

学 位 論 文 題 名

Petrogenesis and tectonic setting of two-contrasted magmatism
in the Wadi Haymiliyah area, Haylayn Block, central part of the
Oman ophiolite, with special reference to the "Ophiolite Problem"

(オマーンオフィオライト中部, ハイライン岩体における 2 ステージの
火成作用の起源と造構場: 特に "オフィオライト問題" に関連して)

学位論文内容の要旨

オフィオライトは陸上に露出した地殻-マントル衝上体であり, その岩相構成および配列は海洋リソスフェアと類似する. その起源に関する, いわゆる "オフィオライト問題", すなわち中央海嶺起源を主張する説と沈み込み帯上の拡大軸起源を主張する説との間の論争が長期間にわたって繰り広げられてきた.

アラビア半島の北東端に位置するオマーンオフィオライトは, 世界最大かつ最も良好に保存されたオフィオライトとして知られており, 中央海嶺玄武岩 (MORB) 質の噴出岩類とともにカルク・アルカリ質の噴出岩類やボニナイトの産出が知られている. しかし, 噴出岩類の変質の程度が著しいこともあって, 地質学的・岩石学的検討は必ずしも十分ではなく, 噴出岩類や深成岩類の起源, あるいは噴出岩類と深成岩類の対応関係そのものをめぐって, 30 年近く議論が続いている. 特に, 地殻下部を構成する層状ガブロユニットにおいて, 噴出岩類に対応した明確な区分にはいまだ成功していない.

オマーンオフィオライト中部に位置するハイライン岩体のハイミリヤ地域は, ガブロノーライトが多産する特異な地域であるとされており, また最も詳細に検討が行われている地域のひとつとされている. 本論文では, ハイミリヤ地域に産する岩石の詳細な野外・鏡下での観察, 蛍光 X 線分析装置 (XRF)・表面電離型質量分析装置 (TIMS)・X 線マイクロアナライザ (EPMA)・レーザー気化 ICP 質量分析装置 (LA-ICP-MS) による地球化学的分析に基づいた岩石学および岩石成因論的検討を行った. その結果, 層状ガブロユニットにおいて明瞭に異なる 2 種類のマグマ系列を識別することにはじめて成功した. また, オマーンオフィオライトにおいて 2 例目となるボニナイトの産出を確認した.

本論文は第 I 部の序説のほか, 第 II 部の記載, 第 III 部の分析結果, 第 IV 部の議論および第 V 部の結論から構成される. 第 I 部の 1 章は, オマーンオフィオライトの研究史のレビュー, およびオマーンオフィオライト全域の地質の概略で構成される. 第 II 部は 2-5 章で構成される. 2 章では研究対象地域であるハイライン岩体, ハイミリヤ地域の研究史, 地質の概略と本論文の研究目的が示され, 3-5 章では, マントルシークエンス (3 章) および地殻シークエンス (4 章) 構成岩相とその他の岩相 (5 章) の野外および鏡下での産状が記載されている. 第 III 部では第 II 部で記載を行った主要岩相について行った地球化学的分析

の手順 (6 章) および結果 (7-8 章) が示されている。第 IV 部は 9-14 章で構成される。9 章では深成岩類の、10 章では火山岩類の岩石学的な特徴の検討を行い、それぞれから 2 種類のマグマ系列が識別されることを示す。11 章ではそれらの岩石成因論的な検討を行い、分化プロセス、初生マグマの特徴およびそれらの発生条件を明らかにした。12 章では、早期に形成された地殻構成岩類が後のマグマの貫入によって改変されるプロセスを検討した。13 章ではマントルシークエンスにおけるマグマの発生・輸送プロセスについて検討を行った。14 章では、13 章までの検討から得られた情報によって、オマーンオフィオライト全体の造構場に対して検討を加えた。第 V 部の 15 章では本論文の結論と今後の検討課題が示されている。内容の要約は以下の通りである。

ガプロ類の内の早期の系列、すなわち GB1 は主としてトロクトライトやかんらん石ガプロから構成され、層状ガプロユニットに産する。GB1 のかんらん石と斜長石の組成は海洋底ガプロ類を含む無水玄武岩マグマからの晶出相と類似する変化トレンドをもつ。一方、ガプロ類の内の後期の系列、すなわち GB2 は主としてかんらん石ガプロやガプロノーライトから構成され、層状ガプロユニットとその上位の葉片状ガプロユニットに産する。かんらん石と斜長石の組成で比較すると GB2 は GB1 に比べて Ca に富む斜長石で特徴付けられる。この GB2 と、地殻下部に多産する超苦鉄質沈積岩類 (DW) との鉱物化学組成の連続性から、GB2 および DW はともに共通の親マグマから晶出したことが示唆される。この DW-GB2 系列の晶出順序および GB2 に認められる斜長石の Ca に富む特徴から、共通の親マグマは含水苦鉄質マグマであったものと結論される。ガプロ類の上位に位置する噴出岩類を斑晶鉱物の種類・量比の違いから下位の HV1 と上位の HV2 に区分した。噴出岩類は強く変質しており、全岩化学組成の評価は難しいが、HