 | 0.01 | |
| 11BarE66 | 42.56 | 389.31 | 49.10 | 57.79 | 15.54 | 0.43 | 105.40 | 3.78 | 0.65 | 0.01 | 0.01 | 7.41 | 0.05 | 0.18 | 0.03 | 0.26 | 0.18 | 0.20 | 0.37 | 0.08 | 0.61 | 0.15 | 0.44 | 0.07 | 0.43 | 0.07 | 0.05 | 0.01 | 0.06 | 0.00 | 0.01 | |
| Layered mela gabbroonorite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12Bar40b | 74.68 | 213.04 | 78.64 | 96.27 | 2.97 | 0.11 | 5.65 | 5.13 | 1.75 | 0.01 | 0.00 | 0.64 | 0.04 | 0.22 | 0.05 | 0.36 | 0.24 | 0.10 | 0.46 | 0.10 | 0.76 | 0.18 | 0.55 | 0.09 | 0.60 | 0.09 | 0.09 | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.01 | |
| 10Sal36 | 12.46 | 40.24 | 79.55 | 45.50 | 7.24 | 0.56 | 88.11 | 3.27 | 4.75 | 0.04 | 0.12 | 5.12 | 0.19 | 0.65 | 0.11 | 0.64 | 0.27 | 0.15 | 0.42 | 0.08 | 0.49 | 0.11 | 0.34 | 0.05 | 0.32 | 0.05 | 0.14 | 0.00 | 0.15 | 0.01 | 0.01 | |
| 12BarE15 | 28.27 | 104.82 | 31.14 | 48.60 | 11.98 | 0.68 | 161.75 | 5.30 | 9.26 | 0.16 | 0.01 | 22.04 | 0.31 | 0.88 | 0.14 | 0.74 | 0.33 | 0.22 | 0.55 | 0.10 | 0.75 | 0.18 | 0.57 | 0.10 | 0.64 | 0.10 | 0.27 | 0.01 | 0.33 | 0.04 | 0.03 | |
| Block: gabbroonorite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09Sal34 | 32.09 | 298.03 | 31.39 | 62.61 | 16.99 | 0.32 | 110.47 | 24.74 | 24.56 | 0.76 | 0.01 | 26.11 | 1.36 | 4.15 | 0.74 | 4.39 | 1.83 | 0.87 | 2.82 | 0.57 | 3.82 | 0.87 | 2.66 | 0.41 | 2.56 | 0.40 | 0.78 | 0.05 | 0.30 | 0.03 | 0.03 | |
| 09Sal65a | 34.67 | 475.84 | 32.04 | 118.98 | 20.79 | 0.15 | 170.41 | 28.26 | 51.56 | 1.19 | 0.00 | 8.29 | 2.40 | 6.94 | 1.22 | 6.78 | 2.53 | 1.19 | 3.66 | 0.68 | 4.50 | 0.99 | 2.83 | 0.45 | 2.74 | 0.41 | 1.49 | 0.09 | 0.37 | 0.07 | 0.04 | |
| 10Sal95 | 41.14 | 264.17 | 37.64 | 119.87 | 12.42 | 0.13 | 87.66 | 13.99 | 18.79 | 0.33 | 0.00 | 35.12 | 0.72 | 2.09 | 0.38 | 2.11 | 0.92 | 0.42 | 1.57 | 0.30 | 2.15 | 0.50 | 1.47 | 0.23 | 1.45 | 0.23 | 0.59 | 0.03 | 0.31 | 0.06 | 0.05 | |
| 10Sal100b | 40.31 | 273.78 | 36.88 | 693.57 | 15.67 | 0.52 | 188.70 | 36.63 | 92.53 | 3.64 | 0.01 | 14.34 | 4.19 | 11.90 | 2.00 | 10.52 | 3.56 | 1.49 | 4.97 | 0.88 | 5.80 | 1.29 | 3.73 | 0.57 | 3.53 | 0.53 | 2.20 | 0.22 | 0.41 | 0.17 | 0.08 | |
| 12BarE05 | 30.84 | 422.86 | 52.96 | 150.04 | 23.49 | 0.40 | 179.58 | 13.82 | 17.95 | 0.31 | 0.00 | 13.43 | 0.75 | 2.28 | 0.45 | 2.80 | 1.20 | 0.65 | 1.90 | 0.36 | 2.26 | 0.49 | 1.44 | 0.21 | 1.26 | 0.20 | 0.58 | 0.02 | 0.67 | 0.01 | 0.02 | |
| 12BarE84 | 37.44 | 420.83 | 57.07 | 106.59 | 16.50 | 0.25 | 115.39 | 10.86 | 8.28 | 0.17 | 0.02 | 6.23 | 0.52 | 1.59 | 0.28 | 1.73 | 0.74 | 0.54 | 1.19 | 0.24 | 1.68 | 0.39 | 1.21 | 0.19 | 1.22 | 0.19 | 0.30 | 0.02 | 0.21 | 0.01 | 0.02 | |
| 12BarE06 | 40.20 | 368.71 | 47.77 | 137.34 | 19.77 | 0.32 | 180.77 | 22.81 | 22.93 | 0.45 | 0.01 | 10.87 | 1.07 | 3.24 | 0.69 | 4.23 | 1.96 | 0.97 | 2.85 | 0.55 | 3.72 | 0.81 | 2.36 | 0.35 | 2.06 | 0.31 | 0.81 | 0.04 | 0.59 | 0.01 | 0.01 | |
| Mafic hornfels | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11BarE76 | 36.78 | 238.30 | 43.67 | 39.53 | 16.79 | 1.03 | 152.24 | 33.17 | 106.41 | 2.49 | 0.01 | 28.51 | 4.20 | 12.04 | 1.92 | 9.82 | 3.28 | 1.14 | 4.39 | 0.80 | 5.24 | 1.14 | 3.42 | 0.52 | 3.15 | 0.48 | 2.60 | 0.18 | 0.40 | 0.28 | 0.12 | |
| 11BarE80 | 40.12 | 254.87 | 44.97 | 50.94 | 16.44 | 1.17 | 181.49 | 31.46 | 86.17 | 1.78 | 0.01 | 16.39 | 3.07 | 9.53 | 1.63 | 8.62 | 3.10 | 1.08 | 4.20 | 0.76 | 5.00 | 1.07 | 3.22 | 0.48 | 2.92 | 0.45 | 2.16 | 0.13 | 0.35 | 0.16 | 0.08 | |
| Eastern part of sheeted dyke complex | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09Sal53 | 33.83 | 337.44 | 35.28 | 188.45 | 18.60 | 0.84 | 67.71 | 39.15 | 110.20 | 2.47 | 0.00 | 8.71 | 4.31 | 12.65 | 2.14 | 11.19 | 3.73 | 1.41 | 5.16 | 0.93 | 6.08 | 1.32 | 3.98 | 0.59 | 3.64 | 0.55 | 2.71 | 0.17 | 0.35 | 0.26 | 0.12 | |
| 09Sal55 | 31.66 | 450.59 | 27.31 | 126.81 | 17.71 | 0.97 | 109.41 | 43.70 | 123.96 | 2.89 | 0.01 | 7.00 | 4.45 | 13.51 | 2.33 | 12.48 | 4.22 | 1.58 | 5.78 | 1.04 | 6.85 | 1.52 | 4.47 | 0.69 | 4.13 | 0.63 | 3.07 | 0.20 | 0.63 | 0.29 | 0.12 | |
| 09Sal93 | 36.16 | 348.33 | 36.33 | 72.78 | 18.51 | 0.83 | 267.43 | 40.00 | 115.78 | 2.84 | 0.01 | 24.53 | 4.21 | 12.55 | 2.15 | 11.01 | 3.78 | 1.50 | 5.29 | 0.97 | 6.23 | 1.37 | 4.01 | 0.62 | 3.71 | 0.57 | 2.84 | 0.19 | 0.31 | 0.26 | 0.10 | |
| Western part of the sheeted dykes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09Sal81a | 35.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Table 2. Cont.

| (ppm) | Sc | V | Co | Zn | Ga | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Cs | Ba | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Hf | Ta | Pb | Th | U |
|--|-------|--------|-------|--------|-------|------|--------|-------|--------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| doleritic dykes (intruded into the lasail-south complex) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09Sal13 | 39.69 | 279.54 | 36.19 | 93.75 | 16.86 | 0.12 | 170.35 | 34.90 | 106.28 | 2.99 | 0.01 | 3.47 | 4.44 | 12.64 | 2.11 | 10.79 | 3.49 | 1.29 | 4.65 | 0.84 | 5.50 | 1.20 | 3.52 | 0.53 | 3.29 | 0.49 | 2.55 | 0.21 | 0.39 | 0.28 | 0.11 |
| 09Sal14 | 33.44 | 234.02 | 36.64 | 69.06 | 12.95 | 1.35 | 152.06 | 27.60 | 72.71 | 1.64 | 0.08 | 18.69 | 2.65 | 8.27 | 1.42 | 7.68 | 2.61 | 0.90 | 3.62 | 0.66 | 4.43 | 0.97 | 2.86 | 0.44 | 2.69 | 0.41 | 1.83 | 0.12 | 0.23 | 0.16 | 0.07 |
| Andesitic dykes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09Sal56 | 34.31 | 266.02 | 31.27 | 94.02 | 14.38 | 1.53 | 114.53 | 24.49 | 54.98 | 1.05 | 0.02 | 20.69 | 1.86 | 5.35 | 0.92 | 4.86 | 1.88 | 0.67 | 2.84 | 0.53 | 3.59 | 0.83 | 2.59 | 0.40 | 2.51 | 0.39 | 1.51 | 0.08 | 0.61 | 0.16 | 0.10 |
| 09Sal57b | 31.33 | 342.58 | 25.40 | 182.11 | 15.12 | 0.68 | 78.97 | 27.08 | 60.95 | 1.21 | 0.01 | 14.16 | 2.79 | 7.43 | 1.20 | 6.09 | 2.17 | 0.72 | 3.14 | 0.60 | 3.98 | 0.93 | 2.83 | 0.44 | 2.77 | 0.44 | 1.70 | 0.09 | 0.89 | 0.18 | 0.13 |
| 09Sal52 | 33.92 | 337.36 | 31.12 | 94.76 | 16.64 | 0.76 | 61.81 | 29.72 | 69.74 | 1.40 | 0.01 | 8.22 | 2.44 | 6.94 | 1.19 | 6.34 | 2.28 | 0.81 | 3.39 | 0.64 | 4.35 | 0.99 | 3.02 | 0.47 | 2.97 | 0.47 | 1.87 | 0.10 | 0.23 | 0.20 | 0.16 |
| Upper gabbro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09BarY01 | 46.95 | 299.35 | 40.91 | 28.20 | 14.50 | 1.48 | 171.43 | 28.31 | 63.61 | 1.31 | 0.13 | 31.69 | 3.70 | 10.25 | 1.67 | 8.38 | 2.90 | 1.00 | 3.91 | 0.72 | 4.59 | 0.99 | 2.92 | 0.43 | 2.62 | 0.38 | 1.60 | 0.08 | 0.15 | 0.14 | 0.06 |
| 09BarY02 | 39.39 | 672.04 | 48.64 | 36.93 | 19.58 | 0.81 | 191.16 | 38.06 | 92.78 | 2.16 | 0.03 | 29.72 | 4.31 | 12.59 | 2.15 | 10.94 | 3.81 | 1.40 | 5.07 | 0.94 | 6.08 | 1.35 | 3.95 | 0.59 | 3.58 | 0.54 | 2.33 | 0.16 | 0.11 | 0.20 | 0.09 |
| 09BarY05 | 39.14 | 487.09 | 37.14 | 65.65 | 17.88 | 1.97 | 174.82 | 34.06 | 80.31 | 2.29 | 0.02 | 19.04 | 3.72 | 10.64 | 1.73 | 9.22 | 3.30 | 1.53 | 4.58 | 0.85 | 5.56 | 1.23 | 3.53 | 0.53 | 3.24 | 0.49 | 2.10 | 0.15 | 0.18 | 0.19 | 0.08 |
| 09BarY06 | 23.43 | 224.88 | 29.32 | 43.67 | 19.43 | 1.11 | 240.73 | 21.71 | 53.38 | 1.64 | 0.03 | 19.01 | 2.70 | 7.43 | 1.22 | 6.08 | 2.14 | 1.52 | 2.86 | 0.53 | 3.45 | 0.74 | 2.18 | 0.32 | 2.03 | 0.31 | 1.39 | 0.13 | 0.17 | 0.12 | 0.06 |
| 09BarY08 | 49.32 | 278.00 | 36.82 | 32.47 | 14.42 | 1.39 | 145.28 | 20.28 | 34.13 | 0.66 | 0.03 | 15.02 | 1.58 | 4.79 | 0.84 | 4.65 | 1.79 | 0.79 | 2.66 | 0.51 | 3.31 | 0.73 | 2.10 | 0.32 | 1.92 | 0.29 | 0.97 | 0.05 | 0.34 | 0.07 | 0.03 |
| 09BarY19 | 42.24 | 230.82 | 45.51 | 33.20 | 14.65 | 1.39 | 160.66 | 17.47 | 38.02 | 0.88 | 0.02 | 11.90 | 1.48 | 4.64 | 0.78 | 4.27 | 1.59 | 0.73 | 2.28 | 0.44 | 2.83 | 0.62 | 1.80 | 0.27 | 1.64 | 0.24 | 1.03 | 0.06 | 0.26 | 0.09 | 0.04 |
| 09BarY30 | 40.86 | 148.89 | 30.04 | 11.22 | 12.01 | 0.99 | 192.26 | 11.09 | 17.30 | 0.25 | 0.01 | 5.43 | 0.61 | 2.12 | 0.40 | 2.32 | 0.98 | 0.38 | 1.41 | 0.27 | 1.80 | 0.40 | 1.16 | 0.17 | 1.03 | 0.16 | 0.52 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.03 |
| 09BarY53 | 31.06 | 425.71 | 41.09 | 27.85 | 19.32 | 1.59 | 172.09 | 46.29 | 108.28 | 4.16 | 0.03 | 27.88 | 5.25 | 15.67 | 2.60 | 13.21 | 4.55 | 1.49 | 5.99 | 1.09 | 7.10 | 1.57 | 4.68 | 0.72 | 4.45 | 0.68 | 2.91 | 0.27 | 0.22 | 0.95 | 0.22 |

Table 3. Clinopyroxene trace element compositions by LA-ICP-MS analysis

| 濃度 (ppm) | Sc | V | Co | Zn | Ga | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Cs | Ba | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Hf | Ta | Pb | Th | U |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Barghah complex | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10Bar73 | 88.56 | 239.3 | 26.04 | 6.577 | 4.221 | 0.003 | 11.32 | 8.273 | 3.893 | 0.046 | 0.001 | 0.017 | 0.084 | 0.52 | 0.136 | 1.046 | 0.709 | 0.253 | 1.146 | 0.216 | 1.685 | 0.354 | 1.021 | 0.139 | 0.871 | 0.149 | 0.273 | 0.005 | 0.001 | 0.006 | 0.002 |
| 11Bar16 | 90.97 | 223.3 | 28.86 | 17.83 | 3.525 | 0.014 | 11.38 | 6.332 | 3.318 | 0.025 | -9E-04 | 0.01 | 0.103 | 0.48 | 0.132 | 0.926 | 0.435 | 0.208 | 0.83 | 0.168 | 1.127 | 0.257 | 0.752 | 0.112 | 0.682 | 0.088 | 0.192 | 0.002 | 0.012 | 0.016 | -0.004 |
| 11Bar20 | 103 | 216.4 | 23.75 | 9.596 | 3.514 | 0.009 | 10.07 | 10.36 | 7.206 | 0.041 | 0.003 | 0.019 | 0.179 | 0.748 | 0.182 | 1.323 | 0.622 | 0.235 | 1.218 | 0.216 | 1.77 | 0.36 | 1.033 | 0.153 | 0.931 | 0.148 | 0.311 | 0.006 | 0.008 | 0.005 | 0.002 |
| 11sal27 | 92.75 | 211.3 | 28.77 | 12.03 | 4.039 | 0.003 | 4.732 | 10.71 | 5.7 | 0.053 | -1E-04 | 0.01 | 0.213 | 0.906 | 0.203 | 1.779 | 0.794 | 0.339 | 1.666 | 0.295 | 2.142 | 0.456 | 1.309 | 0.179 | 1.048 | 0.168 | 0.333 | 0.003 | 0.008 | 0.019 | 9E-04 |
| 11sal48 | 70.16 | 173.1 | 25.88 | 14.92 | 3.053 | 0.003 | 10.55 | 6.752 | 3.73 | 0.03 | -7E-04 | 0.015 | 0.142 | 0.621 | 0.16 | 1.083 | 0.668 | 0.24 | 1.042 | 0.176 | 1.435 | 0.302 | 0.827 | 0.105 | 0.7 | 0.111 | 0.207 | -7E-04 | 0.013 | 0.001 | 0.009 |
| Lower wehrlitic intrusions | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12Sal10 | 102.3 | 264.5 | 33.7 | 17.88 | 4.357 | 4E-04 | 9.149 | 10 | 5.603 | 0.025 | -0.001 | 0.006 | 0.147 | 0.722 | 0.187 | 1.511 | 0.81 | 0.312 | 1.574 | 0.28 | 2.071 | 0.432 | 1.266 | 0.152 | 0.996 | 0.155 | 0.357 | -0.002 | 0.003 | 0.002 | -0.001 |
| 12Sal12 | 113.6 | 300.9 | 30.81 | 6.795 | 4.206 | 0.007 | 10.94 | 11.48 | 7.157 | 0.016 | -0.003 | 0.004 | 0.154 | 0.796 | 0.215 | 1.896 | 0.86 | 0.378 | 1.523 | 0.304 | 2.352 | 0.49 | 1.405 | 0.164 | 1.202 | 0.145 | 0.422 | 0.003 | -0.005 | -5E-04 | -7E-04 |
| 12Sal14 | 116.1 | 292.8 | 37.21 | 20.88 | 4.378 | 0.009 | 10.95 | 11.94 | 5.623 | 0.01 | 0.002 | -0.014 | 0.122 | 0.677 | 0.177 | 1.445 | 0.834 | 0.35 | 1.575 | 0.286 | 2.241 | 0.49 | 1.435 | 0.191 | 1.156 | 0.168 | 0.39 | -7E-04 | 0.01 | 0.003 | 0.002 |
| Moho Transition Zone | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11Sal04 | 103.6 | 266.8 | 17.94 | 2.105 | 2.952 | 0.003 | 2.93 | 10.85 | 3.356 | 0.032 | 0.001 | -1E-03 | 0.035 | 0.212 | 0.055 | 0.402 | 0.287 | 0.115 | 0.64 | 0.154 | 1.359 | 0.347 | 1.062 | 0.18 | 1.002 | 0.15 | 0.162 | 7E-04 | 0.005 | 0.002 | 8E-04 |
| 11sal06 | 97.66 | 260.1 | 17.74 | 3.102 | 3.01 | 0.082 | -2.773 | 19.12 | 3.989 | 0.058 | -4E-04 | 0.282 | 0.083 | 0.432 | 0.123 | 0.883 | 0.792 | 0.345 | 1.744 | 0.427 | 3.253 | 0.687 | 2.333 | 0.256 | 1.605 | 0.207 | 0.347 | -3E-04 | -0.004 | 0.022 | 7E-04 |

Table 4. Representative electron microprobe analyses of olivine (in wt%)

| | SiO ₂ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | NiO | Total | Fo |
|--|------------------|-------------------|------|-------|------|------|--------|-------|
| Wehrlitic intrusions | | | | | | | | |
| Northern transect of the Barghah complex | | | | | | | | |
| 11Bar11 | 40.16 | 9.36 | 0.13 | 50.19 | 0.00 | 0.27 | 100.11 | 90.5 |
| 11Bar12 | 39.19 | 10.46 | 0.15 | 48.15 | 0.02 | 0.24 | 99.59 | 89.0 |
| 11Bar13 | 40.01 | 9.97 | 0.13 | 50.08 | 0.04 | 0.28 | 100.51 | 90.0 |
| 11Bar15 | 39.97 | 11.19 | 0.17 | 48.70 | 0.04 | 0.27 | 100.34 | 88.6 |
| 11Bar16 | 39.12 | 12.32 | 0.18 | 48.01 | 0.02 | 0.20 | 99.85 | 87.4 |
| 11Bar17 | 40.15 | 9.24 | 0.13 | 50.32 | 0.02 | 0.31 | 100.17 | 90.6 |
| 11Bar18 | 39.93 | 10.11 | 0.14 | 49.88 | 0.01 | 0.32 | 100.41 | 89.8 |
| 11Bar20 | 40.04 | 9.79 | 0.13 | 50.34 | 0.02 | 0.31 | 100.64 | 90.2 |
| 11Bar21 | 40.01 | 9.75 | 0.13 | 49.95 | 0.06 | 0.32 | 100.23 | 90.1 |
| 10Bar73 | 40.26 | 10.17 | 0.14 | 49.56 | 0.05 | 0.27 | 100.45 | 89.7 |
| Southern margin of the Barghah complex | | | | | | | | |
| 11Sal26 | 39.75 | 11.58 | 0.15 | 48.22 | 0.02 | 0.20 | 99.91 | 88.1 |
| 11Sal27 | 39.87 | 10.69 | 0.16 | 49.38 | 0.02 | 0.25 | 100.37 | 89.2 |
| 11Sal28 | 40.07 | 11.10 | 0.20 | 49.16 | 0.03 | 0.29 | 100.84 | 88.7 |
| 11Sal29 | 39.87 | 10.73 | 0.14 | 49.11 | 0.05 | 0.30 | 100.19 | 89.1 |
| 11Sal30 | 39.85 | 10.10 | 0.17 | 49.11 | 0.04 | 0.33 | 99.59 | 89.7 |
| 10Sal124 | 40.33 | 10.00 | 0.13 | 50.09 | 0.02 | 0.36 | 100.93 | 89.9 |
| 10Sal126 | 40.05 | 11.31 | 0.15 | 48.69 | 0.03 | 0.24 | 100.46 | 88.5 |
| 10Sal127 | 39.92 | 12.73 | 0.23 | 47.72 | 0.03 | 0.21 | 100.83 | 87.0 |
| Lower-wehrlite intrusions | | | | | | | | |
| 11Sal32 | 40.47 | 9.11 | 0.21 | 50.62 | 0.04 | 0.26 | 100.70 | 90.8 |
| 11Sal34 | 39.25 | 14.63 | 0.18 | 45.32 | 0.01 | 0.28 | 99.66 | 84.7 |
| 11Sal35 | 39.99 | 10.78 | 0.12 | 49.00 | 0.02 | 0.13 | 100.04 | 89.0 |
| 11Sal48 | 40.50 | 11.07 | 0.09 | 48.97 | 0.01 | 0.21 | 100.86 | 88.8 |
| 11Sal49 | 40.23 | 10.35 | 0.15 | 48.87 | 0.02 | 0.31 | 99.92 | 89.4 |
| 11Sal50 | 40.70 | 10.63 | 0.10 | 49.28 | 0.00 | 0.23 | 100.94 | 89.2 |
| Moho transition zone | | | | | | | | |
| 11Sal04 | 40.71 | 9.93 | 0.14 | 50.03 | 0.02 | 0.31 | 101.15 | 90.0 |
| 11Sal06 | 40.44 | 9.02 | 0.11 | 50.06 | 0.07 | 0.24 | 99.94 | 90.8 |
| 11Sal15 | 40.80 | 8.88 | 0.09 | 50.28 | 0.18 | 0.29 | 100.52 | 91.0 |
| 11Sal18 | 40.92 | 7.23 | 0.16 | 50.03 | 0.05 | 0.44 | 98.83 | 92.5 |
| 11Sal19 | 40.40 | 9.88 | 0.15 | 49.79 | 0.09 | 0.26 | 100.57 | 90.0 |
| 11Sal20 | 40.83 | 8.80 | 0.13 | 51.21 | 0.15 | 0.36 | 101.48 | 91.2 |
| 11Sal21 | 40.82 | 9.45 | 0.15 | 50.79 | 0.12 | 0.27 | 101.61 | 90.5 |
| 10HanE02 | 40.60 | 7.44 | 0.10 | 50.89 | 0.03 | 0.38 | 99.43 | 92.4 |
| 10HanE03a | 40.28 | 10.86 | 0.15 | 48.97 | 0.03 | 0.23 | 100.52 | 88.9 |
| 10HanE03b | 40.59 | 9.87 | 0.16 | 49.72 | 0.05 | 0.32 | 100.72 | 90.0 |
| 09HanE11 | 41.07 | 8.61 | 0.10 | 51.41 | 0.12 | 0.34 | 101.64 | 91.4 |
| 09HanE15 | 40.42 | 10.06 | 0.12 | 49.51 | 0.03 | 0.26 | 100.39 | 89.8 |
| 09HanE16 | 40.18 | 12.08 | 0.19 | 47.70 | 0.10 | 0.14 | 100.23 | 87.6 |
| Lasail-south complex | | | | | | | | |
| Layered melagabbro | | | | | | | | |
| 09Sal27 core | 39.52 | 15.88 | 0.21 | 45.52 | 0.04 | 0.19 | 101.37 | 83.64 |
| rim | 39.34 | 16.21 | 0.16 | 45.50 | 0.07 | 0.16 | 101.44 | 83.37 |
| 09Sal38 | 39.04 | 15.86 | 0.21 | 44.54 | 0.04 | 0.21 | 99.89 | 83.35 |
| rim | 39.28 | 16.08 | 0.22 | 44.79 | 0.01 | 0.22 | 100.59 | 83.24 |

Table 4. Cont.

| | SiO ₂ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | NiO | Total | Fo |
|---------------|------------------|-------------------|------|-------|------|------|--------|-------|
| 09sal39 core | 39.62 | 16.10 | 0.18 | 45.86 | 0.05 | 0.23 | 102.03 | 83.56 |
| rim | 39.40 | 16.41 | 0.18 | 45.79 | 0.04 | 0.24 | 102.06 | 83.29 |
| 09Sal44 | 39.56 | 15.53 | 0.25 | 44.90 | 0.10 | 0.24 | 100.58 | 83.77 |
| rim | 39.55 | 15.47 | 0.28 | 44.93 | 0.11 | 0.22 | 100.55 | 83.80 |
| 09Sal44b core | 39.44 | 15.81 | 0.23 | 45.47 | 0.10 | 0.20 | 101.25 | 83.68 |
| rim | 39.53 | 15.51 | 0.22 | 45.55 | 0.08 | 0.18 | 101.07 | 83.98 |
| 09sal46 core | 39.28 | 16.01 | 0.21 | 45.20 | 0.10 | 0.15 | 100.95 | 83.43 |
| rim | 39.26 | 16.15 | 0.26 | 45.29 | 0.09 | 0.15 | 101.18 | 83.35 |
| 09Sal49 | 38.53 | 21.49 | 0.34 | 41.30 | 0.07 | 0.04 | 101.77 | 77.39 |
| rim | 38.60 | 21.12 | 0.35 | 41.52 | 0.07 | 0.05 | 101.72 | 77.78 |
| 09Sal50 core | 38.68 | 23.06 | 0.34 | 41.16 | 0.08 | 0.10 | 103.42 | 76.10 |
| rim | 38.72 | 22.95 | 0.30 | 41.10 | 0.05 | 0.11 | 103.22 | 76.14 |
| 09Sal66 core | 39.97 | 13.13 | 0.23 | 47.80 | 0.11 | 0.14 | 101.38 | 86.65 |
| rim | 40.02 | 13.08 | 0.19 | 47.85 | 0.10 | 0.13 | 101.38 | 86.68 |
| 09Sal70 core | 39.81 | 13.23 | 0.11 | 48.06 | 0.07 | 0.21 | 101.49 | 86.60 |
| rim | 39.96 | 13.09 | 0.14 | 48.21 | 0.05 | 0.21 | 101.65 | 86.75 |
| 09Sal95 core | 39.42 | 15.40 | 0.26 | 45.90 | 0.11 | 0.20 | 101.29 | 84.16 |
| rim | 39.55 | 15.41 | 0.24 | 45.95 | 0.09 | 0.20 | 101.44 | 84.18 |
| 10Sal53 core | 39.54 | 13.50 | 0.20 | 47.84 | 0.13 | 0.23 | 101.43 | 86.35 |
| rim | 39.45 | 13.53 | 0.19 | 47.43 | 0.09 | 0.24 | 100.93 | 86.25 |
| 10Sal57 core | 39.97 | 12.24 | 0.17 | 48.19 | 0.21 | 0.21 | 101.00 | 87.50 |
| rim | 40.02 | 12.35 | 0.18 | 48.15 | 0.22 | 0.22 | 101.13 | 87.44 |
| 10Sal59 core | 39.94 | 12.98 | 0.18 | 47.79 | 0.07 | 0.20 | 101.16 | 86.78 |
| rim | 40.10 | 13.06 | 0.18 | 47.91 | 0.07 | 0.20 | 101.54 | 86.74 |
| 10Sal61 core | 39.44 | 13.50 | 0.20 | 46.92 | 0.10 | 0.22 | 100.37 | 86.10 |
| rim | 39.61 | 13.59 | 0.20 | 47.01 | 0.10 | 0.22 | 100.73 | 86.06 |
| 10Sal63 core | 39.41 | 14.66 | 0.18 | 45.62 | 0.01 | 0.21 | 100.09 | 84.73 |
| rim | 39.46 | 14.50 | 0.19 | 45.59 | 0.01 | 0.22 | 99.97 | 84.84 |
| 11BarE03 core | 39.88 | 15.50 | 0.26 | 46.45 | 0.06 | 0.21 | 102.36 | 84.24 |
| rim | 39.75 | 15.36 | 0.24 | 46.23 | 0.06 | 0.22 | 101.86 | 84.30 |
| 11BarE07 core | 39.20 | 17.81 | 0.25 | 43.94 | 0.06 | 0.24 | 101.49 | 81.46 |
| rim | 39.12 | 17.73 | 0.24 | 43.98 | 0.05 | 0.24 | 101.35 | 81.59 |
| 11BarE21 core | 39.93 | 14.25 | 0.16 | 47.10 | 0.05 | 0.17 | 101.67 | 85.46 |
| rim | 39.91 | 14.27 | 0.18 | 47.20 | 0.04 | 0.17 | 101.77 | 85.50 |
| 11BarE22a | 40.15 | 13.93 | 0.18 | 47.41 | 0.05 | 0.16 | 101.87 | 85.85 |
| rim | 40.30 | 13.88 | 0.19 | 47.54 | 0.04 | 0.18 | 102.13 | 85.92 |
| 12Bar02 core | 39.74 | 15.15 | 0.22 | 45.04 | 0.11 | 0.32 | 100.59 | 84.12 |
| rim | 39.73 | 15.12 | 0.22 | 45.29 | 0.11 | 0.34 | 100.81 | 84.22 |
| 12Bar03 core | 39.63 | 14.37 | 0.24 | 46.31 | 0.08 | 0.15 | 100.78 | 85.15 |
| rim | 39.69 | 13.95 | 0.20 | 46.32 | 0.09 | 0.15 | 100.41 | 85.55 |
| 12Bar10 core | 40.02 | 14.41 | 0.19 | 46.45 | 0.09 | 0.09 | 101.25 | 85.18 |
| rim | 40.12 | 14.34 | 0.16 | 46.52 | 0.09 | 0.10 | 101.34 | 85.26 |
| 12Bar26 | 39.76 | 15.00 | 0.20 | 46.07 | 0.09 | 0.29 | 101.40 | 84.57 |
| rim | 40.01 | 14.92 | 0.23 | 46.44 | 0.09 | 0.20 | 101.89 | 84.73 |
| 12Bar26 | 39.17 | 15.29 | 0.12 | 45.77 | 0.11 | 0.27 | 100.73 | 84.20 |
| rim | 39.89 | 15.03 | 0.12 | 45.82 | 0.12 | 0.32 | 101.30 | 84.50 |
| 12Bar37 core | 40.05 | 12.61 | 0.13 | 47.41 | 0.06 | 0.31 | 100.57 | 87.02 |
| rim | 40.02 | 12.79 | 0.12 | 47.45 | 0.06 | 0.32 | 100.77 | 86.86 |
| 12Bar38 core | 40.07 | 13.87 | 0.20 | 47.19 | 0.10 | 0.22 | 101.65 | 85.83 |
| rim | 40.08 | 13.83 | 0.20 | 47.20 | 0.09 | 0.26 | 101.65 | 85.88 |

Table 4. Cont.

| | SiO ₂ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | NiO | Total | Fo |
|-----------------------|------------------|-------------------|------|-------|------|------|--------|-------|
| 12Bar41 core | 38.99 | 17.85 | 0.30 | 43.45 | 0.10 | 0.25 | 100.94 | 81.29 |
| rim | 39.01 | 17.70 | 0.31 | 43.56 | 0.08 | 0.25 | 100.90 | 81.43 |
| 12Bar43 core | 39.55 | 16.79 | 0.25 | 44.68 | 0.11 | 0.36 | 101.73 | 82.59 |
| rim | 39.02 | 16.87 | 0.27 | 43.62 | 0.09 | 0.35 | 100.23 | 82.14 |
| 12Bar50 | 40.07 | 13.71 | 0.13 | 46.73 | 0.07 | 0.42 | 101.14 | 85.86 |
| rim | 40.00 | 13.64 | 0.14 | 46.74 | 0.06 | 0.43 | 101.01 | 85.93 |
| 12BarE04 | 40.18 | 11.90 | 0.17 | 46.99 | 0.05 | 0.24 | 99.54 | 87.54 |
| rim | 40.01 | 11.75 | 0.16 | 46.73 | 0.05 | 0.23 | 98.93 | 87.62 |
| 12BarE16 core | 40.08 | 14.03 | 0.19 | 46.48 | 0.11 | 0.37 | 101.26 | 85.52 |
| rim | 40.37 | 13.98 | 0.20 | 46.60 | 0.10 | 0.35 | 101.61 | 85.60 |
| 12BarE17 core | 38.96 | 19.13 | 0.24 | 42.11 | 0.09 | 0.41 | 100.95 | 79.70 |
| rim | 39.07 | 18.62 | 0.24 | 42.39 | 0.07 | 0.38 | 100.76 | 80.24 |
| 12BarE21 core | 39.73 | 14.13 | 0.13 | 46.26 | 0.08 | 0.24 | 100.58 | 85.38 |
| rim | 39.91 | 13.94 | 0.14 | 46.30 | 0.07 | 0.24 | 100.60 | 85.56 |
| 12BarE27 core | 39.81 | 12.44 | 0.10 | 47.05 | 0.06 | 0.31 | 99.78 | 87.08 |
| rim | 39.85 | 12.45 | 0.13 | 47.18 | 0.07 | 0.29 | 99.96 | 87.10 |
| 12BarE30 core | 40.32 | 11.21 | 0.13 | 48.70 | 0.10 | 0.16 | 100.61 | 88.57 |
| rim | 40.29 | 11.26 | 0.12 | 48.78 | 0.10 | 0.15 | 100.71 | 88.57 |
| 12Bar34 core | 39.45 | 16.92 | 0.21 | 44.62 | 0.11 | 0.20 | 101.49 | 82.46 |
| rim | 39.37 | 16.96 | 0.20 | 44.54 | 0.08 | 0.17 | 101.31 | 82.39 |
| 12BarE52 core | 38.88 | 19.55 | 0.23 | 42.05 | 0.05 | 0.26 | 101.01 | 79.32 |
| rim | 39.01 | 19.43 | 0.22 | 42.11 | 0.04 | 0.27 | 101.07 | 79.44 |
| 12BarE78 core | 39.51 | 15.11 | 0.22 | 45.93 | 0.05 | 0.19 | 101.00 | 84.43 |
| rim | 39.45 | 14.89 | 0.22 | 45.81 | 0.03 | 0.20 | 100.60 | 84.57 |
| 12BarE81 core | 38.25 | 22.37 | 0.20 | 39.56 | 0.11 | 0.30 | 100.80 | 75.91 |
| rim | 38.18 | 22.21 | 0.19 | 39.71 | 0.08 | 0.33 | 100.69 | 76.11 |
| 12BarE98 core | 40.07 | 12.58 | 0.23 | 47.26 | 0.05 | 0.18 | 100.37 | 87.00 |
| rim | 40.03 | 12.34 | 0.21 | 47.16 | 0.04 | 0.18 | 99.97 | 87.20 |
| 12BarE100 | 39.33 | 15.01 | 0.19 | 46.10 | 0.02 | 0.27 | 100.92 | 84.57 |
| rim | 39.29 | 14.89 | 0.20 | 45.90 | 0.02 | 0.25 | 100.54 | 84.60 |
| Foliated gabbronorite | | | | | | | | |
| 09Sal22 core | 38.60 | 18.86 | 0.27 | 42.59 | 0.07 | 0.21 | 100.60 | 80.11 |
| rim | 38.47 | 18.63 | 0.27 | 42.47 | 0.05 | 0.17 | 100.06 | 80.26 |
| 09Sal25 core | 38.93 | 19.22 | 0.31 | 42.57 | 0.09 | 0.18 | 101.30 | 79.80 |
| rim | 38.87 | 19.39 | 0.29 | 42.85 | 0.09 | 0.19 | 101.67 | 79.77 |
| 12BarE53 core | 38.97 | 19.20 | 0.25 | 42.18 | 0.06 | 0.29 | 100.95 | 79.67 |
| rim | 39.06 | 19.20 | 0.23 | 42.29 | 0.05 | 0.30 | 101.13 | 79.70 |
| 12BarE57 core | 39.39 | 16.97 | 0.25 | 43.60 | 0.12 | 0.24 | 100.57 | 82.08 |
| rim | 39.56 | 17.10 | 0.22 | 43.81 | 0.09 | 0.27 | 101.05 | 82.04 |
| Massive gabbronorite | | | | | | | | |
| 09Sal99 core | 38.73 | 17.94 | 0.20 | 43.84 | 0.12 | 0.21 | 101.04 | 81.33 |
| rim | 38.73 | 17.66 | 0.21 | 43.91 | 0.12 | 0.26 | 100.89 | 81.60 |
| 10Sal86 core | 38.68 | 18.53 | 0.31 | 42.44 | 0.07 | 0.18 | 100.21 | 80.30 |
| rim | 38.63 | 18.20 | 0.33 | 42.41 | 0.07 | 0.20 | 99.84 | 80.58 |

Table 5. Representative electron microprobe analyses of clinopyroxene (in wt%)

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | Total | Mg# |
|---|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|---------|--------|
| Wehrlitic intrusions | | | | | | | | | | | |
| Northern transect of the Barghah complex | | | | | | | | | | | |
| 11Bar12 | 51.69 | 0.33 | 2.88 | 0.94 | 3.16 | 0.05 | 17.93 | 21.55 | 0.32 | 98.86 | 0.910 |
| 11Bar13 | 51.86 | 0.38 | 2.84 | 1.13 | 2.57 | 0.08 | 16.61 | 23.80 | 0.43 | 99.70 | 0.920 |
| 11Bar16 | 52.00 | 0.24 | 3.02 | 0.96 | 3.61 | 0.10 | 17.36 | 22.62 | 0.24 | 100.14 | 0.896 |
| 11Bar17 | 52.22 | 0.30 | 2.71 | 1.15 | 2.67 | 0.07 | 18.02 | 22.88 | 0.37 | 100.39 | 0.923 |
| 11Bar18 | 51.95 | 0.28 | 2.89 | 1.14 | 2.60 | 0.03 | 17.30 | 23.71 | 0.34 | 99.77 | 0.908 |
| 11Bar20 | 51.39 | 0.26 | 2.81 | 1.12 | 2.84 | 0.01 | 16.88 | 23.58 | 0.31 | 99.31 | 0.914 |
| 11Bar21 | 50.92 | 0.24 | 2.82 | 1.21 | 2.73 | 0.02 | 16.63 | 23.63 | 0.37 | 98.57 | 0.915 |
| 10Bar73 | 51.53 | 0.26 | 3.03 | 1.08 | 2.83 | 0.07 | 17.12 | 22.89 | 0.34 | 99.16 | 0.915 |
| South margin of the Barghah complex | | | | | | | | | | | |
| 11Sal26 | 51.34 | 0.27 | 2.95 | 1.04 | 3.26 | 0.06 | 17.21 | 22.64 | 0.26 | 99.02 | 0.904 |
| 11Sal27 | 51.49 | 0.34 | 2.89 | 1.10 | 3.10 | 0.07 | 17.50 | 22.04 | 0.34 | 98.88 | 0.910 |
| 11Sal28 | 51.71 | 0.27 | 2.80 | 1.07 | 3.27 | 0.11 | 17.42 | 22.69 | 0.33 | 99.66 | 0.905 |
| 11Sal29 | 50.64 | 0.32 | 3.81 | 1.41 | 2.97 | 0.04 | 16.75 | 22.92 | 0.29 | 99.14 | 0.910 |
| 11Sal30 | 50.97 | 0.37 | 3.76 | 1.29 | 2.86 | 0.08 | 17.11 | 22.17 | 0.33 | 98.93 | 0.915 |
| 10Sal124 | 51.66 | 0.27 | 3.11 | 1.13 | 2.95 | 0.09 | 17.41 | 22.64 | 0.26 | 99.52 | 0.913 |
| 10Sal126 | 51.39 | 0.44 | 2.63 | 1.02 | 3.34 | 0.07 | 17.53 | 21.98 | 0.30 | 98.71 | 0.903 |
| 10Sal127 | 51.71 | 0.44 | 2.79 | 0.94 | 3.41 | 0.09 | 17.45 | 22.22 | 0.30 | 99.35 | 0.901 |
| Lower-wehrlitic intrusions | | | | | | | | | | | |
| 11Sal32 | 51.40 | 0.26 | 3.11 | 1.26 | 2.47 | 0.12 | 17.03 | 23.34 | 0.27 | 99.27 | 0.925 |
| 11Sal34 | 50.98 | 0.38 | 2.87 | 0.92 | 3.61 | 0.09 | 16.56 | 22.34 | 0.26 | 99.05 | 0.864 |
| 11Sal35 | 51.29 | 0.32 | 3.11 | 0.98 | 3.40 | 0.08 | 17.11 | 22.57 | 0.30 | 99.15 | 0.900 |
| 11Sal48 | 52.40 | 0.21 | 2.70 | 1.23 | 3.02 | 0.02 | 17.54 | 21.26 | 0.28 | 98.66 | 0.912 |
| 11Sal49 | 51.87 | 0.20 | 2.79 | 1.02 | 3.05 | 0.10 | 17.32 | 22.65 | 0.33 | 99.28 | 0.910 |
| Moho transition zone | | | | | | | | | | | |
| 11Sal04 | 52.40 | 0.19 | 2.72 | 1.24 | 2.60 | 0.11 | 17.60 | 22.98 | 0.27 | 100.13 | 0.923 |
| 11Sal06 | 51.94 | 0.27 | 2.79 | 1.18 | 2.24 | 0.04 | 16.57 | 23.98 | 0.42 | 99.41 | 0.930 |
| 11Sal18 | 52.01 | 0.32 | 2.91 | 1.27 | 1.85 | 0.11 | 16.80 | 23.01 | 0.67 | 98.95 | 0.942 |
| 10HanE03a | 51.41 | 0.37 | 2.78 | 0.86 | 3.71 | 0.12 | 16.87 | 22.56 | 0.29 | 98.96 | 0.891 |
| 09HanE15 | 52.21 | 0.15 | 2.84 | 1.16 | 3.34 | 0.08 | 18.89 | 20.92 | 0.11 | 99.70 | 0.911 |
| 09HanE16 | 52.20 | 0.18 | 2.92 | 0.94 | 3.08 | 0.10 | 16.77 | 23.58 | 0.32 | 100.08 | 0.907 |
| Lasail-south complex | | | | | | | | | | | |
| Layered melagabbro | | | | | | | | | | | |
| 09Sal27 core | 52.135 | 0.2088 | 2.1505 | 0.6464 | 4.8281 | 0.0674 | 17.522 | 22.01 | 0.2736 | 99.841 | 0.8664 |
| rim | 51.975 | 0.2493 | 2.3032 | 0.6978 | 4.7538 | 0.0901 | 17.665 | 21.644 | 0.2692 | 99.647 | 0.8688 |
| 09Sal38 | 52.55 | 0.2833 | 1.708 | 0.521 | 4.1137 | 0.1153 | 17.641 | 21.573 | 0.2097 | 98.7153 | 0.8843 |
| rim | 51.846 | 0.4077 | 2.2053 | 0.6913 | 4.8267 | 0.1447 | 17.506 | 20.756 | 0.2683 | 98.6527 | 0.866 |
| 09sal39 core | 52.386 | 0.1123 | 1.7327 | 0.6517 | 4.3493 | 0.1023 | 17.971 | 22.158 | 0.2763 | 99.74 | 0.88 |
| rim | 52.822 | 0.286 | 1.734 | 0.6848 | 4.0805 | 0.0865 | 17.897 | 22.806 | 0.2568 | 100.653 | 0.8873 |
| 09Sal44 | 52.855 | 0.1939 | 1.8802 | 0.6919 | 4.513 | 0.1938 | 17.423 | 21.932 | 0.2951 | 99.9774 | 0.8731 |
| rim | 52.798 | 0.1976 | 1.9478 | 0.7217 | 4.4178 | 0.2157 | 17.422 | 21.959 | 0.2613 | 99.9406 | 0.8754 |
| 09Sal44b | 52.593 | 0.0963 | 1.8543 | 0.5728 | 4.3587 | 0.1241 | 17.856 | 21.178 | 0.2391 | 98.8722 | 0.8795 |
| rim | 52.4 | 0.1715 | 1.9943 | 0.6118 | 4.5974 | 0.1443 | 17.669 | 21.081 | 0.2648 | 98.9334 | 0.8727 |
| 09Sal46 core | 52.292 | 0.2954 | 1.9298 | 0.6072 | 4.6066 | 0.1408 | 17.609 | 20.769 | 0.2766 | 98.527 | 0.8722 |
| rim | 52.188 | 0.3663 | 1.9974 | 0.5869 | 4.6339 | 0.133 | 17.178 | 21.288 | 0.3959 | 98.767 | 0.8689 |
| 09Sal49 core | 51.864 | 0.2808 | 2.4198 | 0.4633 | 5.433 | 0.1975 | 17.125 | 21.898 | 0.2595 | 99.9408 | 0.85 |
| rim | 52.004 | 0.2685 | 2.3663 | 0.5745 | 5.6298 | 0.1805 | 17.093 | 21.626 | 0.2995 | 100.042 | 0.844 |

Table 5. Cont.

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | Total | Mg# |
|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|---------|--------|
| 09Sal50 core | 52.134 | 0.4072 | 2.9108 | 0.836 | 5.1757 | 0.0953 | 17.63 | 21.304 | 0.2712 | 100.765 | 0.8593 |
| rim | 52.226 | 0.5834 | 2.3244 | 0.3892 | 6.0448 | 0.1534 | 17.135 | 21.2 | 0.3114 | 100.367 | 0.8346 |
| 09sal66 core | 52.804 | 0.0891 | 1.9465 | 0.7293 | 4.0346 | 0.1512 | 18.44 | 21.651 | 0.1855 | 100.032 | 0.8905 |
| rim | 52.609 | 0.1349 | 2.0871 | 0.6866 | 4.0625 | 0.1432 | 18.216 | 21.7 | 0.2141 | 99.8529 | 0.8887 |
| 09Sal70 core | 52.393 | 0.1326 | 2.0678 | 0.6043 | 4.0554 | 0.0648 | 18.32 | 21.978 | 0.2053 | 99.8213 | 0.8894 |
| rim | 52.297 | 0.1761 | 2.1596 | 0.6714 | 3.9144 | 0.0843 | 18.154 | 22.024 | 0.2336 | 99.7149 | 0.8922 |
| 09sal95 core | 52.552 | 0.287 | 2.411 | 0.818 | 4.121 | 0.188 | 18.221 | 21.544 | 0.197 | 100.339 | 0.888 |
| rim | 51.809 | 0.283 | 2.272 | 0.703 | 4.785 | 0.169 | 17.683 | 21.527 | 0.187 | 99.418 | 0.868 |
| 10Sal53 core | 53.098 | 0.1636 | 1.326 | 0.7694 | 3.9808 | 0.158 | 19.89 | 20.527 | 0.1076 | 100.02 | 0.899 |
| rim | 52.942 | 0.2372 | 1.483 | 0.667 | 4.079 | 0.161 | 19.226 | 21.181 | 0.1432 | 100.12 | 0.8936 |
| 10Sal57 core | 53.17 | 0.098 | 1.505 | 0.7485 | 3.7492 | 0.1817 | 19.446 | 21.894 | 0.1742 | 100.967 | 0.9023 |
| rim | 53.014 | 0.1377 | 1.5382 | 0.7305 | 3.8672 | 0.174 | 19.27 | 21.729 | 0.191 | 100.651 | 0.8987 |
| 10Sal59 core | 52.787 | 0.1093 | 1.85 | 0.7585 | 4.176 | 0.1842 | 19.265 | 21.937 | 0.1403 | 101.207 | 0.8915 |
| rim | 53.149 | 0.1075 | 1.8378 | 0.7572 | 4.1071 | 0.1938 | 17.775 | 21.774 | 0.142 | 99.8432 | 0.8942 |
| 10Sal61 core | 52.774 | 0.1095 | 1.5689 | 0.7913 | 4.173 | 0.1994 | 19.142 | 21.629 | 0.1584 | 100.546 | 0.891 |
| rim | 52.701 | 0.1234 | 1.7854 | 0.7798 | 4.1851 | 0.185 | 19.05 | 21.746 | 0.1618 | 100.717 | 0.8902 |
| 10Sal63 core | 52.249 | 0.1408 | 1.9968 | 1.0102 | 3.708 | 0.03 | 17.563 | 21.978 | 0.2256 | 98.9016 | 0.894 |
| rim | 52.163 | 0.2007 | 2.2777 | 0.776 | 4.0655 | 0.094 | 17.544 | 21.35 | 0.2448 | 98.7157 | 0.885 |
| 11BarE03 core | 52.358 | 0.1624 | 2.2048 | 0.646 | 4.7735 | 0.1488 | 17.751 | 21.828 | 0.1966 | 100.07 | 0.869 |
| rim | 52.167 | 0.1919 | 2.2357 | 0.7159 | 4.7896 | 0.137 | 17.645 | 21.957 | 0.1991 | 100.038 | 0.8676 |
| 11BarE07 core | 52.281 | 0.2674 | 1.9194 | 0.4169 | 5.7664 | 0.1294 | 17.121 | 21.298 | 0.2306 | 99.4296 | 0.8411 |
| rim | 52.011 | 0.3205 | 1.9889 | 0.523 | 5.5339 | 0.1379 | 17.021 | 21.314 | 0.2484 | 99.0986 | 0.8455 |
| 11BarE21 core | 52.151 | 0.3112 | 2.1834 | 0.7664 | 4.5134 | 0.0776 | 17.399 | 21.717 | 0.2404 | 99.3596 | 0.8728 |
| rim | 52.095 | 0.4816 | 2.2528 | 0.8282 | 4.593 | 0.0884 | 17.573 | 21.244 | 0.3244 | 99.4802 | 0.8722 |
| 11BarE22a | 52.79 | 0.2483 | 2.1639 | 0.4502 | 4.3659 | 0.1064 | 17.946 | 21.921 | 0.2399 | 100.232 | 0.8796 |
| rim | 52.616 | 0.3485 | 2.2633 | 0.5499 | 4.2403 | 0.0966 | 17.617 | 22.367 | 0.2758 | 100.376 | 0.8811 |
| 12Bar02 core | 52.719 | 0.27 | 2.0157 | 0.7223 | 4.0813 | 0.1257 | 18.106 | 21.869 | 0.178 | 100.086 | 0.8877 |
| rim | 52.168 | 0.471 | 2.448 | 0.7653 | 4.8253 | 0.145 | 17.38 | 21.678 | 0.255 | 100.136 | 0.865 |
| 12Bar03 core | 52.151 | 0.3935 | 2.3905 | 0.6727 | 4.6349 | 0.1664 | 17.57 | 21.474 | 0.2432 | 99.696 | 0.8711 |
| rim | 52.059 | 0.3881 | 2.407 | 0.7151 | 4.5135 | 0.1314 | 17.412 | 21.865 | 0.2369 | 99.7275 | 0.8728 |
| 12Bar10 core | 51.728 | 0.4048 | 2.2587 | 0.7791 | 4.47 | 0.179 | 17.439 | 21.156 | 0.2311 | 98.646 | 0.8741 |
| rim | 51.803 | 0.3972 | 2.2878 | 0.7645 | 4.5225 | 0.1536 | 17.337 | 21.337 | 0.2327 | 98.8359 | 0.8724 |
| 12Bar26 mela laye | 52.769 | 0.1926 | 2.1228 | 0.7718 | 4.2559 | 0.0684 | 17.902 | 21.557 | 0.2186 | 99.8581 | 0.8824 |
| rim | 52.328 | 0.3206 | 2.4068 | 0.7816 | 4.5643 | 0.0735 | 17.476 | 21.634 | 0.2541 | 99.8386 | 0.8724 |
| 12Bar26 leuco laye | 52.361 | 0.1748 | 1.9658 | 0.8225 | 3.89 | 0.1193 | 17.642 | 22 | 0.1873 | 99.1628 | 0.89 |
| rim | 52.146 | 0.2523 | 2.2118 | 0.7783 | 4.2865 | 0.1325 | 17.479 | 21.631 | 0.2443 | 99.1613 | 0.879 |
| 12BarE29 core | 52.982 | 0.087 | 1.7438 | 0.7761 | 2.9875 | 0.0989 | 18.474 | 21.933 | 0.1765 | 99.2574 | 0.9166 |
| rim | 53.066 | 0.0821 | 1.86 | 0.7751 | 3.0073 | 0.0911 | 18.316 | 22.165 | 0.1796 | 99.5416 | 0.9155 |
| 12Bar37 core | 52.693 | 0.223 | 2.1738 | 0.851 | 4.0655 | 0.0397 | 18.36 | 21.234 | 0.1505 | 99.7907 | 0.8893 |
| rim | 52.528 | 0.2687 | 2.2655 | 0.8845 | 4.0427 | 0.0638 | 18.259 | 21.541 | 0.1922 | 100.045 | 0.8897 |
| 12Bar38 core | 52.635 | 0.2476 | 2.3159 | 0.8289 | 4.1091 | 0.0566 | 18.212 | 21.417 | 0.1949 | 100.016 | 0.8876 |
| rim | 52.165 | 0.4503 | 2.5253 | 0.7795 | 4.3725 | 0.0783 | 17.725 | 21.65 | 0.2333 | 99.9791 | 0.8785 |
| 12bar41 core | 51.425 | 0.3512 | 2.4592 | 0.4965 | 6.3604 | 0.2353 | 16.726 | 21.289 | 0.1632 | 99.5057 | 0.8242 |
| rim | 51.8 | 0.212 | 2.2871 | 0.5253 | 5.696 | 0.2083 | 17.161 | 21.385 | 0.1578 | 99.4325 | 0.8431 |
| 12Bar43 core | 52.691 | 0.268 | 2.0823 | 0.6477 | 4.1543 | 0.179 | 18.284 | 21.664 | 0.1537 | 100.124 | 0.887 |
| rim | 52.215 | 0.2783 | 2.3003 | 0.758 | 4.9498 | 0.1778 | 17.615 | 21.338 | 0.1715 | 99.8025 | 0.8638 |
| 12Bar50 core | 52.556 | 0.3282 | 2.0902 | 0.7397 | 4.1168 | 0.0537 | 17.525 | 21.744 | 0.2713 | 99.4243 | 0.8835 |
| rim | 52.332 | 0.4072 | 2.274 | 0.8093 | 4.1643 | 0.0513 | 17.459 | 21.651 | 0.2927 | 99.4415 | 0.882 |
| 12BarE04 core | 52.473 | 0.3031 | 2.1658 | 0.6984 | 3.5556 | 0.1206 | 17.817 | 21.806 | 0.3173 | 99.2569 | 0.8994 |
| rim | 52.272 | 0.4528 | 2.3293 | 0.6662 | 3.6598 | 0.1205 | 17.632 | 21.979 | 0.3107 | 99.4223 | 0.8957 |

Table 5. Cont.

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | Total | Mg# |
|-----------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|---------|--------|
| 12BarE16 core | 54.614 | 0.02 | 0.524 | 0.576 | 3.051 | 0.127 | 17.317 | 24.105 | 0.308 | 100.642 | 0.91 |
| rim | 55.252 | 0.049 | 0.201 | 0.198 | 3.098 | 0.135 | 17.357 | 24.484 | 0.391 | 101.165 | 0.909 |
| 12BarE17 core | 52.643 | 0.193 | 1.6792 | 0.715 | 5.3888 | 0.15 | 17.488 | 21.316 | 0.1952 | 99.7676 | 0.8524 |
| rim | 52.114 | 0.3118 | 2.137 | 0.6576 | 5.66 | 0.1538 | 16.853 | 21.166 | 0.2328 | 99.286 | 0.8416 |
| 12BarE21 core | 52.562 | 0.1453 | 1.8483 | 0.857 | 4.034 | 0.051 | 18.144 | 21.323 | 0.1733 | 99.1368 | 0.8893 |
| rim | 52.356 | 0.286 | 2.1337 | 0.7413 | 4.0827 | 0.0467 | 17.389 | 21.874 | 0.3267 | 99.2357 | 0.884 |
| 12BarE27 core | 52.701 | 0.11 | 1.766 | 0.8807 | 3.7341 | 0.0559 | 18.166 | 21.561 | 0.1356 | 99.1101 | 0.8966 |
| rim | 52.462 | 0.2045 | 2.085 | 0.8013 | 3.8476 | 0.0393 | 17.758 | 21.714 | 0.1861 | 99.0969 | 0.8917 |
| 12BarE52 core | 51.498 | 0.397 | 2.444 | 0.4678 | 6.1632 | 0.1117 | 16.595 | 20.949 | 0.3022 | 98.928 | 0.8273 |
| rim | 51.478 | 0.5044 | 2.5184 | 0.5713 | 6.009 | 0.0981 | 16.295 | 21.593 | 0.3053 | 99.3729 | 0.8287 |
| 12BarE78 core | 51.369 | 0.2438 | 2.4907 | 0.5832 | 4.5708 | 0.1535 | 17.223 | 21.816 | 0.1562 | 98.6055 | 0.8702 |
| rim | 51.93 | 0.2247 | 2.1087 | 0.6072 | 4.5017 | 0.151 | 17.414 | 21.943 | 0.1532 | 99.0337 | 0.8737 |
| 12BarE93 core | 51.971 | 0.188 | 2.1866 | 0.6982 | 4.207 | 0.1125 | 17.957 | 21.428 | 0.1882 | 98.9363 | 0.8839 |
| rim | 51.98 | 0.2174 | 2.2341 | 0.7144 | 4.0739 | 0.095 | 17.844 | 21.554 | 0.2166 | 98.9297 | 0.8864 |
| 12BarE98 core | 51.983 | 0.3804 | 2.2573 | 0.814 | 3.9114 | 0.1258 | 17.521 | 21.417 | 0.3213 | 98.7311 | 0.8888 |
| rim | 51.648 | 0.5824 | 2.4015 | 0.7764 | 3.9694 | 0.1521 | 17.116 | 21.844 | 0.3319 | 98.8206 | 0.885 |
| 12BarE100 core | 51.736 | 0.4306 | 2.4008 | 0.5969 | 4.8188 | 0.1018 | 17.496 | 21.377 | 0.2573 | 99.2145 | 0.8659 |
| rim | 51.879 | 0.4245 | 2.3411 | 0.7169 | 4.7165 | 0.1102 | 17.323 | 21.661 | 0.2732 | 99.4453 | 0.8675 |
| Foliated gabbronorite | | | | | | | | | | | |
| 09Sal22 core | 51.24 | 0.3002 | 2.0909 | 0.7149 | 5.7273 | 0.1489 | 16.848 | 20.459 | 0.4314 | 97.9609 | 0.8398 |
| rim | 51.359 | 0.5404 | 2.29 | 0.434 | 5.8386 | 0.1651 | 16.409 | 20.871 | 0.4016 | 98.3088 | 0.8336 |
| 09Sal25 core | 52.159 | 0.284 | 2.3062 | 0.5793 | 5.874 | 0.1632 | 17.14 | 21.647 | 0.3335 | 100.486 | 0.8387 |
| rim | 52.106 | 0.407 | 2.3278 | 0.5214 | 5.9134 | 0.2022 | 16.875 | 21.717 | 0.4004 | 100.47 | 0.8354 |
| 11BarE17 core | 52.905 | 0.2782 | 1.847 | 0.1101 | 6.1093 | 0.1133 | 17.832 | 20.812 | 0.2046 | 100.211 | 0.8396 |
| rim | 52.657 | 0.3186 | 1.9028 | 0.158 | 6.0503 | 0.0956 | 17.249 | 21.665 | 0.2166 | 100.314 | 0.8357 |
| 12BarE53 core | 51.741 | 0.4022 | 2.3945 | 0.6895 | 5.8997 | 0.0912 | 16.89 | 21.381 | 0.2605 | 99.7498 | 0.836 |
| rim | 51.706 | 0.4217 | 2.4809 | 0.5956 | 6.0674 | 0.084 | 16.843 | 21.311 | 0.2567 | 99.766 | 0.8316 |
| 12BarE57 core | 52.438 | 0.2427 | 2.1497 | 0.7031 | 5.3024 | 0.1816 | 17.374 | 21.111 | 0.2204 | 99.7234 | 0.8539 |
| rim | 52.102 | 0.3657 | 2.1773 | 0.7194 | 5.4331 | 0.1761 | 17.041 | 21.027 | 0.2441 | 99.2867 | 0.8483 |
| Massive gabbronorite | | | | | | | | | | | |
| 09Sal21 core | 51.48 | 0.4933 | 2.1208 | 0.1543 | 6.822 | 0.1565 | 16.162 | 21.656 | 0.2566 | 99.3019 | 0.8085 |
| rim | 51.287 | 0.5357 | 2.2151 | 0.1813 | 7.1287 | 0.1686 | 16.294 | 21.279 | 0.2758 | 99.3649 | 0.8031 |
| 09Sal99 core | 51.934 | 0.1375 | 2.2342 | 0.6937 | 5.3493 | 0.0949 | 17.839 | 21.187 | 0.1925 | 99.6627 | 0.8559 |
| rim | 52.12 | 0.1482 | 1.9874 | 0.55 | 5.3351 | 0.1191 | 17.936 | 21.241 | 0.1465 | 99.5838 | 0.8569 |
| 10Sal86 core | 50.976 | 0.3945 | 2.7755 | 0.8173 | 4.7015 | 0.1128 | 16.786 | 21.437 | 0.2548 | 98.2543 | 0.8648 |
| rim | 51.118 | 0.4448 | 2.632 | 0.6194 | 5.148 | 0.1404 | 16.836 | 21.349 | 0.274 | 98.5612 | 0.8542 |
| 11BarE66 core | 51.752 | 0.3975 | 1.915 | 0.057 | 10.572 | 0.2115 | 14.559 | 21.056 | 0.2395 | 100.758 | 0.7105 |
| rim | 51.806 | 0.403 | 1.958 | 0.0305 | 10.369 | 0.237 | 14.918 | 20.196 | 0.222 | 100.138 | 0.7195 |
| 11BarE02 core | 50.625 | 0.6907 | 2.3918 | 0.1383 | 9.0372 | 0.2067 | 15.446 | 19.94 | 0.3403 | 98.8162 | 0.7528 |
| rim | 50.715 | 0.7126 | 2.2186 | 0.0753 | 8.9502 | 0.2372 | 15.404 | 20.149 | 0.3218 | 98.7838 | 0.754 |
| 11BarE10 core | 51.396 | 0.6945 | 2.4593 | 0.03 | 8.3448 | 0.16 | 15.57 | 21.539 | 0.3145 | 100.508 | 0.7688 |
| rim | 51.536 | 0.6608 | 2.3695 | 0.0523 | 8.1723 | 0.1102 | 15.539 | 21.784 | 0.3152 | 100.539 | 0.7722 |
| 11BarE15 core | 53.29 | 0.06 | 0.4833 | 0.0123 | 7.229 | 0.2033 | 14.373 | 25.358 | 0.0517 | 101.061 | 0.7797 |
| rim | 53.378 | 0.0463 | 0.345 | 0.023 | 8.2297 | 0.1643 | 14.583 | 23.8 | 0.1727 | 100.741 | 0.7593 |
| 12BarE87(fine) core | 51.274 | 0.5381 | 2.0859 | 0.1139 | 8.7389 | 0.1941 | 15.172 | 20.676 | 0.2523 | 99.0456 | 0.7557 |
| rim | 51.508 | 0.4719 | 1.8214 | 0.0481 | 8.6047 | 0.1759 | 15.324 | 20.999 | 0.262 | 99.2147 | 0.7603 |
| 12BarE87 (med.) core | 51.484 | 0.5294 | 1.9748 | 0.0282 | 8.7068 | 0.2294 | 15.158 | 21.758 | 0.2552 | 100.125 | 0.7566 |
| rim | 51.668 | 0.5144 | 1.9062 | 0.026 | 8.6856 | 0.226 | 15.18 | 21.827 | 0.241 | 100.275 | 0.757 |

Table 5. Cont.

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | Total | Mg# |
|-----------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|---------|--------|
| Amphibole gabbro dyke | | | | | | | | | | | |
| 12Bar87 (Amp.) | 51.262 | 0.4667 | 1.8772 | 0.0553 | 8.8405 | 0.2442 | 15.347 | 21.191 | 0.2335 | 99.5172 | 0.7557 |
| rim | 51.419 | 0.4518 | 1.822 | 0.0388 | 8.5482 | 0.2176 | 15.34 | 21.337 | 0.2464 | 99.4206 | 0.7618 |
| Block: fine grained gabbro | | | | | | | | | | | |
| 09Sal32 | 52.069 | 0.4441 | 1.5365 | 0.1693 | 9.4781 | 0.2278 | 14.963 | 21.498 | 0.297 | 100.683 | 0.7386 |
| rim | 51.977 | 0.5187 | 1.6003 | 0.1248 | 9.3926 | 0.2202 | 14.961 | 21.419 | 0.3065 | 100.52 | 0.7395 |
| 09Sal34 | 50.098 | 0.2735 | 0.8243 | 0.0745 | 13.901 | 0.4608 | 12.973 | 19.738 | 0.3238 | 98.6665 | 0.6245 |
| rim | 49.907 | 0.2335 | 0.8233 | 0.0825 | 13.314 | 0.4145 | 12.91 | 20.49 | 0.316 | 98.4902 | 0.6337 |
| 09Sal40 | 51.565 | 0.5513 | 1.7783 | 0.0798 | 8.0537 | 0.2489 | 15.454 | 21.28 | 0.37 | 99.3817 | 0.7737 |
| rim | 51.682 | 0.504 | 1.7736 | 0.078 | 8.2932 | 0.2593 | 15.672 | 20.982 | 0.3641 | 99.6076 | 0.7709 |
| 09Sal65a | 49.95 | 0.6184 | 2.6974 | 0.0678 | 9.3795 | 0.3651 | 14.566 | 20.857 | 0.417 | 98.9175 | 0.7346 |
| rim | 50.389 | 0.5978 | 2.2568 | 0.0893 | 9.2287 | 0.3518 | 14.571 | 21.481 | 0.3987 | 99.3638 | 0.7377 |
| 09Sal65b | 52.224 | 0.5745 | 1.6311 | 0.0428 | 9.2821 | 0.3446 | 15.222 | 21.241 | 0.3572 | 100.919 | 0.7449 |
| rim | 52.299 | 0.596 | 1.6456 | 0.0587 | 9.179 | 0.4098 | 15.491 | 20.711 | 0.3527 | 100.742 | 0.7504 |
| 09Sal62 | 51.1 | 0.6117 | 2.1099 | 0.0397 | 7.9983 | 0.2405 | 15.98 | 21.109 | 0.3327 | 99.5214 | 0.7817 |
| rim | 51.097 | 0.6213 | 2.0765 | 0.0316 | 7.767 | 0.2309 | 15.49 | 21.878 | 0.3449 | 99.5369 | 0.7804 |
| 09Sal76 | 51.109 | 0.514 | 1.9867 | 0.0537 | 8.9265 | 0.1987 | 15.275 | 21.189 | 0.368 | 99.6203 | 0.753 |
| rim | 51.261 | 0.4992 | 1.8085 | 0.0725 | 8.3008 | 0.1703 | 15.477 | 21.777 | 0.3655 | 99.7312 | 0.7685 |
| Mafic hornfels | | | | | | | | | | | |
| 10Sal95 core | 51.032 | 0.244 | 1.0243 | 0.009 | 10.546 | 0.4103 | 13.78 | 21.029 | 0.2797 | 98.3547 | 0.6997 |
| rim | 51.303 | 0.2433 | 0.9637 | 0.0053 | 10.799 | 0.3667 | 13.862 | 20.773 | 0.2623 | 98.5783 | 0.696 |
| 10Sal100a core | 51.213 | 0.282 | 1.0687 | 0.067 | 10.717 | 0.258 | 13.917 | 21.26 | 0.273 | 99.0557 | 0.698 |
| rim | 51.19 | 0.2633 | 1.0897 | 0.0487 | 10.846 | 0.3427 | 13.984 | 20.999 | 0.269 | 99.0317 | 0.697 |
| 10Sal100b core | 51.436 | 0.2777 | 1.0677 | 0.0583 | 9.9597 | 0.3343 | 14.047 | 21.563 | 0.288 | 99.032 | 0.7153 |
| rim | 51.242 | 0.3433 | 1.268 | 0.0373 | 10.43 | 0.3527 | 13.938 | 21.316 | 0.3193 | 99.247 | 0.7047 |
| 11BarE76 core | 50.727 | 0.6757 | 2.823 | 0.2746 | 6.6438 | 0.1706 | 15.462 | 21.452 | 0.3666 | 98.5953 | 0.806 |
| rim | 51.266 | 0.554 | 2.5851 | 0.4472 | 5.7612 | 0.139 | 16.228 | 21.733 | 0.2883 | 99.0016 | 0.8339 |

Table 6. Representative electron microprobe analyses of olthopyroxene (in wt%)

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | Total | Mg# |
|--------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|---------|--------|
| Lasail-south complex | | | | | | | | | | | |
| Layered melagabbronorite | | | | | | | | | | | |
| 09Sal27 core | 54.758 | 0.0893 | 1.4573 | 0.349 | 9.9626 | 0.126 | 31.212 | 1.6473 | 0.0224 | 99.6243 | 0.8483 |
| rim | 54.76 | 0.0823 | 1.4639 | 0.3669 | 10.21 | 0.1486 | 31.298 | 1.6301 | 0.0197 | 99.9791 | 0.8454 |
| 09Sal38 | 54.81 | 0.1648 | 1.5178 | 0.42 | 10.042 | 0.2153 | 31.201 | 1.3925 | 0.0065 | 99.7693 | 0.8473 |
| rim | 54.736 | 0.2218 | 1.3253 | 0.2578 | 10.253 | 0.2193 | 31.164 | 1.3118 | 0.0055 | 99.495 | 0.8443 |
| 09sal39 core | 54.477 | 0.1116 | 1.398 | 0.3954 | 10.178 | 0.1859 | 31.618 | 1.4216 | 0.0144 | 99.8003 | 0.8466 |
| rim | 55.047 | 0.135 | 1.449 | 0.3613 | 10.332 | 0.1584 | 31.24 | 1.18 | 0.0159 | 99.9176 | 0.8445 |
| 09Sal44 core | 55.576 | 0.098 | 1.695 | 0.419 | 9.231 | 0.194 | 30.971 | 1.696 | 0 | 99.88 | 0.857 |
| rim | 55.584 | 0.139 | 1.647 | 0.434 | 9.388 | 0.269 | 31.109 | 1.774 | 0 | 100.344 | 0.855 |
| 09Sal44b core | 55.137 | 0.0483 | 1.437 | 0.295 | 9.439 | 0.1793 | 31.646 | 1.5913 | 0.0118 | 99.7845 | 0.8565 |
| rim | 55.355 | 0.056 | 1.309 | 0.2398 | 9.5965 | 0.1735 | 31.7 | 1.5968 | 0.0268 | 100.054 | 0.855 |
| 09Sal46 core | 55.309 | 0 | 1.352 | 0.252 | 9.38 | 0.206 | 31.951 | 1.666 | 0.007 | 100.123 | 0.858 |
| rim | 54.784 | 0 | 1.516 | 0.351 | 9.709 | 0.145 | 31.548 | 1.564 | 0.038 | 99.655 | 0.853 |
| 09Sal50 core | 54.578 | 0.539 | 1.339 | 0.082 | 13.937 | 0.252 | 28.906 | 1.998 | 0.049 | 101.68 | 0.787 |
| rim | 54.634 | 0.499 | 1.303 | 0.097 | 14.46 | 0.335 | 29.091 | 1.688 | 0.034 | 102.141 | 0.782 |
| 09Sal95 core | 55.51 | 0.14 | 1.40 | 0.32 | 9.23 | 0.23 | 32.08 | 1.61 | 0.00 | 100.51 | 0.86 |
| rim | 55.25 | 0.14 | 1.45 | 0.29 | 9.66 | 0.27 | 31.78 | 1.60 | 0.00 | 100.44 | 0.85 |
| 10Sal63 core | 54.685 | 0.066 | 1.7235 | 0.49 | 9.158 | 0.1845 | 31.078 | 1.4355 | 0.003 | 98.8225 | 0.858 |
| rim | 55.048 | 0.114 | 1.343 | 0.3145 | 9.404 | 0.127 | 31.256 | 1.2345 | 0.015 | 98.8555 | 0.8555 |
| 11barE07 core | 54.562 | 0.032 | 1.503 | 0.489 | 11.035 | 0.237 | 30.228 | 1.661 | 0 | 99.747 | 0.83 |
| rim | 54.868 | 0.029 | 1.434 | 0.416 | 11.187 | 0.205 | 30.498 | 1.473 | 0.003 | 100.113 | 0.829 |
| 12Bar02 core | 55.63 | 0.16 | 1.4127 | 0.2797 | 9.6217 | 0.235 | 31.295 | 1.6233 | 0.0273 | 100.285 | 0.853 |
| rim | 55.227 | 0.1793 | 1.416 | 0.296 | 9.5633 | 0.213 | 31.169 | 1.5587 | 0.01 | 99.632 | 0.8533 |
| 12Bar38 core | 55.824 | 0.1743 | 1.5193 | 0.4243 | 8.7433 | 0.0983 | 32.365 | 1.6477 | 0.0207 | 100.818 | 0.868 |
| rim | 55.866 | 0.161 | 1.5293 | 0.3578 | 8.7233 | 0.1773 | 32.131 | 1.5545 | 0.0138 | 100.513 | 0.8675 |
| 12Bar41 core | 55.023 | 0.1405 | 1.5095 | 0.274 | 11.171 | 0.2815 | 30.403 | 1.6025 | 0.009 | 100.413 | 0.829 |
| rim | 54.937 | 0.1145 | 1.521 | 0.2735 | 11.221 | 0.284 | 30.297 | 1.59 | 0.0035 | 100.241 | 0.8275 |
| 12Bar43 core | 55.187 | 0.188 | 1.467 | 0.255 | 10.707 | 0.326 | 30.664 | 1.636 | 0.013 | 100.443 | 0.836 |
| rim | 54.88 | 0.183 | 1.467 | 0.398 | 10.334 | 0.321 | 30.729 | 1.64 | 0.016 | 99.968 | 0.841 |
| 12Bar50 core | 55.879 | 0.0673 | 1.4037 | 0.3953 | 8.802 | 0.115 | 32.258 | 1.667 | 0.0083 | 100.596 | 0.867 |
| rim | 55.917 | 0.1517 | 1.5057 | 0.3587 | 8.7483 | 0.1457 | 32.246 | 1.481 | 0.0157 | 100.57 | 0.868 |
| 12BarE04 core | 55.863 | 0.1807 | 1.3977 | 0.2657 | 7.6583 | 0.1617 | 32.502 | 1.5437 | 0.0233 | 99.596 | 0.8833 |
| rim | 55.728 | 0.2143 | 1.4063 | 0.278 | 7.408 | 0.1613 | 32.384 | 1.464 | 0.0303 | 99.0737 | 0.8863 |
| 12BarE17 core | 54.638 | 0.1163 | 1.665 | 0.505 | 10.45 | 0.1775 | 29.925 | 1.7188 | 0.0265 | 99.2215 | 0.8363 |
| rim | 54.471 | 0.1398 | 1.4188 | 0.345 | 11.478 | 0.2303 | 29.154 | 1.72 | 0.0273 | 98.9838 | 0.819 |
| 12BarE34 core | 54.914 | 0.1577 | 1.4123 | 0.4297 | 10.555 | 0.183 | 30.698 | 1.6443 | 0.0053 | 99.9997 | 0.8383 |
| rim | 54.985 | 0.1767 | 1.437 | 0.3007 | 10.42 | 0.1773 | 30.674 | 1.6297 | 0.0027 | 99.803 | 0.84 |
| 12BarE52 core | 54.587 | 0.1835 | 1.427 | 0.259 | 12.457 | 0.2135 | 29.325 | 1.6481 | 0.0161 | 100.115 | 0.8076 |
| rim | 54.518 | 0.207 | 1.4909 | 0.2581 | 12.591 | 0.2 | 29.376 | 1.5713 | 0.0128 | 100.224 | 0.8061 |
| 12BarE78 core | 54.732 | 0.1089 | 1.6217 | 0.3065 | 9.5255 | 0.23 | 31.391 | 1.4755 | 0.0142 | 99.4051 | 0.8546 |
| rim | 54.836 | 0.0896 | 1.4278 | 0.3602 | 9.6107 | 0.2454 | 31.522 | 1.393 | 0.0185 | 99.5032 | 0.8539 |
| 12BarE81 core | 53.983 | 0.0813 | 1.3821 | 0.1184 | 13.942 | 0.2049 | 27.988 | 1.595 | 0.0011 | 99.2967 | 0.7816 |
| rim | 54.173 | 0.1029 | 1.2561 | 0.1604 | 14.065 | 0.1803 | 28.228 | 1.4436 | 0.0035 | 99.6128 | 0.7814 |
| 12BarE93 core | 55.178 | 0.103 | 1.424 | 0.375 | 8.024 | 0.208 | 32.335 | 1.394 | 0.005 | 99.046 | 0.878 |
| rim | 55.201 | 0.092 | 1.479 | 0.342 | 8.598 | 0.129 | 32.552 | 1.386 | 0 | 99.779 | 0.871 |
| 12BarE98 core | 55.261 | 0.213 | 1.535 | 0.422 | 7.9657 | 0.22 | 32.107 | 1.5367 | 0.0167 | 99.2773 | 0.8777 |
| rim | 55.263 | 0.2553 | 1.4183 | 0.3998 | 8.051 | 0.229 | 31.938 | 1.4945 | 0.0228 | 99.071 | 0.876 |

Table 6. Cont.

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | Total | Mg# |
|----------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|---------|--------|
| Foliated gabbronorite | | | | | | | | | | | |
| 09Sal22 core | 54.469 | 0.0903 | 1.268 | 0.253 | 11.707 | 0.2633 | 29.955 | 1.4287 | 0.0133 | 99.447 | 0.82 |
| rim | 54.267 | 0.2557 | 1.2867 | 0.1483 | 12.036 | 0.287 | 29.771 | 1.2593 | 0.0203 | 99.331 | 0.815 |
| 09Sal25 core | 54.796 | 0.1722 | 1.383 | 0.2155 | 12.022 | 0.253 | 30.313 | 1.563 | 0.0135 | 100.731 | 0.8178 |
| rim | 54.736 | 0.2173 | 1.3675 | 0.1982 | 12.158 | 0.2565 | 30.264 | 1.5433 | 0.0077 | 100.749 | 0.816 |
| 11BarE17 core | 55.167 | 0.165 | 1.229 | 0.154 | 12.338 | 0.2848 | 30.205 | 1.6283 | 0.013 | 101.184 | 0.8138 |
| rim | 55.166 | 0.1788 | 1.218 | 0.208 | 12.259 | 0.2975 | 30.208 | 1.4853 | 0.0123 | 101.033 | 0.8148 |
| 12BarE53 core | 54.241 | 0.2303 | 1.4583 | 0.2523 | 11.895 | 0.196 | 29.759 | 1.533 | 0.0103 | 99.5757 | 0.817 |
| rim | 54.322 | 0.2087 | 1.487 | 0.252 | 12.389 | 0.22 | 29.557 | 1.5017 | 0.015 | 99.9517 | 0.8097 |
| 12BarE57 core | 55.167 | 0.219 | 1.413 | 0.4115 | 10.318 | 0.2135 | 30.005 | 1.652 | 0.0275 | 99.4255 | 0.838 |
| rim | 55.169 | 0.24 | 1.4165 | 0.427 | 10.286 | 0.2375 | 30.214 | 1.576 | 0.012 | 99.5765 | 0.8395 |
| Massive gabbronorite | | | | | | | | | | | |
| 09Sal21 core | 53.775 | 0.24 | 1.3032 | 0.0683 | 14.185 | 0.2702 | 28.511 | 1.313 | 0.004 | 99.6692 | 0.7818 |
| rim | 53.796 | 0.2708 | 1.2413 | 0.0755 | 14.285 | 0.3097 | 28.613 | 1.1605 | 0 | 99.7515 | 0.7812 |
| 09sal99 core | 54.835 | 0.058 | 1.4737 | 0.3377 | 10.55 | 0.14 | 30.973 | 1.779 | 0.004 | 100.15 | 0.8397 |
| rim | 54.731 | 0.0653 | 1.2333 | 0.287 | 10.812 | 0.207 | 30.608 | 1.8103 | 0.0087 | 99.7623 | 0.8343 |
| 11BarE66 core | 52.97 | 0.2149 | 1.0204 | 0.0606 | 21.506 | 0.4176 | 23.299 | 1.6799 | 0.0126 | 101.18 | 0.6587 |
| rim | 52.885 | 0.2151 | 1.0369 | 0.0881 | 21.628 | 0.4266 | 23.354 | 1.6414 | 0.0194 | 101.295 | 0.658 |
| 11BarE02 core | 52.98 | 0.36 | 1.10 | 0.03 | 17.08 | 0.45 | 26.10 | 1.60 | 0.00 | 99.70 | 0.73 |
| rim | 53.04 | 0.35 | 1.09 | 0.02 | 16.99 | 0.43 | 26.14 | 1.53 | 0.00 | 99.59 | 0.73 |
| 11BarE10 core | 53.512 | 0.3654 | 1.3142 | 0.0568 | 16.761 | 0.2856 | 26.618 | 1.6336 | 0.014 | 100.56 | 0.7388 |
| rim | 53.536 | 0.3358 | 1.2566 | 0.0522 | 16.639 | 0.294 | 26.678 | 1.571 | 0.019 | 100.382 | 0.7408 |
| Block: fine grained gabbronorite | | | | | | | | | | | |
| 09Sal32 | 53.163 | 0.2756 | 0.7937 | 0.0427 | 21.115 | 0.4413 | 23.979 | 1.3599 | 0.0247 | 101.195 | 0.6694 |
| rim | 53.073 | 0.2748 | 0.7902 | 0.0427 | 21.184 | 0.417 | 23.968 | 1.2607 | 0.0228 | 101.034 | 0.6683 |
| 09Sal34 | 49.867 | 0.2235 | 0.446 | 0.081 | 27.301 | 0.8133 | 18.408 | 1.4345 | 0.043 | 98.6163 | 0.546 |
| rim | 49.977 | 0.2145 | 0.451 | 0.0365 | 27.382 | 0.7995 | 18.431 | 1.3705 | 0.019 | 98.6795 | 0.5455 |
| 09sal40 | 53.207 | 0.2986 | 0.864 | 0.0592 | 18.616 | 0.5196 | 25.669 | 1.1156 | 0.0296 | 100.379 | 0.7108 |
| rim | 53.295 | 0.2864 | 0.8376 | 0.075 | 19.129 | 0.4926 | 25.593 | 1.0182 | 0.0244 | 100.752 | 0.7044 |
| 09Sal65a | 52.646 | 0.4392 | 0.8928 | 0.0174 | 18.825 | 0.8464 | 24.637 | 1.4774 | 0.028 | 99.8098 | 0.7002 |
| rim | 52.571 | 0.4816 | 0.9332 | 0.0198 | 19.134 | 0.812 | 24.401 | 1.6136 | 0.034 | 100 | 0.6946 |
| 09Sal62 | 53.253 | 0.3433 | 1.2222 | 0.0102 | 16.697 | 0.4205 | 26.682 | 1.6805 | 0.0221 | 100.331 | 0.7401 |
| rim | 53.26 | 0.3206 | 1.1715 | 0.0073 | 16.714 | 0.4246 | 26.653 | 1.6519 | 0.0209 | 100.224 | 0.7396 |
| 09Sal76 | 53.036 | 0.2949 | 0.9889 | 0.05 | 18.248 | 0.3191 | 25.815 | 1.49 | 0.0158 | 100.257 | 0.7161 |
| rim | 53.052 | 0.2834 | 1.0019 | 0.053 | 18.088 | 0.2914 | 25.861 | 1.4715 | 0.014 | 100.115 | 0.7181 |
| Mafic hornfels | | | | | | | | | | | |
| 10Sal100a core | 51.201 | 0.1975 | 0.57 | 0.0498 | 25.111 | 0.6503 | 20.011 | 1.1598 | 0.0145 | 98.965 | 0.5868 |
| rim | 51.218 | 0.1323 | 0.4685 | 0.019 | 25.273 | 0.6603 | 20.09 | 1.1088 | 0.0108 | 98.9795 | 0.586 |
| 10Sal100b core | 51.806 | 0.177 | 0.581 | 0.058 | 24.477 | 0.6375 | 20.858 | 1.1115 | 0.01 | 99.7153 | 0.6028 |
| rim | 51.612 | 0.1998 | 0.6518 | 0.0498 | 24.747 | 0.6603 | 20.613 | 1.2408 | 0.0198 | 99.7935 | 0.5975 |

Table 7. Representative electron microprobe analyses of Cr-spinel (in wt%)

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Total | Mg# | YCr | Y _{Fe3+} |
|--|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------------------|
| Wehrlitic intrusions | | | | | | | | | | | | | |
| Northern transect of the Barghah complex | | | | | | | | | | | | | |
| 11Bar11 | 0.01 | 0.85 | 17.17 | 42.93 | 21.87 | 8.75 | 0.49 | 8.66 | 0.04 | 100.77 | 0.41 | 0.63 | 0.11 |
| 11Bar12 | 0.00 | 1.29 | 17.49 | 39.08 | 25.43 | 9.37 | 0.61 | 6.28 | 0.06 | 99.62 | 0.31 | 0.60 | 0.12 |
| 11Bar13 | 0.00 | 0.96 | 18.17 | 40.82 | 20.47 | 9.26 | 0.37 | 9.59 | 0.04 | 99.69 | 0.45 | 0.60 | 0.11 |
| 11Bar15 | 0.00 | 0.62 | 23.23 | 36.75 | 20.52 | 9.31 | 0.39 | 10.45 | 0.02 | 101.29 | 0.45 | 0.57 | 0.11 |
| 11Bar17 | 0.01 | 0.57 | 21.34 | 40.41 | 18.68 | 7.65 | 0.37 | 10.96 | 0.03 | 100.02 | 0.51 | 0.56 | 0.09 |
| 11Bar18 | 0.00 | 0.45 | 23.50 | 37.82 | 18.52 | 8.54 | 0.33 | 11.33 | 0.03 | 100.52 | 0.52 | 0.52 | 0.10 |
| 11Bar20 | 0.00 | 0.52 | 24.65 | 38.49 | 17.84 | 7.59 | 0.30 | 12.19 | 0.03 | 101.61 | 0.55 | 0.51 | 0.09 |
| 11Bar21 | 0.00 | 0.44 | 25.57 | 38.15 | 17.40 | 6.52 | 0.27 | 12.39 | 0.02 | 100.75 | 0.56 | 0.50 | 0.08 |
| 10Bar73 | 0.00 | 0.36 | 27.02 | 36.49 | 17.60 | 5.34 | 0.30 | 12.00 | 0.02 | 99.14 | 0.55 | 0.48 | 0.06 |
| Southern margin of the Barghah complex | | | | | | | | | | | | | |
| 11Sal26 | 0.00 | 1.10 | 18.40 | 38.58 | 22.31 | 10.63 | 0.42 | 8.47 | 0.09 | 100.00 | 0.40 | 0.59 | 0.13 |
| 11Sal27 | 0.00 | 1.07 | 15.89 | 41.23 | 22.87 | 11.39 | 0.42 | 8.08 | 0.02 | 100.99 | 0.39 | 0.64 | 0.14 |
| 11Sal28 | 0.05 | 0.64 | 16.22 | 42.67 | 22.49 | 11.19 | 0.40 | 8.34 | 0.04 | 102.05 | 0.40 | 0.64 | 0.14 |
| 11Sal29 | 0.04 | 1.05 | 20.24 | 39.59 | 19.06 | 9.74 | 0.34 | 11.10 | 0.05 | 101.21 | 0.51 | 0.57 | 0.12 |
| 11Sal30 | 0.00 | 1.35 | 19.59 | 39.20 | 20.77 | 9.32 | 0.39 | 9.94 | 0.05 | 100.60 | 0.46 | 0.57 | 0.12 |
| 10Sal124 | 0.00 | 1.57 | 15.82 | 42.36 | 20.84 | 9.19 | 0.37 | 9.46 | 0.04 | 99.66 | 0.45 | 0.64 | 0.12 |
| 10Sal126 | 0.03 | 1.86 | 15.66 | 41.54 | 20.81 | 10.13 | 0.37 | 9.69 | 0.09 | 100.19 | 0.45 | 0.64 | 0.13 |
| 10Sal127 | 0.09 | 1.42 | 16.31 | 37.38 | 23.86 | 13.37 | 0.47 | 7.50 | 0.05 | 100.45 | 0.36 | 0.61 | 0.17 |
| Lower-wehrlite intrusions | | | | | | | | | | | | | |
| 11Sal32 | 0.02 | 0.48 | 24.73 | 39.73 | 18.03 | 5.57 | 0.40 | 11.85 | 0.03 | 100.83 | 0.54 | 0.52 | 0.06 |
| 11Sal34 | 0.12 | 1.73 | 2.98 | 22.28 | 29.79 | 39.71 | 0.43 | 1.93 | 0.01 | 98.97 | 0.10 | 0.85 | 0.59 |
| 11Sal35 | 0.01 | 0.57 | 21.17 | 40.05 | 20.41 | 7.53 | 0.38 | 9.76 | 0.05 | 99.93 | 0.46 | 0.56 | 0.09 |
| 11Sal48 | 0.00 | 0.67 | 20.06 | 41.60 | 22.93 | 8.55 | 0.32 | 8.78 | 0.04 | 102.95 | 0.41 | 0.58 | 0.10 |
| 11Sal49 | 0.03 | 0.75 | 19.44 | 42.14 | 21.35 | 6.73 | 0.38 | 9.08 | 0.06 | 99.97 | 0.43 | 0.59 | 0.08 |
| 11Sal50 | 0.00 | 0.84 | 17.74 | 42.28 | 23.11 | 8.78 | 0.35 | 8.10 | 0.04 | 101.23 | 0.38 | 0.62 | 0.11 |
| Moho transition zone | | | | | | | | | | | | | |
| 11Sal04 | 0.02 | 0.43 | 20.89 | 43.58 | 18.83 | 6.13 | 0.37 | 10.98 | 0.06 | 101.29 | 0.51 | 0.58 | 0.07 |
| 11Sal06 | 0.00 | 0.47 | 23.36 | 41.95 | 18.22 | 5.50 | 0.30 | 11.80 | 0.05 | 101.65 | 0.54 | 0.55 | 0.06 |
| 11Sal15 | 0.04 | 0.49 | 20.65 | 45.56 | 17.67 | 4.76 | 0.29 | 11.81 | 0.08 | 101.35 | 0.54 | 0.60 | 0.06 |
| 11Sal19 | 0.06 | 0.70 | 23.33 | 43.36 | 16.83 | 3.97 | 0.30 | 12.78 | 0.07 | 101.39 | 0.58 | 0.56 | 0.05 |
| 11Sal20 | 0.07 | 0.65 | 23.44 | 43.53 | 15.75 | 4.00 | 0.30 | 13.47 | 0.04 | 101.25 | 0.60 | 0.56 | 0.05 |
| 11Sal21 | 0.10 | 0.51 | 22.68 | 43.46 | 17.23 | 4.79 | 0.34 | 12.38 | 0.02 | 101.51 | 0.56 | 0.56 | 0.06 |
| 10HanE02 | 0.13 | 0.20 | 28.21 | 38.19 | 15.04 | 3.87 | 0.27 | 13.86 | 0.07 | 99.84 | 0.62 | 0.48 | 0.04 |
| 10HanE03a | 0.05 | 0.60 | 21.19 | 39.98 | 21.14 | 8.22 | 0.38 | 9.50 | 0.02 | 101.10 | 0.44 | 0.56 | 0.10 |
| 10HanE03b | 0.14 | 0.45 | 22.74 | 39.77 | 20.26 | 7.25 | 0.38 | 10.25 | 0.05 | 101.28 | 0.47 | 0.54 | 0.09 |
| 09HanE11 | 0.09 | 0.32 | 25.84 | 43.07 | 15.53 | 2.05 | 0.30 | 13.58 | 0.05 | 100.83 | 0.61 | 0.53 | 0.02 |
| 09HanE15 | 0.17 | 0.39 | 19.30 | 43.14 | 21.58 | 5.91 | 0.36 | 8.67 | 0.04 | 99.54 | 0.42 | 0.60 | 0.07 |
| 09HanE16 | 0.07 | 0.40 | 24.96 | 39.64 | 19.09 | 4.66 | 0.34 | 11.05 | 0.03 | 100.25 | 0.51 | 0.52 | 0.05 |
| Lasail-south complex | | | | | | | | | | | | | |
| Layered melagabbroite | | | | | | | | | | | | | |
| 09Sal39 | 0 | 1.724 | 13.65 | 34 | 26.03 | 19.14 | 0.356 | 6.12 | 0.074 | 99.1765 | 0.296 | 0.63 | 0.253 |
| 09Sal44 core | 0.167 | 0.648 | 10.27 | 50.73 | 22.71 | 9.075 | 0.484 | 7.436 | 0.086 | 100.69 | 0.369 | 0.765 | 0.116 |
| rim | 0.135 | 0.982 | 12.29 | 45.56 | 22.77 | 11.53 | 0.45 | 7.781 | 0.105 | 100.444 | 0.378 | 0.711 | 0.147 |
| 09sal95 core | 0.09 | 2.139 | 11.81 | 42.97 | 22.2 | 12.8 | 0.443 | 8.73 | 0.057 | 99.956 | 0.412 | 0.707 | 0.168 |
| rim | 0.066 | 2.977 | 12.6 | 36.98 | 22.99 | 16.52 | 0.477 | 8.778 | 0.05 | 99.784 | 0.405 | 0.663 | 0.22 |

Table 7. Cont.

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Total | Mg# | YCr | Y _{Fe3+} |
|-------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------------------|
| 10Sal53 core | 0.026 | 0.933 | 12.09 | 41.04 | 16.95 | 14.91 | 0.466 | 9.328 | 1.771 | 96.0155 | 0.502 | 0.695 | 0.194 |
| rim | 0.045 | 0.907 | 12.2 | 41.61 | 18.66 | 13.48 | 0.503 | 9.317 | 0.166 | 95.5345 | 0.47 | 0.696 | 0.177 |
| 10Sal57 core | 0.076 | 0.688 | 12.65 | 47.2 | 17.79 | 9.104 | 0.429 | 10.25 | 0.085 | 97.3558 | 0.507 | 0.714 | 0.116 |
| rim | 0.072 | 0.669 | 13 | 46.05 | 17.49 | 9.41 | 0.379 | 10.32 | 0.102 | 96.5505 | 0.513 | 0.704 | 0.121 |
| 10Sal59 | 0 | 0.218 | 25.58 | 37.13 | 19.66 | 6.179 | 0.385 | 10.23 | 0.351 | 99.12 | 0.481 | 0.493 | 0.072 |
| 10Sal61 core | 0.052 | 0.783 | 15.21 | 40.02 | 18.91 | 11.1 | 0.387 | 9.344 | 0.084 | 94.771 | 0.468 | 0.638 | 0.144 |
| rim | 0.056 | 0.765 | 13.69 | 39.69 | 19.37 | 13.51 | 0.378 | 8.998 | 0.076 | 95.1803 | 0.451 | 0.663 | 0.177 |
| 10Sal63 core | 0.002 | 0.883 | 16.47 | 42.36 | 21.61 | 10.7 | 0.355 | 8.959 | 0.076 | 100.353 | 0.425 | 0.633 | 0.132 |
| rim | 0.019 | 0.779 | 16.44 | 42.9 | 20.82 | 10.71 | 0.373 | 9.333 | 0.196 | 100.49 | 0.445 | 0.636 | 0.132 |
| 11BarE03 core | 0 | 1.266 | 11.59 | 32.4 | 25.37 | 23.38 | 0.569 | 5.698 | 0.135 | 98.062 | 0.286 | 0.652 | 0.309 |
| rim | 0 | 1.21 | 6.904 | 20.53 | 29.38 | 39.21 | 0.687 | 2.286 | 0.181 | 96.467 | 0.122 | 0.666 | 0.548 |
| 11BarE07 core | 0 | 1.619 | 14.38 | 32.19 | 23.92 | 20.12 | 0.423 | 7.234 | 0.049 | 97.9202 | 0.35 | 0.6 | 0.263 |
| rim | 0 | 1.625 | 14.44 | 31.92 | 23.89 | 20.16 | 0.404 | 7.239 | 0.039 | 97.695 | 0.351 | 0.597 | 0.264 |
| 11BarE21 core | 0.015 | 3.362 | 13.06 | 34.79 | 25.29 | 16.04 | 0.429 | 7.36 | 0.05 | 98.7888 | 0.341 | 0.642 | 0.22 |
| rim | 0.017 | 3.441 | 13.02 | 34.45 | 25.53 | 15.96 | 0.491 | 7.129 | 0.077 | 98.5223 | 0.332 | 0.64 | 0.22 |
| 12Bar02 core | 0.041 | 2.242 | 13.26 | 32.27 | 25.58 | 19.96 | 0.36 | 6.539 | 0.02 | 98.2738 | 0.312 | 0.621 | 0.268 |
| rim | 0.027 | 2.105 | 13.27 | 31.71 | 25.31 | 20.35 | 0.383 | 6.46 | 0.058 | 97.632 | 0.312 | 0.616 | 0.273 |
| 12Bar03 core | 0.031 | 1.593 | 16.57 | 37.07 | 19.22 | 14.58 | 0.251 | 10.75 | 0 | 98.596 | 0.499 | 0.6 | 0.183 |
| rim | 0 | 1.768 | 16.88 | 36.71 | 19.49 | 14.02 | 0.31 | 10.56 | 0.086 | 98.415 | 0.491 | 0.593 | 0.177 |
| 12Bar10 core | 0.063 | 1.665 | 15.89 | 36.53 | 21.13 | 14.06 | 0.369 | 9.15 | 0 | 97.4515 | 0.435 | 0.607 | 0.182 |
| rim | 0.208 | 1.721 | 16 | 36.27 | 21.6 | 14.06 | 0.38 | 8.959 | 0.004 | 97.7995 | 0.425 | 0.604 | 0.182 |
| 12Bar26 mela lay | 0 | 1.649 | 15.71 | 36.03 | 20.97 | 16.37 | 0.347 | 9.503 | 0.131 | 99.073 | 0.447 | 0.606 | 0.208 |
| rim | 0 | 1.643 | 15.65 | 35.84 | 20.59 | 16.45 | 0.357 | 9.592 | 0.212 | 98.691 | 0.454 | 0.606 | 0.209 |
| 12Bar26 leuco lay | 0.03 | 1.526 | 19.54 | 30.49 | 20.02 | 17.81 | 0.246 | 10.48 | 0.005 | 98.352 | 0.483 | 0.512 | 0.221 |
| rim | 0.059 | 1.461 | 19.74 | 29.68 | 19.79 | 17.95 | 0.296 | 10.39 | 0.044 | 97.614 | 0.483 | 0.502 | 0.224 |
| 12Bar37 core | 0 | 1.362 | 18.03 | 39.16 | 21.34 | 11.2 | 0.37 | 9.51 | 0.027 | 99.8865 | 0.442 | 0.594 | 0.139 |
| rim | 0 | 1.567 | 16.71 | 38.57 | 22.17 | 12.34 | 0.407 | 8.828 | 0.045 | 99.407 | 0.414 | 0.608 | 0.157 |
| 12Bar38 core | 0.02 | 1.278 | 16.91 | 39 | 22.56 | 12.29 | 0.348 | 8.535 | 0.053 | 99.7663 | 0.401 | 0.609 | 0.155 |
| rim | 0.017 | 1.332 | 16.05 | 39.23 | 22.88 | 12.68 | 0.377 | 8.2 | 0.062 | 99.5453 | 0.388 | 0.623 | 0.161 |
| 12Bar41 core | 0.048 | 0.895 | 17.42 | 32.92 | 23.6 | 16.46 | 0.355 | 7.244 | 0 | 97.299 | 0.353 | 0.558 | 0.211 |
| rim | 0.034 | 0.889 | 17.36 | 32.49 | 23.63 | 16.96 | 0.348 | 7.192 | 0.028 | 97.238 | 0.351 | 0.556 | 0.217 |
| 12bar43 core | 0 | 1.536 | 16.77 | 35.77 | 23.02 | 14.68 | 0.464 | 8.169 | 0.031 | 98.979 | 0.387 | 0.589 | 0.188 |
| rim | 0.016 | 1.448 | 15.01 | 35.83 | 24.29 | 15.89 | 0.421 | 7.024 | 0.03 | 98.3695 | 0.338 | 0.617 | 0.207 |
| 12Bar50 core | 0 | 2.21 | 16.37 | 37.87 | 21.48 | 12.13 | 0.33 | 9.541 | 0.04 | 98.7645 | 0.442 | 0.609 | 0.157 |
| rim | 0 | 1.952 | 16.46 | 37.75 | 21.53 | 12.43 | 0.321 | 9.323 | 0.054 | 98.5803 | 0.436 | 0.606 | 0.16 |
| 12BarE04 core | 0 | 3.784 | 13.14 | 31.41 | 23.17 | 13.46 | 0.373 | 7.505 | 0.027 | 91.525 | 0.366 | 0.616 | 0.201 |
| rim | 0 | 3.665 | 13.15 | 31.66 | 22.79 | 14.02 | 0.355 | 7.769 | 0.095 | 92.092 | 0.378 | 0.618 | 0.207 |
| 12BarE16 core | 0.07 | 1.202 | 14.08 | 35.9 | 21.8 | 16.78 | 0.408 | 8.088 | 0.002 | 96.655 | 0.398 | 0.632 | 0.22 |
| rim | 0.063 | 1.005 | 13.76 | 35.8 | 22.3 | 17.38 | 0.453 | 7.581 | 0.004 | 96.6118 | 0.377 | 0.636 | 0.228 |
| 12BarE17 core | 0.059 | 1.894 | 12.69 | 28.45 | 26.3 | 22.92 | 0.388 | 5.285 | 0.016 | 95.7063 | 0.263 | 0.601 | 0.316 |
| rim | 0.052 | 1.89 | 12.37 | 27.26 | 26.02 | 23.35 | 0.384 | 5.101 | 0.021 | 94.1183 | 0.258 | 0.597 | 0.328 |
| 12BarE21 core | 0.006 | 1.417 | 15.7 | 40.81 | 21.09 | 10.95 | 0.293 | 9.196 | 0.041 | 98.405 | 0.438 | 0.636 | 0.14 |
| rim | 0.009 | 1.369 | 15.27 | 41.24 | 22.84 | 11.08 | 0.355 | 8.108 | 0.04 | 99.1975 | 0.388 | 0.645 | 0.142 |
| 12BarE27 core | 0 | 1.002 | 17.64 | 43.68 | 19.36 | 7.87 | 0.285 | 10.51 | 0.02 | 99.5826 | 0.492 | 0.624 | 0.097 |
| rim | 8E-04 | 0.975 | 17.63 | 43.61 | 19.6 | 7.852 | 0.274 | 10.32 | 0.045 | 99.5238 | 0.484 | 0.624 | 0.097 |
| 12BarE30 core | 0.06 | 0.884 | 16.18 | 46.57 | 19.47 | 7.051 | 0.335 | 10.28 | 0.061 | 100.198 | 0.485 | 0.659 | 0.087 |
| rim | 0.06 | 0.865 | 16.66 | 45.13 | 19.58 | 7.561 | 0.324 | 10.14 | 0.067 | 99.6233 | 0.48 | 0.645 | 0.093 |
| 12Bar34 core | 0.066 | 1.711 | 13.98 | 36.86 | 25.12 | 16.41 | 0.352 | 6.845 | 0.071 | 99.773 | 0.326 | 0.641 | 0.215 |
| rim | 0.061 | 1.407 | 14.23 | 36.31 | 24.83 | 16.79 | 0.373 | 6.741 | 0.066 | 99.119 | 0.325 | 0.633 | 0.219 |
| 12BarE52 core | 0 | 4.309 | 9.548 | 22.66 | 28.96 | 29.99 | 0.349 | 5.214 | 0.052 | 98.0818 | 0.243 | 0.615 | 0.437 |

Table 7. Cont.

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Total | Mg# | YCr | Y _{Fe3+} |
|-----------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------------------|
| rim | 0 | 4.191 | 9.367 | 22.43 | 29.34 | 30.06 | 0.39 | 4.721 | 0.082 | 97.5744 | 0.222 | 0.617 | 0.441 |
| 12BarE78 core | 0.033 | 0.989 | 17.58 | 39.9 | 22.19 | 11.73 | 0.441 | 8.747 | 0.073 | 100.517 | 0.413 | 0.604 | 0.145 |
| rim | 0.1 | 0.997 | 17.7 | 38.53 | 22.21 | 12.21 | 0.433 | 8.59 | 0.055 | 99.596 | 0.408 | 0.594 | 0.152 |
| 12BarE81 core | 0.183 | 3.857 | 9.454 | 25.83 | 28.62 | 27.26 | 0.315 | 5.099 | 0.113 | 98.0083 | 0.242 | 0.649 | 0.401 |
| rim | 0.18 | 3.823 | 9.591 | 25.18 | 29.09 | 27.45 | 0.343 | 4.702 | 0.136 | 97.7465 | 0.224 | 0.64 | 0.406 |
| 12BarE93 core | 0 | 0.771 | 16.92 | 41.4 | 20.22 | 9.527 | 0.343 | 9.272 | 0.056 | 97.55 | 0.45 | 0.621 | 0.12 |
| rim | 0 | 0.789 | 16.73 | 40.83 | 19.97 | 9.24 | 0.354 | 9.126 | 0.055 | 96.168 | 0.449 | 0.621 | 0.118 |
| 12BarE98 core | 0.047 | 1.961 | 14.68 | 39.83 | 22.33 | 12.51 | 0.344 | 8.792 | 7E-04 | 99.242 | 0.412 | 0.646 | 0.162 |
| rim | 0.033 | 1.858 | 15.65 | 39.97 | 21.27 | 11.45 | 0.366 | 9.405 | 0.018 | 98.8745 | 0.441 | 0.631 | 0.148 |
| 12BarE19 core | 0 | 1.432 | 16.07 | 35.64 | 20.38 | 10.46 | 0.39 | 8.191 | 0.061 | 91.5875 | 0.417 | 0.598 | 0.143 |
| rim | 0 | 1.437 | 16.11 | 35.37 | 21.25 | 10.5 | 0.376 | 7.665 | 0.062 | 91.7227 | 0.391 | 0.596 | 0.144 |
| 12BarE24 core | 0.007 | 2 | 12.81 | 39.42 | 24.28 | 13.89 | 0.306 | 7.22 | 0.041 | 98.5898 | 0.347 | 0.676 | 0.186 |
| rim | 0.011 | 1.97 | 12.84 | 39.3 | 24.72 | 13.89 | 0.358 | 6.891 | 0.04 | 98.6198 | 0.332 | 0.675 | 0.186 |
| 12BarE29 core | 0 | 0.332 | 19.92 | 44.02 | 16.92 | 6.012 | 0.363 | 11.67 | 0.05 | 98.6882 | 0.551 | 0.597 | 0.072 |
| rim | 0 | 0.286 | 19.85 | 43.75 | 16.85 | 6.286 | 0.337 | 11.64 | 0.06 | 98.4226 | 0.552 | 0.597 | 0.075 |
| Foliated gabbronorite | | | | | | | | | | | | | |
| 12BarE53 core | 0 | 4.755 | 11.02 | 24.35 | 28.38 | 25.6 | 0.297 | 5.959 | 0.025 | 97.815 | 0.272 | 0.597 | 0.374 |
| rim | 0 | 4.333 | 11.63 | 24.93 | 27.93 | 24.48 | 0.373 | 5.804 | 0.099 | 97.131 | 0.27 | 0.59 | 0.355 |
| 12BarE57 core | 0.068 | 2.639 | 13.45 | 29.72 | 26.22 | 20.45 | 0.408 | 6.1 | 0.002 | 97.0238 | 0.293 | 0.598 | 0.281 |
| rim | 0.078 | 2.113 | 12.88 | 28.59 | 26.53 | 23.07 | 0.429 | 5.518 | 0.006 | 96.9083 | 0.269 | 0.599 | 0.315 |
| Massive gabbronorite | | | | | | | | | | | | | |
| 10Sal86 core | 0.061 | 0.697 | 10.86 | 30.45 | 26.22 | 25.57 | 0.373 | 4.62 | 0.001 | 96.2948 | 0.239 | 0.652 | 0.344 |
| rim | 0.061 | 0.854 | 10.23 | 25.38 | 26.53 | 30.51 | 0.373 | 4.247 | 0.014 | 95.1503 | 0.222 | 0.625 | 0.418 |

Table 8. Representative electron microprobe analyses of plagioclase (in wt%)

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Total | An % |
|--|------------------|------------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|------------------|---------|------|
| Wehrlitic intrusions | | | | | | | | | | | |
| Northern transect of the Barghah complex | | | | | | | | | | | |
| 11Bar15 | 45.36 | 0.01 | 34.43 | 0.30 | 0.00 | 0.02 | 17.91 | 1.36 | 0.02 | 99.43 | 87.9 |
| 10Bar73 | 45.05 | 0.01 | 34.11 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 17.99 | 1.27 | 0.01 | 98.54 | 88.7 |
| Lower-wehrlitic intrusions | | | | | | | | | | | |
| 11Sal32 | 44.85 | 0.01 | 34.16 | 0.17 | 0.05 | 0.05 | 18.37 | 1.19 | 0.01 | 98.86 | 89.5 |
| Lasail-south complex | | | | | | | | | | | |
| Layered mela-gabbro | | | | | | | | | | | |
| 09Sal44 core | 44.498 | 0.0075 | 34.122 | 0.2095 | 0.0545 | 0.008 | 18.714 | 1.1885 | 0 | 98.801 | 89.7 |
| rim | 44.93 | 0.0045 | 34.114 | 0.284 | 0.054 | 0.0175 | 18.585 | 1.374 | 0.0065 | 99.3685 | 88.3 |
| 09Sal49 core | 47.063 | 0 | 33.23 | 0.4007 | 0.0329 | 0.0134 | 17.093 | 2.108 | 0 | 99.9408 | 81.8 |
| rim | 46.953 | 0 | 33.292 | 0.4458 | 0.0407 | 0.0287 | 17.041 | 2.0637 | 0.0023 | 99.8669 | 82.0 |
| 09Sal50 core | 46.843 | 0.0309 | 33.375 | 0.5576 | 0.003 | 0.0283 | 16.851 | 1.9825 | 0 | 99.6714 | 82.5 |
| rim | 47.747 | 0.0399 | 32.993 | 0.4382 | 0 | 0.0215 | 16.205 | 2.3804 | 0 | 99.8249 | 79.0 |
| 10sal63 core | 44.99 | 0.0017 | 33.997 | 0.3017 | 0.001 | 0.0267 | 17.813 | 1.2123 | 0.008 | 98.3523 | 89.0 |
| rim | 45.31 | 0.01 | 33.951 | 0.3113 | 0.0077 | 0.0277 | 17.597 | 1.3467 | 0.0093 | 98.5713 | 87.8 |
| 11BarE03 | 45.082 | 0 | 33.68 | 0.3441 | 0.0252 | 0.074 | 18.594 | 1.1889 | 0.0039 | 98.991 | 89.6 |
| rim | 45.157 | 0 | 33.748 | 0.3612 | 0.018 | 0.0702 | 18.576 | 1.1601 | 0.0062 | 99.097 | 89.8 |
| 11BarE07 core | 45.026 | 0 | 33.216 | 0.4162 | 0.049 | 0.0559 | 18.082 | 1.4043 | 0.0139 | 98.2627 | 87.7 |
| rim | 44.763 | 0 | 33.392 | 0.4496 | 0.0572 | 0.0503 | 18.302 | 1.2881 | 0.0112 | 98.3129 | 88.7 |
| 11BarE22a core | 45.743 | 0.0111 | 33.127 | 0.2608 | 0.0018 | 0.0515 | 18.922 | 1.3581 | 0.0004 | 99.4752 | 88.2 |
| rim | 45.552 | 0.0068 | 33.166 | 0.2936 | 0.0062 | 0.1006 | 18.849 | 1.3179 | 0 | 99.2917 | 88.6 |
| 12Bar02 core | 45.808 | 0.0046 | 34.375 | 0.365 | 0.0234 | 0.0402 | 18.39 | 1.3676 | 0 | 100.374 | 88.1 |
| rim | 45.534 | 0.0172 | 34.079 | 0.3974 | 0.0084 | 0.0452 | 18.166 | 1.368 | 0.0004 | 99.6156 | 88.0 |
| 12Bar03 core | 45.392 | 0 | 34.183 | 0.3537 | 0.0057 | 0.058 | 18.444 | 1.2017 | 0.0017 | 99.639 | 89.4 |
| rim | 45.55 | 0.012 | 34.047 | 0.324 | 0.025 | 0.059 | 18.519 | 1.2217 | 0.0007 | 99.758 | 89.3 |
| 12Bar10 core | 45.6 | 0.0657 | 34.382 | 0.5313 | 0.0237 | 0.0617 | 17.713 | 1.3393 | 0 | 99.717 | 88.0 |
| rim | 45.991 | 0.0377 | 34.237 | 0.5247 | 0.017 | 0.0633 | 17.471 | 1.4517 | 0 | 99.7927 | 86.9 |
| 12Bar26 mela la | 45.114 | 0 | 34.182 | 0.3615 | 0 | 0.048 | 18.224 | 1.128 | 0 | 99.0573 | 89.9 |
| rim | 45.312 | 0.0023 | 34.13 | 0.4203 | 0 | 0.0535 | 18.142 | 1.1538 | 0 | 99.2135 | 89.7 |
| 12Bar26 leuco la | 44.714 | 0.0117 | 34.285 | 0.3547 | 0 | 0.05 | 18.401 | 0.9918 | 0.0008 | 98.809 | 91.1 |
| rim | 44.723 | 0.0143 | 34.043 | 0.3473 | 0 | 0.0527 | 18.317 | 1.0763 | 0 | 98.5728 | 90.4 |
| 12Bar38 core | 45.556 | 0.004 | 33.952 | 0.468 | 0 | 0.0605 | 18.228 | 1.213 | 0 | 99.481 | 89.3 |
| rim | 45.678 | 0 | 34.233 | 0.6455 | 0 | 0.065 | 18.175 | 1.338 | 0.004 | 100.139 | 88.3 |
| 12Bar41 core | 44.393 | 0.023 | 34.561 | 0.5 | 0.049 | 0.0615 | 18.841 | 0.8248 | 0.0003 | 99.2543 | 92.7 |
| rim | 44.252 | 0.0093 | 34.676 | 0.5243 | 0.0503 | 0.029 | 18.808 | 0.777 | 0.006 | 99.1313 | 93.0 |
| 12Bar43 | 44.699 | 0.0005 | 34.194 | 0.4685 | 0.05 | 0.0545 | 18.843 | 0.9675 | 0 | 99.2755 | 91.5 |
| core | 44.637 | 0.0255 | 34.408 | 0.478 | 0.072 | 0.049 | 18.926 | 0.895 | 0 | 99.49 | 92.1 |
| 12Bar50 core | 45.334 | 0.0058 | 34.686 | 0.3125 | 0 | 0.0368 | 18.026 | 1.2973 | 0.0045 | 99.7028 | 88.5 |
| rim | 45.367 | 0.0118 | 34.425 | 0.331 | 0.0057 | 0.0252 | 17.747 | 1.3738 | 0.002 | 99.2882 | 87.7 |
| 12BarE04 core | 45.449 | 0.0363 | 34.526 | 0.218 | 0.0183 | 0.0287 | 18.338 | 1.255 | 0 | 99.8697 | 89.0 |
| rim | 45.79 | 0.0407 | 34.363 | 0.2867 | 0.0037 | 0.0323 | 18.121 | 1.352 | 0.003 | 99.9927 | 88.1 |
| 12BarE17 core | 44.897 | 0.013 | 34.589 | 0.4923 | 0 | 0.0393 | 18.426 | 1.169 | 0 | 99.6257 | 89.7 |
| rim | 45.059 | 0.017 | 34.522 | 0.558 | 0 | 0.0493 | 18.379 | 1.2287 | 0 | 99.8127 | 89.2 |
| 12BarE52 core | 46.302 | 0.0046 | 34.047 | 0.4765 | 0 | 0.0389 | 17.447 | 1.6158 | 0.0058 | 99.9369 | 85.7 |
| rim | 46.73 | 0.0045 | 33.914 | 0.5168 | 0 | 0.0491 | 17.127 | 1.7958 | 0.0068 | 100.143 | 84.1 |
| 12BarE100 core | 45.262 | 0.0053 | 33.918 | 0.44 | 0.0388 | 0.0482 | 18.125 | 1.3773 | 0.0025 | 99.2165 | 87.9 |
| rim | 45.135 | 0.0155 | 33.936 | 0.4343 | 0.0385 | 0.0518 | 18.071 | 1.3658 | 0.0033 | 99.051 | 88.0 |

Table 8. Cont.

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | Total | An % |
|----------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|---------|------|
| 12BarE78 core | 44.146 | 0.014 | 34.8 | 0.3846 | 0.0222 | 0.0814 | 18.856 | 0.775 | 0 | 99.08 | 93.1 |
| rim | 44.152 | 0.016 | 34.847 | 0.4242 | 0.0278 | 0.068 | 19.008 | 0.7636 | 0.0002 | 99.3076 | 93.2 |
| 12BarE81 core | 44.807 | 0.0355 | 33.914 | 0.4383 | 0.0128 | 0.0313 | 17.789 | 1.1733 | 0 | 98.201 | 89.3 |
| rim | 44.6 | 0.0333 | 34.164 | 0.5235 | 0.0065 | 0.0303 | 18.007 | 1.0818 | 0 | 98.4465 | 90.2 |
| Foliated gabbronorite | | | | | | | | | | | |
| 09sal22 core | 44.388 | 0.0207 | 33.035 | 0.3378 | 0.0153 | 0.015 | 18.028 | 1.097 | 0.0007 | 96.9377 | 90.1 |
| rim | 44.502 | 0.0078 | 33.484 | 0.3757 | 0.0115 | 0.0102 | 17.948 | 1.0198 | 0 | 97.3593 | 90.7 |
| 09Sal25 core | 44.727 | 0 | 34.732 | 0.3501 | 0.0196 | 0.063 | 18.856 | 1.0776 | 0 | 99.8261 | 90.7 |
| rim | 45.699 | 0.0001 | 34.521 | 0.4673 | 0.0202 | 0.0403 | 18.271 | 1.4377 | 0 | 100.457 | 87.6 |
| 11BarE17 core | 45.94 | 0.0008 | 34.274 | 0.4598 | 0 | 0.0477 | 18.179 | 1.3363 | 0.0042 | 100.242 | 88.3 |
| rim | 46.044 | 0.0022 | 34.437 | 0.4788 | 0 | 0.034 | 18.229 | 1.3083 | 0.0022 | 100.536 | 88.5 |
| 12BarE53 core | 45.762 | 0.019 | 34.473 | 0.6048 | 0 | 0.0528 | 17.912 | 1.335 | 0.0058 | 100.164 | 88.1 |
| rim | 45.593 | 0.0008 | 34.488 | 0.6168 | 0 | 0.054 | 18.046 | 1.317 | 0 | 100.115 | 88.4 |
| 12BarE57 core | 45.354 | 0.0415 | 34.611 | 0.3605 | 0.0185 | 0.0425 | 17.889 | 1.229 | 0 | 99.5455 | 89.0 |
| rim | 45.438 | 0.054 | 33.941 | 0.4065 | 0.0285 | 0.0535 | 17.39 | 1.433 | 0.009 | 98.7535 | 87.0 |
| Massive gabbronorite | | | | | | | | | | | |
| 09Sal21 | 46.233 | 0.026 | 33.243 | 0.5641 | 0.0004 | 0.0283 | 17.394 | 1.5531 | 0.0081 | 99.0501 | 86.1 |
| rim | 46.544 | 0.0197 | 33.132 | 0.5859 | 0.0124 | 0.0389 | 17.189 | 1.6491 | 0.0129 | 99.184 | 85.2 |
| 09sal99 core | 43.602 | 0.0025 | 33.932 | 1.3771 | 0.0508 | 0.7644 | 18.311 | 0.8691 | 0 | 98.9089 | 92.0 |
| rim | 43.991 | 0.0044 | 34.428 | 0.5511 | 0 | 0.0583 | 19.088 | 0.8339 | 0 | 98.954 | 92.7 |
| 10Sal86 core | 45.219 | 0.0473 | 33.661 | 0.5095 | 0.012 | 0.0238 | 17.627 | 1.466 | 0.0138 | 98.5788 | 86.9 |
| rim | 45.773 | 0.0315 | 33.461 | 0.6115 | 0.0263 | 0.028 | 17.353 | 1.632 | 0.0083 | 98.9245 | 85.5 |
| 11BarE66 core | 47.495 | 0.0007 | 33.147 | 0.6808 | 0 | 0.0327 | 16.81 | 1.9757 | 0 | 100.141 | 82.5 |
| rim | 48.075 | 0.0003 | 32.656 | 0.6928 | 0 | 0.0383 | 16.427 | 2.2885 | 0.0005 | 100.178 | 79.9 |
| 11BarE02 core | 51.998 | 0.0543 | 28.406 | 0.9478 | 0.0165 | 0.3132 | 11.671 | 4.3827 | 0.0822 | 97.8715 | 59.5 |
| rim | 52.231 | 0.029 | 28.773 | 0.5947 | 0.0067 | 0.056 | 11.999 | 4.378 | 0.0728 | 98.1403 | 60.2 |
| 11BarE10 core | 49.823 | 0.0169 | 30.909 | 0.5417 | 0 | 0.0441 | 14.853 | 3.1858 | 0 | 99.3734 | 72.0 |
| rim | 49.566 | 0.0103 | 31.14 | 0.515 | 0 | 0.0402 | 15.086 | 3.0469 | 0 | 99.4036 | 73.2 |
| 11BarE15 core | 51.89 | 0 | 29.33 | 0.3833 | 0.006 | 0.0255 | 12.758 | 3.9587 | 0.0193 | 98.3713 | 64.1 |
| rim | 53.185 | 0 | 29.198 | 0.4417 | 0 | 0.0255 | 12.293 | 4.3707 | 0.0148 | 99.529 | 60.7 |
| 12BarE87(fine) | 46.257 | 0.0211 | 33.318 | 0.5465 | 0 | 0.0361 | 17.253 | 1.7277 | 0.0004 | 99.1592 | 84.7 |
| rim | 46.148 | 0.0247 | 33.247 | 0.6312 | 0.0005 | 0.0348 | 17.215 | 1.7398 | 0 | 99.0413 | 84.5 |
| 12BarE87 (med.) | 46.312 | 0.0256 | 33.323 | 0.6158 | 0.0094 | 0.0407 | 17.766 | 1.6126 | 0.0009 | 99.7056 | 85.9 |
| rim | 46.243 | 0.0241 | 33.323 | 0.6589 | 0.0109 | 0.0415 | 17.82 | 1.6138 | 0.0009 | 99.7355 | 85.9 |
| Gabbroic dyke | | | | | | | | | | | |
| 10Sal33 core | 46.205 | 0.0065 | 33.614 | 0.5433 | 0 | 0.0665 | 18.13 | 1.4153 | 0 | 99.9808 | 87.7 |
| rim | 52.718 | 0.0025 | 29.423 | 0.5333 | 0 | 0.0545 | 12.819 | 4.2365 | 0.014 | 99.8 | 62.5 |
| Block: fine grained gabbronorite | | | | | | | | | | | |
| 09Sal32 | 52.662 | 0 | 29.348 | 0.381 | 0.0075 | 0.0269 | 12.579 | 4.5708 | 0.0166 | 99.5924 | 60.3 |
| rim | 53.05 | 0 | 29.107 | 0.4119 | 0.0014 | 0.0295 | 12.268 | 4.7459 | 0.0171 | 99.6303 | 58.8 |
| 09Sal34 | 57.352 | 0 | 25.48 | 0.3635 | 0.055 | 0.006 | 8.1585 | 7.0465 | 0.084 | 98.5445 | 39.0 |
| rim | 57.287 | 0.0223 | 25.318 | 0.603 | 0.0313 | 0.0107 | 8.152 | 7.0343 | 0.0993 | 98.5587 | 39.1 |
| 09sal40 | 53.728 | 0.0367 | 28.639 | 0.4399 | 0 | 0.0214 | 11.218 | 5.2461 | 0 | 99.3291 | 54.2 |
| rim | 53.738 | 0.019 | 28.614 | 0.411 | 0.004 | 0.019 | 11.1 | 5.2934 | 0 | 99.1978 | 53.7 |
| 09Sal65a | 52.105 | 0.0187 | 29.191 | 0.4698 | 0.0491 | 0.0101 | 12.568 | 4.6701 | 0 | 99.082 | 60.0 |
| rim | 51.886 | 0.0148 | 29.363 | 0.4905 | 0.0499 | 0.0098 | 12.719 | 4.5813 | 0 | 99.1147 | 60.7 |
| 09Sal65b | 56.634 | 0.0068 | 27.307 | 0.4707 | 0 | 0.0376 | 9.7899 | 6.2102 | 0 | 100.457 | 46.6 |
| rim | 56.652 | 0.0034 | 27.43 | 0.473 | 0 | 0.0413 | 9.8173 | 6.2114 | 0 | 100.628 | 46.6 |
| 09Sal62 | 47.714 | 0.0078 | 31.204 | 0.458 | 0.0386 | 0.0228 | 16.217 | 2.5878 | 0 | 98.2494 | 77.6 |
| rim | 48.076 | 0.0133 | 31.057 | 0.4925 | 0.0195 | 0.0285 | 15.886 | 2.7915 | 0 | 98.3637 | 75.9 |

Table 8. Cont.

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ^T O | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | Total | An % |
|----------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|-------------------|---------|------|
| 09Sal76 | 52.835 | 0.0129 | 28.471 | 0.503 | 0.0011 | 0.0374 | 11.937 | 5.0577 | 0 | 98.8556 | 56.6 |
| rim | 53.068 | 0.0133 | 28.417 | 0.5157 | 0 | 0.0326 | 11.835 | 5.2119 | 0 | 99.0927 | 55.7 |
| Mafic hornfels | | | | | | | | | | | |
| 10Sal95 | 53.246 | 0.0048 | 28.12 | 0.4325 | 0.0088 | 0.017 | 11.546 | 4.4288 | 0.111 | 97.914 | 58.8 |
| rim | 54.58 | 0.003 | 27.168 | 0.452 | 0.021 | 0.0223 | 10.306 | 5.0762 | 0.1327 | 97.7605 | 52.9 |
| 10Sal100a core | 55.257 | 0.0007 | 26.954 | 0.3207 | 0.0349 | 0.0119 | 9.9887 | 5.726 | 0.1161 | 98.4097 | 49.1 |
| rim | 55.528 | 0.0033 | 26.804 | 0.3387 | 0.021 | 0.0117 | 9.8456 | 5.9189 | 0.0954 | 98.5664 | 47.9 |
| 10Sal100b core | 55.442 | 0.0029 | 26.851 | 0.4187 | 0.0271 | 0.0129 | 9.7764 | 5.9394 | 0.0599 | 98.5306 | 47.6 |
| rim | 55.621 | 0.002 | 26.825 | 0.4016 | 0.0317 | 0.0121 | 9.6376 | 6.0353 | 0.0683 | 98.6346 | 46.9 |
| 11BarE76 core | 56.29 | 0.0525 | 26.275 | 0.3075 | 0.004 | 0.009 | 8.9875 | 6.445 | 0.04 | 98.4095 | 43.6 |
| rim | 55.428 | 0.058 | 26.968 | 0.3677 | 0.0043 | 0.008 | 9.6713 | 5.958 | 0.0363 | 98.4993 | 47.3 |

Table 9. Representative electron microprobe analyses of Amphibole (in wt%)

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Cr2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | Total | Mg# | Cl |
|----------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| Wehrlic intrusions | | | | | | | | | | | | | |
| Barghah complex | | | | | | | | | | | | | |
| 10SAL119 | 51.80 | 0.31 | 4.42 | 0.72 | 5.42 | 0.14 | 20.54 | 12.29 | 1.01 | 0.03 | 96.67 | 0.87 | 0.11 |
| M | 52.63 | 0.25 | 3.04 | 0.12 | 4.88 | 0.14 | 21.75 | 12.09 | 0.70 | 0.02 | 95.61 | 0.89 | 0.08 |
| M | 42.90 | 3.15 | 11.26 | 1.70 | 6.31 | 0.11 | 16.69 | 11.92 | 2.73 | 0.24 | 97.00 | 0.83 | 0.08 |
| RIM | 44.55 | 0.17 | 13.57 | 0.07 | 6.09 | 0.13 | 17.54 | 12.23 | 2.28 | 0.05 | 96.68 | 0.84 | 0.20 |
| C2-HBL | 48.39 | 0.34 | 7.90 | 0.89 | 5.62 | 0.12 | 19.53 | 12.51 | 1.60 | 0.05 | 96.95 | 0.86 | 0.18 |
| RIM | 43.20 | 2.89 | 11.32 | 1.73 | 6.35 | 0.12 | 16.91 | 11.87 | 2.69 | 0.22 | 97.30 | 0.83 | 0.11 |
| C3-HBL | 50.22 | 0.27 | 7.18 | 0.57 | 5.03 | 0.14 | 19.86 | 12.40 | 1.30 | 0.02 | 96.99 | 0.88 | 0.10 |
| RIM | 48.10 | 0.23 | 8.79 | 0.73 | 5.94 | 0.14 | 19.40 | 12.35 | 1.77 | 0.12 | 97.56 | 0.85 | 0.20 |
| C4-HBL | 46.16 | 0.12 | 11.00 | 0.46 | 6.71 | 0.15 | 18.41 | 12.06 | 2.23 | 0.06 | 97.36 | 0.83 | 0.17 |
| RIM | 47.09 | 0.15 | 9.87 | 0.67 | 6.20 | 0.13 | 18.97 | 12.21 | 1.93 | 0.07 | 97.27 | 0.85 | 0.21 |
| HBL2 | 46.67 | 0.04 | 10.62 | 0.14 | 6.45 | 0.13 | 18.76 | 12.19 | 2.11 | 0.05 | 97.15 | 0.84 | 0.16 |
| RIM | 46.71 | 0.02 | 10.59 | 0.07 | 6.31 | 0.13 | 18.84 | 12.05 | 2.08 | 0.05 | 96.85 | 0.84 | 0.14 |
| 11BAR11 | 49.43 | 0.88 | 7.92 | 1.66 | 3.82 | 0.10 | 19.85 | 12.70 | 1.56 | 0.10 | 98.02 | 0.90 | 0.23 |
| C2-HBL | 46.72 | 0.24 | 10.32 | 1.03 | 4.55 | 0.09 | 19.24 | 12.81 | 2.16 | 0.11 | 97.26 | 0.88 | 0.27 |
| RIM | 44.50 | 3.09 | 11.62 | 1.80 | 4.56 | 0.08 | 18.45 | 12.06 | 2.25 | 0.15 | 98.55 | 0.88 | 0.05 |
| C3-HBL | 49.84 | 0.20 | 8.97 | 0.49 | 4.15 | 0.10 | 19.86 | 12.92 | 1.76 | 0.04 | 98.31 | 0.90 | 0.12 |
| RIM | 48.17 | 0.18 | 9.16 | 0.66 | 4.05 | 0.11 | 19.92 | 12.55 | 1.93 | 0.00 | 96.72 | 0.90 | 0.10 |
| C4-HBL | 47.32 | 0.30 | 10.14 | 1.11 | 4.56 | 0.09 | 19.77 | 12.48 | 2.17 | 0.11 | 98.07 | 0.89 | 0.21 |
| RIM | 47.68 | 0.09 | 9.62 | 0.91 | 4.21 | 0.11 | 19.52 | 12.67 | 2.01 | 0.06 | 96.86 | 0.89 | 0.20 |
| HBL2 | 44.13 | 2.70 | 11.45 | 1.84 | 4.34 | 0.09 | 17.92 | 12.11 | 2.71 | 0.11 | 97.38 | 0.88 | 0.03 |
| RIM | 44.24 | 2.65 | 11.06 | 1.83 | 4.45 | 0.11 | 18.25 | 12.11 | 2.52 | 0.09 | 97.30 | 0.88 | 0.04 |
| 11BAR12 | 47.51 | 0.14 | 10.21 | 0.97 | 4.75 | 0.08 | 19.20 | 12.61 | 1.91 | 0.08 | 97.46 | 0.88 | 0.20 |
| RIM | 47.44 | 0.20 | 9.63 | 0.77 | 4.84 | 0.07 | 19.46 | 12.60 | 2.08 | 0.09 | 97.17 | 0.88 | 0.23 |
| C2-HBL | 45.84 | 0.29 | 10.46 | 1.05 | 4.91 | 0.08 | 18.92 | 12.51 | 2.18 | 0.12 | 96.35 | 0.87 | 0.23 |
| RIM | 46.20 | 0.18 | 10.60 | 1.28 | 4.52 | 0.07 | 18.90 | 12.60 | 2.34 | 0.08 | 96.76 | 0.88 | 0.25 |
| C3-HBL | 45.75 | 0.03 | 13.77 | 0.07 | 5.25 | 0.07 | 18.07 | 12.42 | 2.63 | 0.04 | 98.10 | 0.86 | 0.09 |
| RIM | 44.84 | 0.03 | 13.78 | 0.04 | 5.31 | 0.05 | 18.03 | 12.45 | 2.67 | 0.05 | 97.25 | 0.86 | 0.14 |
| 11BAR15 | 45.48 | 0.28 | 11.68 | 0.96 | 4.62 | 0.09 | 18.61 | 12.82 | 2.30 | 0.12 | 96.95 | 0.88 | 0.27 |
| RIM | 44.50 | 0.24 | 12.59 | 0.95 | 4.84 | 0.06 | 18.24 | 12.76 | 2.54 | 0.12 | 96.83 | 0.87 | 0.25 |
| C2-HBL | 46.48 | 0.01 | 11.73 | 0.21 | 4.49 | 0.04 | 18.78 | 13.00 | 2.15 | 0.04 | 96.92 | 0.88 | 0.11 |
| RIM | 54.76 | 0.00 | 4.33 | 0.01 | 2.71 | 0.06 | 22.09 | 13.18 | 0.67 | 0.00 | 97.82 | 0.94 | 0.06 |
| Lasail-south complex | | | | | | | | | | | | | |
| Layered mela-gabbro | | | | | | | | | | | | | |
| 12BAR21 | 48.75 | 0.92 | 6.90 | 0.66 | 6.74 | 0.12 | 18.96 | 11.70 | 1.24 | 0.04 | 96.01 | 0.834 | 0.116 |
| RIM | 56.54 | 0.03 | 1.54 | 0.00 | 3.35 | 0.09 | 22.48 | 12.89 | 0.29 | 0.00 | 97.18 | 0.923 | 0.028 |
| C2-HBL | 42.92 | 1.75 | 11.22 | 1.11 | 8.19 | 0.13 | 17.95 | 10.20 | 1.99 | 0.02 | 95.49 | 0.796 | 0.037 |
| HBL | 52.32 | 0.24 | 4.63 | 0.34 | 6.45 | 0.15 | 19.90 | 11.58 | 1.00 | 0.00 | 96.62 | 0.846 | 0.037 |
| RIM | 51.79 | 0.30 | 4.79 | 0.34 | 6.56 | 0.17 | 19.59 | 11.66 | 1.14 | 0.02 | 96.36 | 0.842 | 0.048 |
| C3-HBL | 55.00 | 0.21 | 1.50 | 0.31 | 10.48 | 0.23 | 30.86 | 1.28 | 0.03 | 0.00 | 99.90 | 0.84 | 0.01 |
| RIM | 53.99 | 0.20 | 1.78 | 0.29 | 10.65 | 0.26 | 30.92 | 1.29 | 0.02 | 0.00 | 99.39 | 0.838 | 0.011 |
| C4- | 54.54 | 0.26 | 2.72 | 0.18 | 4.80 | 0.15 | 21.84 | 12.14 | 0.63 | 0.00 | 97.24 | 0.89 | 0.037 |
| RIM | 55.23 | 0.30 | 2.60 | 0.15 | 4.39 | 0.09 | 21.61 | 12.57 | 0.36 | 0.00 | 97.30 | 0.898 | 0.035 |
| HBL2 | 53.00 | 0.52 | 3.92 | 0.19 | 4.94 | 0.12 | 21.04 | 12.37 | 0.70 | 0.00 | 96.80 | 0.883 | 0.055 |
| RIM | 53.74 | 0.46 | 3.41 | 0.19 | 4.56 | 0.12 | 21.25 | 12.30 | 0.44 | 0.00 | 96.47 | 0.893 | 0.036 |
| 12BAR27 | 43.33 | 3.50 | 11.33 | 1.26 | 5.52 | 0.04 | 16.90 | 11.79 | 2.73 | 0.57 | 96.95 | 0.845 | 0.032 |
| RI | 43.29 | 3.38 | 11.41 | 0.99 | 5.63 | 0.06 | 17.03 | 11.77 | 2.71 | 0.66 | 96.92 | 0.843 | 0.035 |
| RIM | 46.88 | 0.52 | 9.76 | 1.00 | 5.24 | 0.07 | 18.52 | 12.28 | 1.72 | 0.23 | 96.20 | 0.863 | 0.134 |
| C2=HBL | 50.80 | 0.37 | 6.29 | 0.90 | 3.73 | 0.03 | 20.31 | 12.72 | 0.99 | 0.14 | 96.29 | 0.907 | 0.105 |
| RIM | 49.70 | 0.64 | 7.61 | 0.79 | 3.91 | 0.00 | 19.80 | 12.96 | 0.99 | 0.16 | 96.57 | 0.9 | 0.126 |
| C3-HBL | 42.82 | 4.08 | 11.65 | 0.16 | 5.82 | 0.06 | 16.84 | 11.67 | 2.93 | 0.64 | 96.67 | 0.838 | 0.035 |
| M | 43.40 | 1.75 | 12.01 | 1.36 | 5.65 | 0.04 | 17.40 | 11.50 | 2.68 | 0.76 | 96.54 | 0.846 | 0.059 |
| RIM | 45.34 | 1.82 | 10.49 | 1.50 | 4.16 | 0.07 | 18.50 | 12.46 | 2.06 | 0.39 | 96.78 | 0.888 | 0.048 |
| C4-HBL | 47.23 | 0.24 | 9.84 | 0.64 | 5.63 | 0.09 | 18.67 | 12.29 | 1.76 | 0.28 | 96.66 | 0.855 | 0.128 |
| RIM | 47.56 | 0.36 | 9.29 | 0.68 | 5.43 | 0.07 | 18.72 | 12.49 | 1.59 | 0.37 | 96.54 | 0.86 | 0.175 |
| 12Bar37 | 43.77 | 3.92 | 10.32 | 0.72 | 5.64 | 0.04 | 17.48 | 11.38 | 3.06 | 0.22 | 96.55 | 0.847 | 0.046 |
| rim | 43.73 | 3.66 | 10.21 | 0.64 | 5.62 | 0.04 | 17.49 | 11.47 | 2.88 | 0.24 | 95.99 | 0.847 | 0.038 |
| core | 43.25 | 3.99 | 10.23 | 0.71 | 5.61 | 0.05 | 17.19 | 11.52 | 3.03 | 0.23 | 95.81 | 0.845 | 0.037 |
| core | 43.13 | 3.80 | 10.24 | 0.31 | 5.76 | 0.04 | 17.50 | 11.55 | 2.85 | 0.26 | 95.45 | 0.844 | 0.045 |
| rim | 43.83 | 3.46 | 10.14 | 0.40 | 5.72 | 0.07 | 17.92 | 11.51 | 2.73 | 0.31 | 96.08 | 0.848 | 0.044 |
| core | 45.75 | 2.16 | 9.07 | 0.59 | 5.87 | 0.11 | 18.76 | 11.48 | 2.43 | 0.48 | 96.69 | 0.851 | 0.034 |
| rim | 45.95 | 2.17 | 9.09 | 0.49 | 5.49 | 0.06 | 18.35 | 11.47 | 2.77 | 0.52 | 96.35 | 0.856 | 0.065 |
| core | 43.96 | 3.41 | 9.99 | 0.74 | 5.74 | 0.06 | 17.73 | 11.53 | 2.99 | 0.26 | 96.40 | 0.846 | 0.043 |
| rim | 44.09 | 3.16 | 9.77 | 0.61 | 5.72 | 0.05 | 18.15 | 10.97 | 2.41 | 0.28 | 95.21 | 0.85 | 0.048 |
| 12BAR38 | 46.51 | 0.14 | 9.27 | 0.36 | 6.05 | 0.03 | 18.78 | 12.33 | 1.90 | 0.07 | 95.43 | 0.847 | 0.17 |

Table 9.Cont.

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Cr2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | Total | Mg# | Cl |
|-------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| RIM | 47.32 | 0.16 | 8.44 | 0.25 | 5.83 | 0.01 | 19.31 | 12.48 | 1.73 | 0.05 | 95.58 | 0.855 | 0.172 |
| C2 | 47.48 | 0.15 | 8.79 | 0.37 | 6.08 | 0.05 | 19.19 | 12.31 | 1.74 | 0.16 | 96.31 | 0.849 | 0.222 |
| RIM | 46.79 | 0.18 | 9.05 | 0.33 | 6.19 | 0.02 | 18.95 | 12.32 | 1.67 | 0.18 | 95.67 | 0.845 | 0.141 |
| C3-HBL | 49.55 | 0.18 | 8.27 | 0.31 | 5.70 | 0.03 | 19.90 | 12.40 | 1.56 | 0.17 | 98.06 | 0.862 | 0.144 |
| RIM | 48.50 | 0.24 | 8.18 | 0.25 | 5.66 | 0.02 | 19.37 | 12.52 | 1.47 | 0.18 | 96.39 | 0.859 | 0.154 |
| C4-HBL | 46.80 | 0.28 | 9.23 | 0.48 | 5.97 | 0.03 | 19.08 | 12.44 | 1.88 | 0.20 | 96.39 | 0.851 | 0.206 |
| RIM | 48.21 | 0.34 | 8.66 | 0.49 | 5.71 | 0.02 | 19.38 | 12.35 | 1.59 | 0.25 | 97.01 | 0.858 | 0.172 |
| 12BAR50 | 43.83 | 3.75 | 10.74 | 1.26 | 5.81 | 0.10 | 17.01 | 11.11 | 3.06 | 0.24 | 96.92 | 0.839 | 0.027 |
| RIM | 43.48 | 3.50 | 10.84 | 1.13 | 5.80 | 0.09 | 17.02 | 11.09 | 3.03 | 0.29 | 96.28 | 0.839 | 0.026 |
| C2-HBL | 47.61 | 0.15 | 8.68 | 0.03 | 5.28 | 0.10 | 19.76 | 11.04 | 2.45 | 0.06 | 95.17 | 0.87 | 0.086 |
| RIM | 49.12 | 0.19 | 7.36 | 0.05 | 4.78 | 0.08 | 20.45 | 11.37 | 2.29 | 0.06 | 95.73 | 0.884 | 0.072 |
| C3-HBL | 43.28 | 3.43 | 10.79 | 1.41 | 5.87 | 0.09 | 17.18 | 11.27 | 2.95 | 0.31 | 96.58 | 0.839 | 0.031 |
| RIM | 43.92 | 3.27 | 11.15 | 1.54 | 5.93 | 0.11 | 17.39 | 11.11 | 3.15 | 0.31 | 97.87 | 0.839 | 0.033 |
| HBL | 44.34 | 2.51 | 10.52 | 0.96 | 5.96 | 0.07 | 17.63 | 11.13 | 2.89 | 0.47 | 96.48 | 0.841 | 0.017 |
| RIM | 48.08 | 0.89 | 7.59 | 0.47 | 5.51 | 0.08 | 19.79 | 10.88 | 2.66 | 0.13 | 96.08 | 0.865 | 0.088 |
| C4-HBL | 48.73 | 0.77 | 7.52 | 0.79 | 4.98 | 0.08 | 19.85 | 11.38 | 2.43 | 0.07 | 96.59 | 0.877 | 0.1 |
| RIM | 56.72 | 0.01 | 0.75 | 0.07 | 2.43 | 0.06 | 23.13 | 12.89 | 0.17 | 0.00 | 96.21 | 0.944 | 0.016 |
| 12BAR67 | 49.42 | 1.41 | 4.77 | 0.13 | 11.90 | 0.18 | 15.53 | 11.34 | 1.40 | 0.47 | 96.56 | 0.699 | 0.149 |
| RIM | 50.81 | 0.92 | 3.62 | 0.09 | 11.53 | 0.22 | 16.34 | 11.09 | 1.04 | 0.26 | 95.90 | 0.716 | 0.116 |
| RIM | 53.14 | 0.62 | 2.16 | 0.02 | 10.11 | 0.14 | 17.67 | 10.90 | 0.72 | 0.00 | 95.48 | 0.757 | 0.03 |
| HBL2 | 50.98 | 0.82 | 3.36 | 0.03 | 12.36 | 0.27 | 16.21 | 10.39 | 1.10 | 0.26 | 95.78 | 0.7 | 0.179 |
| C | 50.91 | 0.83 | 3.28 | 0.01 | 12.55 | 0.25 | 16.22 | 10.35 | 1.07 | 0.24 | 95.70 | 0.697 | 0.18 |
| RIM | 50.62 | 0.80 | 3.40 | 0.04 | 12.49 | 0.25 | 16.12 | 10.52 | 1.12 | 0.26 | 95.61 | 0.697 | 0.196 |
| RIM | 51.28 | 0.30 | 3.63 | 0.01 | 15.24 | 0.27 | 14.62 | 9.46 | 0.70 | 0.00 | 95.50 | 0.63 | 0.03 |
| HBL3 | 50.23 | 0.88 | 3.89 | 0.12 | 12.39 | 0.21 | 16.04 | 10.55 | 1.16 | 0.27 | 95.73 | 0.70 | 0.11 |
| M | 50.53 | 0.80 | 3.61 | 0.05 | 12.25 | 0.26 | 16.25 | 10.39 | 1.04 | 0.23 | 95.41 | 0.703 | 0.096 |
| RIM | 51.27 | 0.64 | 3.15 | 0.05 | 12.18 | 0.27 | 16.67 | 10.44 | 0.91 | 0.14 | 95.71 | 0.709 | 0.106 |
| C2-HBL | 50.20 | 0.95 | 3.98 | 0.14 | 12.11 | 0.21 | 16.00 | 10.78 | 1.36 | 0.39 | 96.12 | 0.702 | 0.143 |
| M | 51.33 | 0.80 | 3.59 | 0.09 | 12.40 | 0.23 | 16.39 | 10.46 | 1.09 | 0.20 | 96.58 | 0.702 | 0.131 |
| RIM | 53.44 | 0.42 | 2.00 | 0.05 | 10.15 | 0.19 | 18.33 | 10.49 | 0.88 | 0.00 | 95.95 | 0.763 | 0.052 |
| C3-HBL | 53.00 | 0.16 | 3.36 | 0.32 | 10.48 | 0.15 | 15.94 | 11.98 | 0.73 | 0.03 | 96.14 | 0.731 | 0.201 |
| RIM | 54.19 | 0.19 | 1.68 | 0.04 | 11.21 | 0.23 | 17.84 | 10.41 | 0.22 | 0.00 | 96.01 | 0.739 | 0.019 |
| C4-HBL | 51.82 | 1.06 | 3.67 | 0.06 | 9.20 | 0.16 | 17.83 | 11.54 | 1.06 | 0.27 | 96.65 | 0.776 | 0.089 |
| RIM | 51.96 | 0.17 | 4.17 | 0.11 | 9.33 | 0.15 | 18.53 | 10.93 | 0.94 | 0.00 | 96.30 | 0.78 | 0.059 |
| 12BARE04 | 50.36 | 0.00 | 7.15 | 0.07 | 4.05 | 0.05 | 20.23 | 12.54 | 1.34 | 0.00 | 95.79 | 0.899 | 0.107 |
| RIM | 45.67 | 0.01 | 12.09 | 0.00 | 4.94 | 0.04 | 18.51 | 12.30 | 2.31 | 0.05 | 95.92 | 0.87 | 0.195 |
| C2-HBL | 44.88 | 1.49 | 10.67 | 1.38 | 5.16 | 0.07 | 18.25 | 11.55 | 2.45 | 0.08 | 95.97 | 0.863 | 0.037 |
| RIM | 48.70 | 0.43 | 7.75 | 0.46 | 4.52 | 0.10 | 19.95 | 12.03 | 1.50 | 0.00 | 95.43 | 0.887 | 0.019 |
| HBL | 48.89 | 0.63 | 7.96 | 0.24 | 4.57 | 0.08 | 19.72 | 11.99 | 1.62 | 0.00 | 95.69 | 0.885 | 0.023 |
| RIM | 48.66 | 0.63 | 8.21 | 0.21 | 4.51 | 0.07 | 19.92 | 11.95 | 1.63 | 0.00 | 95.80 | 0.887 | 0.027 |
| 12BARE04 | 43.41 | 3.09 | 11.63 | 0.35 | 6.67 | 0.11 | 17.11 | 11.45 | 2.90 | 0.11 | 96.82 | 0.821 | 0.03 |
| RIM | 57.47 | 0.03 | 0.22 | 0.03 | 3.49 | 0.11 | 22.62 | 12.75 | 0.14 | 0.00 | 96.85 | 0.92 | 0.002 |
| C4-HBL | 46.36 | 0.43 | 10.22 | 0.40 | 5.11 | 0.13 | 18.68 | 12.40 | 1.76 | 0.08 | 95.54 | 0.867 | 0.123 |
| M | 46.51 | 0.75 | 9.66 | 0.20 | 5.32 | 0.08 | 19.11 | 12.12 | 2.10 | 0.03 | 95.88 | 0.865 | 0.056 |
| RIM | 43.66 | 2.56 | 10.28 | 1.21 | 5.92 | 0.08 | 17.49 | 11.76 | 2.45 | 0.25 | 95.66 | 0.84 | 0.042 |
| 12BARE46 | 43.22 | 3.98 | 11.60 | 0.29 | 6.34 | 0.08 | 16.62 | 11.72 | 2.56 | 0.49 | 96.89 | 0.824 | 0.223 |
| M | 43.57 | 4.18 | 11.15 | 0.26 | 6.19 | 0.08 | 16.65 | 12.03 | 2.58 | 0.62 | 97.30 | 0.827 | 0.212 |
| M | 45.80 | 3.91 | 9.10 | 0.13 | 6.08 | 0.10 | 17.76 | 11.76 | 2.14 | 0.63 | 97.40 | 0.839 | 0.165 |
| M | 46.51 | 3.53 | 8.47 | 0.15 | 5.45 | 0.09 | 18.07 | 12.21 | 2.00 | 0.57 | 97.04 | 0.855 | 0.158 |
| M | 56.60 | 0.28 | 0.45 | 0.00 | 4.69 | 0.08 | 22.11 | 12.42 | 0.18 | 0.00 | 96.81 | 0.894 | 0.039 |
| RIM | 43.67 | 4.34 | 10.99 | 0.36 | 6.04 | 0.08 | 16.54 | 11.97 | 2.51 | 0.72 | 97.22 | 0.83 | 0.186 |
| RIM | 43.36 | 3.67 | 8.89 | 0.22 | 5.96 | 0.08 | 20.85 | 9.60 | 1.95 | 0.50 | 95.08 | 0.862 | 0.169 |
| C2-HBL | 44.57 | 4.12 | 10.54 | 0.30 | 6.06 | 0.09 | 16.97 | 11.96 | 2.82 | 0.06 | 97.48 | 0.833 | 0.077 |
| M | 46.88 | 0.15 | 10.18 | 0.00 | 6.48 | 0.08 | 18.39 | 12.22 | 2.32 | 0.04 | 96.73 | 0.835 | 0.231 |
| RIM | 47.63 | 0.07 | 9.58 | 0.02 | 6.55 | 0.10 | 18.65 | 12.04 | 2.22 | 0.02 | 96.88 | 0.835 | 0.178 |
| M | 44.29 | 2.41 | 11.36 | 1.02 | 6.25 | 0.10 | 16.89 | 11.96 | 2.67 | 0.11 | 97.05 | 0.828 | 0.071 |
| RIM | 52.01 | 0.20 | 4.58 | 0.07 | 7.85 | 0.08 | 19.05 | 12.24 | 0.71 | 0.00 | 96.79 | 0.812 | 0.117 |
| HBL2 | 45.15 | 0.11 | 10.53 | 0.00 | 7.18 | 0.14 | 18.96 | 10.97 | 2.19 | 0.02 | 95.24 | 0.825 | 0.192 |
| RIM | 47.12 | 0.12 | 9.58 | 0.00 | 6.44 | 0.10 | 18.53 | 12.02 | 2.15 | 0.02 | 96.08 | 0.837 | 0.202 |
| C3-HBL | 43.68 | 4.07 | 10.74 | 0.33 | 6.10 | 0.07 | 16.65 | 11.81 | 2.75 | 0.15 | 96.33 | 0.83 | 0.077 |
| M | 43.65 | 4.01 | 10.75 | 0.35 | 5.93 | 0.08 | 16.66 | 11.81 | 2.76 | 0.15 | 96.15 | 0.833 | 0.069 |
| RIM | 56.63 | 0.08 | 0.58 | 0.00 | 4.31 | 0.07 | 22.22 | 12.23 | 0.24 | 0.00 | 96.36 | 0.902 | 0.044 |
| HBL2 | 46.91 | 0.04 | 10.02 | 0.00 | 6.43 | 0.06 | 18.29 | 12.05 | 2.15 | 0.02 | 95.98 | 0.835 | 0.18 |
| RIM | 56.77 | 0.02 | 0.21 | 0.00 | 3.38 | 0.06 | 22.46 | 12.89 | 0.04 | 0.00 | 95.83 | 0.922 | 0.016 |
| C4-HBL | 54.48 | 0.00 | 2.29 | 0.00 | 5.04 | 0.07 | 20.86 | 12.57 | 0.43 | 0.00 | 95.75 | 0.88 | 0.077 |
| RIM | 46.50 | 0.02 | 10.51 | 0.00 | 7.20 | 0.07 | 17.31 | 12.03 | 1.82 | 0.01 | 95.47 | 0.811 | 0.262 |
| HBL2 | 45.01 | 0.02 | 12.31 | 0.02 | 7.76 | 0.07 | 16.87 | 11.48 | 2.30 | 0.01 | 95.86 | 0.795 | 0.131 |
| RIM | 48.09 | 0.02 | 9.06 | 0.00 | 6.86 | 0.07 | 18.17 | 12.20 | 1.58 | 0.02 | 96.06 | 0.825 | 0.183 |
| 12BARE52-C1 | 54.71 | 0.03 | 1.61 | 0.00 | 4.90 | 0.18 | 21.44 | 12.88 | 0.25 | 0.00 | 95.99 | 0.886 | 0.087 |
| RIM | 54.87 | 0.02 | 1.03 | 0.00 | 4.64 | 0.16 | 22.14 | 12.67 | 0.25 | 0.00 | 95.78 | 0.895 | 0.037 |
| HBL2 | 48.93 | 0.84 | 7.61 | 0.15 | 6.76 | 0.14 | 18.82 | 12.40 | 1.30 | 0.00 | 96.95 | 0.832 | 0.029 |
| RIM | 49.61 | 0.46 | 7.05 | 0.13 | 6.68 | 0.14 | 19.29 | 12.22 | 1.12 | 0.00 | 96.70 | 0.837 | 0.012 |

Table 9.Cont.

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Cr2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | Total | Mg# | Cl |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C3-HBL | 48.08 | 0.09 | 8.17 | 0.02 | 9.49 | 0.15 | 17.53 | 12.30 | 1.15 | 0.02 | 96.98 | 0.767 | 0.137 |
| RIM | 46.00 | 0.06 | 10.92 | 0.01 | 9.79 | 0.21 | 16.87 | 11.82 | 1.58 | 0.00 | 97.26 | 0.754 | 0.141 |
| C4-HBL | 44.43 | 0.92 | 11.97 | 0.50 | 7.37 | 0.12 | 16.55 | 11.90 | 1.58 | 0.00 | 95.34 | 0.8 | 0.057 |
| RIM | 56.27 | 0.02 | 0.89 | 0.03 | 3.68 | 0.11 | 22.41 | 13.27 | 0.14 | 0.00 | 96.82 | 0.916 | 0.047 |
| 12BARE57 | 46.90 | 0.42 | 8.50 | 0.51 | 6.53 | 0.04 | 18.42 | 12.29 | 1.53 | 0.00 | 95.13 | 0.834 | 0.18 |
| RIM | 55.73 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | 3.37 | 0.01 | 22.35 | 13.52 | 0.05 | 0.00 | 95.20 | 0.922 | 0.005 |
| C2-HBL | 53.00 | 0.13 | 2.72 | 0.40 | 5.07 | 0.05 | 21.34 | 12.38 | 0.54 | 0.00 | 95.62 | 0.882 | 0.062 |
| RIM | 50.90 | 0.57 | 5.30 | 0.15 | 5.53 | 0.05 | 20.20 | 12.16 | 1.07 | 0.00 | 95.91 | 0.867 | 0.046 |
| C3-HBL | 48.76 | 0.38 | 8.25 | 0.49 | 6.14 | 0.04 | 18.88 | 12.61 | 1.32 | 0.01 | 96.88 | 0.846 | 0.158 |
| RIM | 47.41 | 0.40 | 8.48 | 0.54 | 6.23 | 0.06 | 18.45 | 12.41 | 1.42 | 0.00 | 95.38 | 0.841 | 0.16 |
| HBL | 47.92 | 0.38 | 8.83 | 0.51 | 6.32 | 0.05 | 18.46 | 12.27 | 1.43 | 0.00 | 96.17 | 0.839 | 0.157 |
| RIM | 48.53 | 0.41 | 7.48 | 0.49 | 5.86 | 0.03 | 18.86 | 12.44 | 1.21 | 0.00 | 95.29 | 0.851 | 0.17 |
| HBL | 48.50 | 0.39 | 7.18 | 0.37 | 5.93 | 0.05 | 19.16 | 12.33 | 1.17 | 0.00 | 95.07 | 0.852 | 0.171 |
| RIM | 54.53 | 0.15 | 1.45 | 0.32 | 10.99 | 0.18 | 30.35 | 1.64 | 0.02 | 0.00 | 99.63 | 0.831 | 0 |
| 12BarE78 | 55.70 | 0.13 | 2.01 | 0.45 | 3.91 | 0.09 | 22.01 | 12.91 | 0.28 | 0.00 | 97.49 | 0.909 | 0.027 |
| RIM | 55.40 | 0.15 | 2.61 | 0.36 | 4.03 | 0.05 | 22.94 | 12.91 | 0.53 | 0.00 | 98.98 | 0.91 | 0.04 |
| C4-HBL | 48.38 | 0.10 | 9.99 | 0.25 | 6.31 | 0.08 | 18.80 | 11.76 | 1.63 | 0.03 | 97.32 | 0.842 | 0.055 |
| RIM | 56.40 | 0.03 | 1.02 | 0.05 | 4.59 | 0.08 | 22.85 | 12.42 | 0.11 | 0.00 | 97.55 | 0.899 | 0.019 |
| 12BARE81 | 43.34 | 3.09 | 10.70 | 0.26 | 9.46 | 0.11 | 15.42 | 11.10 | 3.02 | 0.26 | 96.76 | 0.744 | 0.067 |
| M | 43.33 | 2.98 | 10.71 | 0.19 | 9.47 | 0.10 | 15.37 | 11.08 | 2.98 | 0.27 | 96.48 | 0.743 | 0.063 |
| RIM | 43.21 | 3.14 | 10.57 | 0.81 | 9.75 | 0.09 | 15.01 | 11.04 | 3.01 | 0.23 | 96.85 | 0.733 | 0.07 |
| RIM | 43.16 | 3.14 | 10.78 | 0.42 | 9.50 | 0.09 | 15.27 | 11.07 | 2.98 | 0.28 | 96.68 | 0.741 | 0.067 |
| C2 | 43.42 | 3.19 | 10.49 | 0.44 | 9.45 | 0.06 | 15.45 | 11.27 | 2.85 | 0.28 | 96.89 | 0.744 | 0.053 |
| M | 43.23 | 3.03 | 10.70 | 0.33 | 9.94 | 0.05 | 15.26 | 11.31 | 2.82 | 0.28 | 96.95 | 0.732 | 0.053 |
| RIM | 42.87 | 3.11 | 10.70 | 0.49 | 9.48 | 0.09 | 15.05 | 11.23 | 2.83 | 0.24 | 96.09 | 0.739 | 0.058 |
| M | 53.57 | 0.60 | 1.87 | 0.07 | 8.36 | 0.12 | 19.62 | 11.02 | 0.84 | 0.10 | 96.16 | 0.807 | 0.085 |
| RIOM | 53.54 | 0.66 | 2.06 | 0.41 | 8.39 | 0.14 | 20.39 | 9.74 | 0.69 | 0.02 | 96.02 | 0.812 | 0.052 |
| RIM | 50.65 | 0.07 | 5.26 | 0.03 | 8.31 | 0.06 | 18.60 | 11.50 | 1.06 | 0.00 | 95.52 | 0.8 | 0.036 |
| C3-HBL | 56.18 | 0.00 | 0.99 | 0.00 | 5.37 | 0.10 | 22.05 | 11.86 | 0.33 | 0.00 | 96.87 | 0.88 | 0.017 |
| RIM | 56.44 | 0.00 | 0.26 | 0.00 | 4.55 | 0.08 | 21.72 | 13.06 | 0.08 | 0.00 | 96.18 | 0.895 | 0 |
| HBL2 | 56.13 | 0.00 | 0.22 | 0.01 | 4.69 | 0.07 | 21.53 | 13.17 | 0.06 | 0.00 | 95.88 | 0.891 | 0 |
| 68.71 | 56.24 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 4.60 | 0.08 | 21.63 | 13.18 | 0.10 | 0.00 | 96.14 | 0.893 | 0.003 |
| C4-HBL | 44.14 | 3.28 | 8.83 | 0.55 | 9.55 | 0.11 | 15.50 | 11.12 | 2.70 | 0.23 | 96.01 | 0.743 | 0.074 |
| M | 45.92 | 3.10 | 7.67 | 0.62 | 9.70 | 0.07 | 15.74 | 11.04 | 2.17 | 0.22 | 96.24 | 0.743 | 0.076 |
| RIM | 53.81 | 0.61 | 2.40 | 0.37 | 8.18 | 0.10 | 19.42 | 10.85 | 0.77 | 0.00 | 96.49 | 0.809 | 0.017 |
| C5-HBL | 44.96 | 3.13 | 8.56 | 0.60 | 9.86 | 0.11 | 15.36 | 11.29 | 2.28 | 0.25 | 96.39 | 0.735 | 0.064 |
| M | 46.05 | 3.13 | 7.54 | 0.50 | 9.26 | 0.08 | 16.05 | 11.16 | 2.54 | 0.30 | 96.62 | 0.755 | 0.075 |
| RIM | 53.94 | 0.57 | 2.21 | 0.22 | 8.79 | 0.08 | 18.86 | 11.33 | 0.72 | 0.00 | 96.70 | 0.793 | 0.033 |
| Foliated gabbroonrite | | | | | | | | | | | | | |
| 09SAL22 | 53.63 | 0.328 | 1.196 | 0.085 | 12.39 | 0.227 | 29.57 | 1.308 | 0.011 | 0 | 98.74 | 0.81 | 0.004 |
| M | 42.87 | 2.736 | 10.56 | 0.773 | 8.784 | 0.062 | 15.82 | 11.45 | 2.707 | 0.423 | 96.19 | 0.762 | 0.129 |
| M | 42.47 | 2.437 | 10.77 | 0.932 | 8.664 | 0.056 | 15.83 | 11.53 | 2.666 | 0.463 | 95.81 | 0.765 | 0.15 |
| RIM | 46.17 | 0.832 | 8.674 | 0.61 | 8.215 | 0.056 | 17.41 | 12.13 | 2.119 | 0.045 | 96.26 | 0.791 | 0.013 |
| C2 | 44.43 | 0.535 | 10.07 | 0.258 | 8.431 | 0.026 | 17.28 | 11.82 | 2.442 | 0.13 | 95.43 | 0.785 | 0.055 |
| M | 42.65 | 2.155 | 10.7 | 0.92 | 8.695 | 0.047 | 15.87 | 11.55 | 2.589 | 0.449 | 95.63 | 0.765 | 0.129 |
| RIM | 45.41 | 0.545 | 8.572 | 0.688 | 7.826 | 0.061 | 17.85 | 11.78 | 2.094 | 0.15 | 94.97 | 0.803 | 0.047 |
| C3-HBL | 42.58 | 2.021 | 10.57 | 0.751 | 8.595 | 0.035 | 16.07 | 11.56 | 2.604 | 0.464 | 95.25 | 0.769 | 0.133 |
| RIM | 42.66 | 2.914 | 10.49 | 0.446 | 8.555 | 0.077 | 15.87 | 11.42 | 2.644 | 0.435 | 95.5 | 0.768 | 0.119 |
| RIM | 43.45 | 0.889 | 10.57 | 0.395 | 8.603 | 0.053 | 16.77 | 11.37 | 2.439 | 0.38 | 94.92 | 0.777 | 0.143 |
| HBL | 47.07 | 0.055 | 7.967 | 0 | 7.265 | 0.072 | 18.5 | 11.98 | 2.078 | 0.04 | 95.03 | 0.819 | 0.222 |
| RIM | 44.59 | 0.122 | 10.33 | 0 | 9.991 | 0.083 | 15.42 | 11.9 | 1.857 | 0.018 | 94.31 | 0.733 | 0.125 |
| C4-HBL | 42.01 | 3.201 | 10.45 | 0.57 | 8.708 | 0.051 | 15.75 | 11.53 | 2.709 | 0.403 | 95.37 | 0.763 | 0.113 |
| RIM | 42.22 | 3.11 | 10.54 | 0.448 | 8.793 | 0.034 | 15.83 | 11.58 | 2.761 | 0.436 | 95.75 | 0.762 | 0.118 |
| 11BARE17 | 52.74 | 0.273 | 4.727 | 0.178 | 7.634 | 0.18 | 18.84 | 12.93 | 0.424 | 0 | 97.92 | 0.815 | 0.011 |
| RIM | 53.11 | 0.226 | 4.185 | 0.053 | 7.031 | 0.137 | 19.86 | 12.76 | 0.487 | 0 | 97.84 | 0.834 | 0.009 |
| AMP2 | 49.77 | 0.139 | 7.13 | 0.008 | 7.148 | 0.193 | 19.21 | 12.36 | 0.873 | 0.046 | 96.88 | 0.827 | 0.057 |
| RIM | 50.94 | 0.168 | 7.924 | 0.01 | 7.556 | 0.23 | 18.59 | 12.45 | 0.868 | 0 | 98.73 | 0.814 | 0.021 |
| C3-AMP | 50.74 | 0.623 | 4.536 | 0.231 | 6.358 | 0.134 | 20.3 | 12.25 | 0.647 | 0 | 95.82 | 0.85 | 0 |
| RIM | 50.34 | 0.395 | 5.114 | 0.1 | 7.155 | 0.132 | 19.63 | 12.39 | 0.703 | 0 | 95.96 | 0.83 | 0.002 |
| C5-AMP | 49.39 | 0.105 | 7.381 | 0.016 | 13.22 | 0.382 | 14.79 | 12.44 | 0.736 | 0.037 | 98.49 | 0.666 | 0.193 |
| RIM | 52.75 | 0.191 | 4.804 | 0.038 | 7.825 | 0.193 | 19.46 | 11.86 | 0.631 | 0 | 97.74 | 0.816 | 0.019 |
| 12BARE56 | 50.11 | 0.245 | 6.39 | 0.378 | 6.709 | 0.095 | 19.93 | 11.53 | 1.318 | 0.025 | 96.72 | 0.841 | 0.069 |
| RIM | 46 | 0.103 | 10.76 | 0.178 | 8.066 | 0.111 | 17.54 | 11.26 | 2.12 | 0.052 | 96.2 | 0.795 | 0.069 |
| RIM | 55.7 | 0.045 | 1.217 | 0.171 | 5.539 | 0.215 | 22.46 | 10.61 | 0.257 | 0 | 96.22 | 0.878 | 0.024 |
| C3-HBL | 54.51 | 0.163 | 1.461 | 0.302 | 11.7 | 0.255 | 29.56 | 1.435 | 0.021 | 0 | 99.41 | 0.818 | 0.018 |
| RIM | 43.14 | 2.554 | 11.64 | 0.89 | 7.665 | 0.086 | 15.97 | 11.16 | 2.876 | 0.263 | 96.24 | 0.788 | 0.053 |
| HBL2 | 43.72 | 1.934 | 10.72 | 1.487 | 7.123 | 0.093 | 16.57 | 11.32 | 2.611 | 0.335 | 95.92 | 0.806 | 0.052 |
| RIM | 48.43 | 0.872 | 6.932 | 0.497 | 6.972 | 0.131 | 18.54 | 11.62 | 1.551 | 0.047 | 95.58 | 0.826 | 0.1 |
| C4-HBL | 55.18 | 0.118 | 1.52 | 0.201 | 5.345 | 0.141 | 21.98 | 11.1 | 0.364 | 0 | 95.94 | 0.88 | 0.051 |
| M | 43.36 | 1.821 | 11.35 | 1.445 | 7.521 | 0.073 | 16.46 | 11.27 | 2.64 | 0.294 | 96.23 | 0.796 | 0.048 |
| RIM | 43.33 | 1.888 | 11.46 | 1.357 | 7.525 | 0.086 | 16.16 | 11.15 | 2.763 | 0.259 | 95.98 | 0.793 | 0.055 |
| RIM | 49.06 | 0.825 | 6.797 | 0.67 | 6.516 | 0.098 | 18.75 | 11.89 | 1.456 | 0.03 | 96.09 | 0.837 | 0.06 |

Table 9.Cont.

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Cr2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | Total | Mg# | Cl |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C5-HBL | 50.84 | 0.265 | 5.536 | 0.398 | 6.722 | 0.124 | 19.49 | 11.6 | 1.256 | 0.017 | 96.25 | 0.838 | 0.061 |
| RIM | 51.27 | 0.291 | 5.314 | 0.293 | 7.178 | 0.156 | 18.98 | 11.52 | 1.118 | 0 | 96.12 | 0.825 | 0.042 |
| HBL2 | 52.79 | 0.305 | 3.679 | 0.286 | 6.061 | 0.095 | 20.28 | 11.96 | 0.75 | 0.014 | 96.22 | 0.856 | 0.052 |
| RIM | 53.55 | 0.177 | 3.114 | 0.212 | 5.576 | 0.084 | 20.88 | 12.17 | 0.678 | 0.011 | 96.45 | 0.87 | 0.022 |
| 12BarE87 | 46.13 | 1.141 | 9.289 | 0.075 | 11.73 | 0.189 | 15.61 | 11.49 | 1.892 | 0 | 97.54 | 0.703 | 0.04 |
| C19-AMP | 50.07 | 0.283 | 5.843 | 0.013 | 13.85 | 0.34 | 15.35 | 11.06 | 0.654 | 0 | 97.47 | 0.664 | 0.048 |
| C26-AMP | 52.46 | 0.309 | 3.661 | 0.068 | 13.72 | 0.52 | 16.44 | 10.48 | 0.249 | 0 | 97.9 | 0.681 | 0.031 |
| RIM | 52.64 | 0.137 | 2.894 | 0.079 | 15.99 | 0.786 | 16.11 | 8.723 | 0.26 | 0 | 97.62 | 0.642 | 0.042 |
| AMP2 | 50.54 | 0.345 | 5.461 | 0.067 | 13.69 | 0.376 | 15.6 | 10.72 | 0.653 | 0 | 97.45 | 0.67 | 0.046 |
| RIM | 49.89 | 0.277 | 6.14 | 0.063 | 15.55 | 0.415 | 14 | 9.82 | 0.757 | 0.019 | 96.93 | 0.616 | 0.089 |
| C36-AMP | 54.82 | 0.074 | 0.579 | 0.028 | 12.5 | 0.381 | 16.12 | 12.83 | 0.02 | 0 | 97.35 | 0.697 | 0.037 |
| RIM | 48.12 | 1.592 | 7.098 | 0.126 | 11.15 | 0.179 | 16.08 | 11.9 | 0.842 | 0.016 | 97.09 | 0.72 | 0.062 |
| 12BARE88 | 48.46 | 1.434 | 5.596 | 0 | 11.76 | 0.286 | 16.14 | 11.45 | 1.303 | 0.021 | 96.45 | 0.71 | 0.087 |
| RIM | 48.94 | 1.04 | 4.921 | 0 | 10.95 | 0.232 | 16.92 | 11.38 | 1.266 | 0.028 | 95.68 | 0.734 | 0.107 |
| AMP2 | 51.99 | 0.279 | 2.94 | 0.096 | 12.4 | 0.274 | 15.9 | 12.58 | 0.538 | 0.046 | 97.04 | 0.696 | 0.047 |
| RIM | 50.06 | 0.694 | 4.707 | 0 | 11.1 | 0.225 | 17.18 | 11.3 | 1.132 | 0.064 | 96.46 | 0.734 | 0.136 |
| AMP3 | 48.21 | 1.271 | 5.858 | 0 | 11.38 | 0.243 | 16.58 | 11.42 | 1.546 | 0.032 | 96.54 | 0.722 | 0.125 |
| RIM | 49.88 | 1.171 | 4.64 | 0 | 10.73 | 0.236 | 17.14 | 11.56 | 1.06 | 0.245 | 96.67 | 0.74 | 0.138 |
| AMP4 | 50.17 | 0.788 | 4.594 | 0 | 11.09 | 0.283 | 17.32 | 11.33 | 1.208 | 0.046 | 96.84 | 0.736 | 0.12 |
| RIM | 50.55 | 0.697 | 4.4 | 0.054 | 10.85 | 0.276 | 17.57 | 11.2 | 1.155 | 0.057 | 96.81 | 0.743 | 0.111 |
| AMP2 | 49.98 | 1.117 | 4.86 | 0.034 | 10.87 | 0.244 | 17.33 | 11.23 | 1.379 | 0.022 | 97.06 | 0.74 | 0.083 |
| RIM | 52.81 | 0.438 | 2.147 | 0 | 10.34 | 0.144 | 17.81 | 12.12 | 0.565 | 0 | 96.37 | 0.754 | 0.044 |
| AMP3 | 49.81 | 1.031 | 5.175 | 0.013 | 11.23 | 0.271 | 16.91 | 11.35 | 1.468 | 0.034 | 97.29 | 0.729 | 0.102 |
| RIM | 50.23 | 1.126 | 4.451 | 0 | 12.44 | 0.29 | 14.74 | 11.52 | 0.744 | 0.129 | 95.66 | 0.679 | 0.07 |
| AMP4 | 48.51 | 1.378 | 5.632 | 0 | 11.05 | 0.195 | 16.83 | 11.44 | 1.51 | 0.027 | 96.58 | 0.731 | 0.095 |
| RIM | 49.54 | 1.142 | 5.009 | 0.016 | 11.05 | 0.253 | 17.15 | 11.3 | 1.414 | 0.028 | 96.9 | 0.735 | 0.103 |
| C4-AMP | 48.03 | 1.395 | 5.809 | 0.007 | 11.3 | 0.215 | 16.69 | 11.32 | 1.453 | 0.007 | 96.22 | 0.725 | 0.078 |
| M | 48.04 | 1.173 | 5.945 | 0 | 11.35 | 0.252 | 16.59 | 11.47 | 1.413 | 0.003 | 96.23 | 0.723 | 0.072 |
| RIM | 50.94 | 0.26 | 4.168 | 0.023 | 10.36 | 0.316 | 18.22 | 11.48 | 0.844 | 0 | 96.61 | 0.758 | 0.002 |
| AMP2 | 48.64 | 1.405 | 6.178 | 0 | 10.59 | 0.191 | 16.92 | 11.46 | 1.504 | 0.017 | 96.9 | 0.74 | 0.071 |
| RIM | 48.73 | 1.347 | 5.871 | 0 | 10.93 | 0.224 | 16.79 | 11.44 | 1.37 | 0.01 | 96.71 | 0.732 | 0.062 |
| C5-AMP | 49.59 | 1.118 | 4.981 | 0.029 | 10.2 | 0.185 | 17.33 | 11.61 | 0.93 | 0.008 | 95.98 | 0.752 | 0.05 |
| RIM | 48.73 | 1.22 | 5.736 | 0 | 10.84 | 0.218 | 16.77 | 11.59 | 0.95 | 0.042 | 96.1 | 0.734 | 0.108 |
| AMP2 | 50.28 | 0.56 | 5.127 | 0.002 | 11.34 | 0.248 | 17.11 | 11.68 | 0.781 | 0.153 | 97.29 | 0.729 | 0.031 |
| RIM | 52 | 0.314 | 3.506 | 0 | 10.23 | 0.297 | 18.07 | 11.67 | 0.551 | 0.021 | 96.65 | 0.759 | 0.015 |
| RIM | 51.61 | 0.441 | 4.043 | 0.02 | 10.41 | 0.26 | 17.83 | 11.74 | 0.612 | 0 | 96.96 | 0.753 | 0.041 |
| AMP3 | 47.64 | 1.287 | 6.055 | 0.003 | 11.77 | 0.221 | 16.4 | 11.27 | 1.169 | 0.171 | 95.99 | 0.713 | 0.138 |
| RIM | 47.88 | 1.305 | 6.093 | 0 | 12.04 | 0.247 | 16.22 | 11.29 | 1.078 | 0.213 | 96.36 | 0.706 | 0.207 |
| C7-AMP | 48.09 | 1.46 | 5.975 | 0 | 11 | 0.181 | 16.6 | 11.39 | 1.579 | 0.019 | 96.29 | 0.729 | 0.091 |
| RIM | 52.14 | 0.184 | 2.857 | 0 | 10.29 | 0.27 | 18.09 | 11.66 | 0.724 | 0.083 | 96.3 | 0.758 | 0.084 |
| Massive gabbro | | | | | | | | | | | | | |
| 11BarE16 | 48.77 | 1.522 | 5.754 | 0.066 | 12.02 | 0.12 | 16.26 | 11.05 | 1.41 | 0.07 | 97.05 | 0.707 | 0.161 |
| RIM | 49.34 | 1.384 | 5.149 | 0.036 | 11.59 | 0.115 | 16.71 | 11.05 | 1.123 | 0.049 | 96.55 | 0.72 | 0.114 |
| AMP2 | 49.83 | 1.265 | 5.148 | 0.057 | 12.61 | 0.16 | 15.87 | 10.89 | 1.248 | 0.285 | 97.36 | 0.692 | 0.168 |
| RIM | 50.1 | 1.298 | 4.71 | 0.092 | 12.28 | 0.182 | 16.07 | 11.02 | 0.994 | 0.232 | 96.98 | 0.7 | 0.14 |
| RIM | 45.84 | 0.154 | 7.042 | 0.044 | 24.12 | 0.271 | 7.534 | 11.39 | 1.38 | 0 | 97.77 | 0.357 | 1.228 |
| Amphibole gabbro dyke | | | | | | | | | | | | | |
| 10SAL33-C1 | 52.76 | 0.298 | 3.159 | 0.08 | 10.4 | 0.221 | 18.85 | 10.77 | 0.436 | 0.013 | 96.98 | 0.763 | 0.063 |
| RIM | 51.71 | 0.289 | 3.706 | 0.058 | 11.8 | 0.267 | 18.47 | 9.311 | 0.452 | 0.013 | 96.07 | 0.736 | 0.072 |
| AMP2 | 50.84 | 0.536 | 4.085 | 0.161 | 10.77 | 0.142 | 17.77 | 11.5 | 0.655 | 0.065 | 96.52 | 0.746 | 0.175 |
| RIM | 50.88 | 0.522 | 3.729 | 0.142 | 10.36 | 0.14 | 18.04 | 11.53 | 0.731 | 0.054 | 96.13 | 0.756 | 0.179 |
| AMP3 | 52.56 | 0.549 | 3.688 | 0.418 | 10.63 | 0.191 | 18.23 | 10.77 | 0.538 | 0.008 | 97.57 | 0.753 | 0.065 |
| RIM | 52.34 | 0.254 | 3.571 | 0.139 | 10.56 | 0.18 | 18.54 | 10.88 | 0.54 | 0 | 96.99 | 0.758 | 0.038 |
| AMP4 | 54.11 | 0.345 | 2.608 | 0.092 | 10.22 | 0.226 | 18.88 | 10.9 | 0.321 | 0.005 | 97.7 | 0.767 | 0.056 |
| RIM | 52.39 | 0.396 | 3.539 | 0.056 | 11.02 | 0.242 | 18.43 | 10.54 | 0.505 | 0.019 | 97.14 | 0.749 | 0.079 |
| AMP5 | 53.06 | 0.345 | 3.037 | 0.072 | 10.39 | 0.22 | 18.75 | 10.92 | 0.416 | 0.01 | 97.23 | 0.763 | 0.078 |
| RIM | 54.42 | 0.376 | 3.679 | 0.119 | 10.97 | 0.208 | 19.12 | 10.55 | 0.411 | 0.004 | 99.86 | 0.756 | 0.095 |
| AMP6 | 53.99 | 0.307 | 2.406 | 0.09 | 10.78 | 0.236 | 19.24 | 10.24 | 0.326 | 0 | 97.62 | 0.761 | 0.075 |
| RIM | 53.77 | 0.333 | 2.642 | 0.096 | 11.04 | 0.301 | 18.89 | 10.22 | 0.364 | 0.01 | 97.66 | 0.753 | 0.063 |
| AMP7 | 52.22 | 0.495 | 3.837 | 0.137 | 10.44 | 0.157 | 18.22 | 11.28 | 0.766 | 0.054 | 97.61 | 0.757 | 0.134 |
| RIM | 52.13 | 0.477 | 3.792 | 0.101 | 10.62 | 0.14 | 18.16 | 11.22 | 0.732 | 0.046 | 97.41 | 0.753 | 0.134 |
| AMP8 | 51.94 | 0.522 | 3.625 | 0.104 | 10.29 | 0.163 | 18.21 | 11.41 | 0.674 | 0.052 | 96.99 | 0.759 | 0.148 |
| RIM | 52.27 | 0.476 | 3.58 | 0.111 | 10.39 | 0.164 | 18.26 | 11.27 | 0.643 | 0.038 | 97.2 | 0.758 | 0.128 |
| AMP9 | 52.41 | 0.456 | 3.434 | 0.085 | 10.18 | 0.163 | 18.25 | 11.28 | 0.585 | 0.036 | 96.87 | 0.761 | 0.144 |
| RIM | 52.1 | 0.508 | 3.67 | 0.102 | 10.47 | 0.169 | 18 | 11.28 | 0.691 | 0.049 | 97.04 | 0.754 | 0.15 |
| C2-AMP | 51.6 | 0.376 | 3.902 | 0.41 | 10.07 | 0.11 | 17.44 | 11.69 | 0.571 | 0.046 | 96.21 | 0.755 | 0.064 |
| RIM | 51.86 | 0.334 | 4.388 | 0.094 | 10.35 | 0.153 | 18.03 | 11.24 | 0.617 | 0.034 | 97.1 | 0.756 | 0.08 |
| AMP2 | 50.99 | 0.745 | 4.401 | 0.286 | 11.4 | 0.136 | 16.8 | 11.65 | 0.634 | 0.03 | 97.07 | 0.724 | 0.093 |
| RIM | 51.99 | 0.461 | 3.481 | 0.197 | 12.82 | 0.19 | 16.53 | 11.09 | 0.478 | 0.012 | 97.25 | 0.697 | 0.077 |
| AMP3 | 53.77 | 0.31 | 1.386 | 0.157 | 9.224 | 0.152 | 19.02 | 11.73 | 0.204 | 0.004 | 95.96 | 0.786 | 0.083 |
| RIM | 52.03 | 0.412 | 3.142 | 0.17 | 9.605 | 0.153 | 18.42 | 11.72 | 0.398 | 0.014 | 96.06 | 0.774 | 0.081 |
| AMP4 | 52.6 | 0.328 | 3.522 | 0.064 | 11.35 | 0.237 | 18.65 | 10.05 | 0.545 | 0.009 | 97.36 | 0.745 | 0.073 |

Table 9.Cont.

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Cr2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | Total | Mg# | Cl |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| RIM | 52.3 | 0.314 | 4.085 | 0.119 | 11.13 | 0.237 | 18.72 | 9.695 | 0.456 | 0.012 | 97.07 | 0.75 | 0.069 |
| C3-AMP | 52.2 | 0.304 | 4.482 | 0.246 | 9.56 | 0.142 | 18.55 | 11.05 | 0.42 | 0.018 | 96.98 | 0.776 | 0.063 |
| RIM | 52.97 | 0.295 | 3.756 | 0.189 | 9.508 | 0.136 | 18.65 | 11.48 | 0.437 | 0.038 | 97.46 | 0.778 | 0.085 |
| AMP2 | 53.18 | 0.37 | 3.225 | 0.085 | 9.717 | 0.137 | 18.7 | 11.71 | 0.41 | 0.012 | 97.55 | 0.774 | 0.043 |
| RIM | 52.22 | 0.424 | 3.288 | 0.189 | 11.31 | 0.149 | 17.41 | 12.16 | 0.336 | 0.006 | 97.48 | 0.733 | 0.079 |
| AMP3 | 52.56 | 0.339 | 5.568 | 0.246 | 10.9 | 0.252 | 18.24 | 9.121 | 0.646 | 0.017 | 97.89 | 0.749 | 0.053 |
| RIM | 52.09 | 0.31 | 3.429 | 0.229 | 10.84 | 0.218 | 15.48 | 12.38 | 0.386 | 0 | 95.37 | 0.718 | 0.055 |
| AMP4 | 52.92 | 0.301 | 3.708 | 0.007 | 10.01 | 0.172 | 18.28 | 11.52 | 0.52 | 0.022 | 97.45 | 0.765 | 0.069 |
| RIM | 52.4 | 0.274 | 4.082 | 0.033 | 10.17 | 0.15 | 18.1 | 11.64 | 0.59 | 0.03 | 97.46 | 0.76 | 0.082 |
| AMP5 | 53.39 | 0.412 | 2.809 | 0.144 | 9.961 | 0.181 | 18.67 | 11.34 | 0.397 | 0.018 | 97.32 | 0.77 | 0.047 |
| RIM | 52.41 | 0.426 | 2.745 | 0.191 | 10.28 | 0.237 | 18.88 | 10.62 | 0.331 | 0.006 | 96.13 | 0.766 | 0.056 |
| 11BARE45 | 44.73 | 1.272 | 9.438 | 0.028 | 12.46 | 0.093 | 14.91 | 12.19 | 1.752 | 0.61 | 97.49 | 0.681 | 0.395 |
| RIM | 49.05 | 1.229 | 5.388 | 0.029 | 12.86 | 0.176 | 15.75 | 11.74 | 1.061 | 0.207 | 97.49 | 0.686 | 0.239 |
| AMP2 | 52.6 | 0.23 | 3.458 | 0 | 12.06 | 0.175 | 17.32 | 11.77 | 0.681 | 0.025 | 98.31 | 0.719 | 0.196 |
| RIM | 52.64 | 0.208 | 3.459 | 0 | 11.6 | 0.202 | 17.74 | 11.61 | 0.523 | 0.008 | 98 | 0.732 | 0.178 |
| AMP3 | 53.44 | 0.095 | 2.316 | 0 | 14.53 | 0.267 | 17.46 | 9.299 | 0.292 | 0 | 97.7 | 0.682 | 0.029 |
| RIM | 53.21 | 0.157 | 3.334 | 0 | 12.6 | 0.209 | 17.07 | 11.44 | 0.291 | 0.002 | 98.31 | 0.707 | 0.016 |
| AMP4 | 51.67 | 0.534 | 3.744 | 0.031 | 12.63 | 0.192 | 16.87 | 11.53 | 0.67 | 0.023 | 97.89 | 0.704 | 0.207 |
| RIM | 51.56 | 0.223 | 3.815 | 0 | 14.59 | 0.217 | 17.45 | 10.81 | 0.603 | 0.011 | 99.27 | 0.681 | 0.136 |
| AMP5 | 51.95 | 0.127 | 3.428 | 0.018 | 11.59 | 0.196 | 17.46 | 11.81 | 0.66 | 0.028 | 97.26 | 0.729 | 0.189 |
| RIM | 51.67 | 0.139 | 3.565 | 0 | 12.58 | 0.226 | 17.33 | 11.1 | 0.552 | 0.02 | 97.17 | 0.71 | 0.177 |
| AMP6 | 51.37 | 0.167 | 3.442 | 0.008 | 16.16 | 0.258 | 14.53 | 11.12 | 0.349 | 0 | 97.41 | 0.616 | 0.058 |
| RIM | 52.42 | 0.104 | 3.242 | 0.029 | 15.23 | 0.252 | 14.86 | 11.81 | 0.327 | 0 | 98.27 | 0.635 | 0.063 |
| C2-AMP | 49.11 | 1.107 | 5.308 | 0 | 12.66 | 0.185 | 15.8 | 11.67 | 1.155 | 0.181 | 97.17 | 0.69 | 0.234 |
| RIM | 48.25 | 1.239 | 5.754 | 0 | 13.77 | 0.227 | 15.15 | 11.3 | 1.235 | 0.215 | 97.14 | 0.662 | 0.341 |
| AMP2 | 48.79 | 1.199 | 5.31 | 0.019 | 12.16 | 0.181 | 16.1 | 11.73 | 1.087 | 0.288 | 96.86 | 0.702 | 0.2 |
| RIM | 47.58 | 1.255 | 6.053 | 0 | 13.77 | 0.203 | 14.95 | 11.47 | 1.309 | 0.244 | 96.84 | 0.659 | 0.352 |
| AMP3 | 48.95 | 1.138 | 5.154 | 0 | 13.07 | 0.207 | 16.01 | 11.27 | 0.734 | 0.165 | 96.69 | 0.686 | 0.27 |
| RIM | 49 | 1.185 | 5.323 | 0.021 | 13.02 | 0.211 | 15.57 | 11.55 | 1.178 | 0.173 | 97.23 | 0.681 | 0.247 |
| AMP4 | 51.26 | 0.143 | 5.065 | 0.016 | 16.21 | 0.341 | 15.99 | 8.845 | 0.308 | 0.008 | 98.18 | 0.637 | 0.041 |
| M | 48.58 | 1.049 | 5.251 | 0.01 | 13.67 | 0.237 | 15.42 | 11.12 | 1.184 | 0.151 | 96.68 | 0.668 | 0.226 |
| RIM | 49.78 | 0.992 | 4.475 | 0.028 | 12.34 | 0.181 | 16.23 | 11.52 | 0.984 | 0.12 | 96.64 | 0.701 | 0.178 |
| C3-AMP | 50.78 | 0.18 | 4.24 | 0 | 11.82 | 0.194 | 17.48 | 11.69 | 0.855 | 0.029 | 97.26 | 0.725 | 0.175 |
| RIM | 50.58 | 0.178 | 4.334 | 0.011 | 11.58 | 0.181 | 17.53 | 11.67 | 0.738 | 0.025 | 96.82 | 0.73 | 0.171 |
| AMP2 | 49.3 | 1.136 | 5.234 | 0.011 | 12.88 | 0.193 | 15.95 | 11.55 | 1.105 | 0.184 | 97.54 | 0.688 | 0.227 |
| RIM | 48.2 | 1.453 | 6.125 | 0 | 13.19 | 0.167 | 15.02 | 11.77 | 1.277 | 0.25 | 97.45 | 0.67 | 0.281 |
| AMP3 | 50.23 | 1.05 | 4.608 | 0 | 13.88 | 0.27 | 15.94 | 10.88 | 1.089 | 0.134 | 98.08 | 0.672 | 0.311 |
| RIM | 48.87 | 1.236 | 5.619 | 0 | 13.46 | 0.186 | 15.37 | 11.44 | 1.213 | 0.188 | 97.58 | 0.671 | 0.251 |
| AMP4 | 47.7 | 1.503 | 6.358 | 0.021 | 12.86 | 0.16 | 15.5 | 11.61 | 1.241 | 0.376 | 97.32 | 0.682 | 0.279 |
| RIM | 48.81 | 1.289 | 5.745 | 0.003 | 12.43 | 0.149 | 15.88 | 11.74 | 1.173 | 0.307 | 97.53 | 0.695 | 0.24 |
| AMP5 | 51.03 | 0.265 | 4.194 | 0 | 12.61 | 0.199 | 16.6 | 11.75 | 0.845 | 0.04 | 97.53 | 0.701 | 0.321 |
| RIM | 55.69 | 0.019 | 27.15 | 0.007 | 0.451 | 0 | 0.013 | 9.52 | 6.391 | 0.022 | 99.27 | 0.058 | 0 |
| AMP6 | 51.76 | 0.339 | 3.407 | 0 | 11.4 | 0.169 | 17.76 | 11.75 | 0.699 | 0.018 | 97.3 | 0.735 | 0.182 |
| RIM | 49.97 | 0.966 | 4.534 | 0 | 12.77 | 0.184 | 16.2 | 11.81 | 1 | 0.14 | 97.57 | 0.693 | 0.24 |
| AMP7 | 48.73 | 1.125 | 5.487 | 0 | 12.88 | 0.188 | 15.92 | 11.51 | 1.182 | 0.229 | 97.24 | 0.688 | 0.228 |
| RIM | 48.64 | 1.314 | 5.98 | 0.013 | 12.77 | 0.18 | 15.49 | 11.64 | 1.143 | 0.243 | 97.42 | 0.684 | 0.258 |
| C4-AMP | 49.33 | 1.142 | 5.552 | 0.019 | 13.66 | 0.194 | 15.31 | 11.42 | 1.198 | 0.186 | 98.02 | 0.666 | 0.261 |
| RIM | 50 | 0.969 | 5.229 | 0 | 13.13 | 0.186 | 15.82 | 11.53 | 0.833 | 0.153 | 97.85 | 0.682 | 0.221 |
| AMP2 | 49.74 | 1.096 | 4.832 | 0 | 12.97 | 0.247 | 15.8 | 11.44 | 1.099 | 0.13 | 97.36 | 0.685 | 0.206 |
| RIM | 49.41 | 1.209 | 5.208 | 0.003 | 12.86 | 0.161 | 15.79 | 11.65 | 0.792 | 0.137 | 97.21 | 0.686 | 0.236 |
| RIM | 49.41 | 0.109 | 5.869 | 0 | 17.07 | 0.279 | 13.56 | 10.66 | 0.656 | 0.007 | 97.62 | 0.586 | 0.067 |
| AMP3 | 48.91 | 1.283 | 5.612 | 0.049 | 13.23 | 0.179 | 15.34 | 11.64 | 1.168 | 0.214 | 97.63 | 0.674 | 0.265 |
| RIM | 50.23 | 1.044 | 4.839 | 0.018 | 12.78 | 0.195 | 15.93 | 11.56 | 1.024 | 0.148 | 97.77 | 0.69 | 0.223 |
| AMP4 | 53 | 0.123 | 3.62 | 0 | 13.54 | 0.332 | 15.94 | 10.04 | 0.218 | 0 | 96.82 | 0.677 | 0.047 |
| RIM | 51.77 | 0.225 | 3.292 | 0 | 11.73 | 0.189 | 17.2 | 11.79 | 0.599 | 0.014 | 96.81 | 0.723 | 0.2 |
| C5-AMP | 52.51 | 0.227 | 2.96 | 0.01 | 11.48 | 0.201 | 17.96 | 11.32 | 0.585 | 0.002 | 97.26 | 0.736 | 0.139 |
| RIM | 51.59 | 0.827 | 3.696 | 0.015 | 11.23 | 0.145 | 17.58 | 11.65 | 0.843 | 0.033 | 97.61 | 0.736 | 0.157 |
| AMP2 | 49.03 | 1.265 | 5.42 | 0.003 | 13.56 | 0.158 | 15.3 | 11.51 | 1.188 | 0.19 | 97.62 | 0.668 | 0.25 |
| RIM | 49.03 | 1.375 | 5.7 | 0.034 | 13.73 | 0.179 | 15.02 | 11.53 | 1.256 | 0.188 | 98.05 | 0.661 | 0.311 |
| AMP3 | 49.84 | 1.076 | 4.737 | 0 | 12.82 | 0.23 | 15.87 | 11.54 | 0.937 | 0.133 | 97.19 | 0.688 | 0.22 |
| RIM | 49.93 | 0.993 | 4.829 | 0 | 12.52 | 0.194 | 16.1 | 11.51 | 0.848 | 0.125 | 97.04 | 0.696 | 0.217 |
| AMP4 | 52.02 | 0.127 | 3.687 | 0.023 | 12.46 | 0.204 | 16.99 | 11.42 | 0.747 | 0.02 | 97.7 | 0.708 | 0.257 |
| RIM | 51.56 | 0.161 | 4.25 | 0 | 12.27 | 0.152 | 16.57 | 11.85 | 0.681 | 0.026 | 97.51 | 0.706 | 0.211 |
| AMP5 | 49.7 | 1.102 | 5.399 | 0.032 | 13.2 | 0.174 | 15.55 | 11.58 | 1.185 | 0.183 | 98.1 | 0.677 | 0.245 |
| RIM | 49.32 | 1.171 | 5.511 | 0.008 | 13.21 | 0.191 | 15.41 | 11.54 | 1.188 | 0.197 | 97.74 | 0.675 | 0.223 |
| AMP6 | 49.33 | 1.174 | 5.201 | 0 | 12.98 | 0.177 | 15.62 | 11.64 | 1.096 | 0.181 | 97.4 | 0.682 | 0.197 |
| AMP7 | 51.45 | 1.002 | 3.798 | 0.015 | 11.64 | 0.237 | 17.53 | 10.96 | 1.059 | 0.032 | 97.73 | 0.728 | 0.23 |
| RIM | 52.53 | 0.742 | 3.148 | 0.042 | 11.21 | 0.211 | 18.03 | 11.07 | 0.74 | 0.009 | 97.73 | 0.741 | 0.111 |
| AMP8 | 51.08 | 0.183 | 4.273 | 0.016 | 12.02 | 0.186 | 17.19 | 11.56 | 0.867 | 0.029 | 97.4 | 0.718 | 0.226 |
| RIM | 52.38 | 0.143 | 3.235 | 0 | 11.97 | 0.202 | 17.42 | 11.54 | 0.547 | 0.015 | 97.46 | 0.722 | 0.174 |
| AMP9 | 49.02 | 1.064 | 4.96 | 0.003 | 11.75 | 0.139 | 16.4 | 11.81 | 1.054 | 0.326 | 96.52 | 0.713 | 0.209 |
| RIM | 48.75 | 1.256 | 5.615 | 0 | 13.5 | 0.199 | 15.23 | 11.47 | 1.27 | 0.158 | 97.45 | 0.668 | 0.297 |

Table 9.Cont.

| | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Cr2O3 | FeO | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | Total | Mg# | Cl |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 12BarE87 | 48.83 | 1.205 | 5.784 | 0.187 | 11.66 | 0.086 | 16.66 | 10.97 | 1.092 | 0.042 | 96.51 | 0.718 | 0.114 |
| rim | 48.78 | 1.211 | 5.778 | 0.079 | 11.46 | 0.116 | 16.64 | 11.13 | 1.144 | 0.038 | 96.37 | 0.721 | 0.107 |
| amp | 48.78 | 1.308 | 5.805 | 0.111 | 11.57 | 0.088 | 16.67 | 11.03 | 1.096 | 0.043 | 96.5 | 0.72 | 0.106 |
| rim | 48.27 | 1.304 | 6.007 | 0.051 | 11.64 | 0.117 | 16.57 | 11.1 | 1.098 | 0.04 | 96.19 | 0.717 | 0.097 |
| 12BARE87-C7 | 50.58 | 0.294 | 4.816 | 0.032 | 10.98 | 0.277 | 16.98 | 11.33 | 0.62 | 0 | 95.91 | 0.734 | 0.065 |
| RIM | 51.21 | 0.441 | 4.671 | 0.052 | 10.84 | 0.268 | 17.02 | 11.13 | 0.578 | 0 | 96.2 | 0.737 | 0.012 |
| AMP2 | 49.87 | 0.89 | 4.843 | 0.054 | 10.87 | 0.245 | 16.84 | 11.42 | 0.739 | 0 | 95.77 | 0.734 | 0.078 |
| RIM | 48.47 | 1.147 | 5.948 | 0.05 | 11.63 | 0.208 | 16.1 | 11.29 | 0.928 | 0.027 | 95.8 | 0.712 | 0.099 |
| C8-AMP | 48.5 | 1.233 | 5.846 | 0.046 | 10.84 | 0.139 | 16.63 | 11.56 | 1.003 | 0.047 | 95.84 | 0.732 | 0.108 |
| RIM | 49.52 | 0.604 | 5.167 | 0.008 | 12.65 | 0.212 | 15.25 | 11.95 | 0.649 | 0.052 | 96.06 | 0.682 | 0.152 |
| AMP2 | 51.94 | 0.269 | 2.73 | 0.055 | 11.91 | 0.283 | 16.54 | 11.63 | 0.364 | 0.007 | 95.72 | 0.712 | 0.13 |
| C9-AMP | 49.57 | 1.029 | 5.201 | 0.067 | 11.64 | 0.214 | 16.63 | 11.17 | 0.838 | 0 | 96.36 | 0.718 | 0.103 |
| RIM | 49.43 | 0.992 | 5.052 | 0.083 | 11.36 | 0.24 | 16.73 | 11.34 | 0.755 | 0 | 95.98 | 0.724 | 0.088 |
| AMP2 | 47.55 | 1.195 | 6.462 | 0.065 | 11.88 | 0.195 | 15.72 | 11.38 | 0.936 | 0.031 | 95.4 | 0.702 | 0.134 |
| RIM | 49.1 | 0.467 | 5.178 | 0.184 | 11.51 | 0.258 | 16.39 | 11.5 | 0.809 | 0.044 | 95.43 | 0.717 | 0.139 |
| C10-AMP | 48.48 | 1.04 | 5.589 | 0.028 | 11.44 | 0.198 | 16.39 | 11.36 | 0.917 | 0.027 | 95.47 | 0.719 | 0.112 |
| M | 49.19 | 1.113 | 5.459 | 0.073 | 11.2 | 0.184 | 16.74 | 11.43 | 0.896 | 0.014 | 96.29 | 0.727 | 0.096 |
| RIM | 47.52 | 1.28 | 6.465 | 0.078 | 12.01 | 0.23 | 15.85 | 11.38 | 1.102 | 0.038 | 95.95 | 0.702 | 0.135 |
| C11-AMP | 48.5 | 0.618 | 6.967 | 0.018 | 12.44 | 0.267 | 15.86 | 11.34 | 0.994 | 0.122 | 97.12 | 0.694 | 0.247 |
| RIM | 48.25 | 0.627 | 7.305 | 0.05 | 12.46 | 0.236 | 15.68 | 11.31 | 1.031 | 0.127 | 97.07 | 0.692 | 0.242 |
| AMP2 | 52.31 | 0.242 | 3.03 | 0.02 | 11.5 | 0.212 | 16.95 | 12.12 | 0.351 | 0.01 | 96.75 | 0.724 | 0.124 |
| RIM | 50.46 | 0.797 | 4.949 | 0.077 | 11.16 | 0.227 | 17.01 | 11.51 | 0.721 | 0 | 96.91 | 0.731 | 0.082 |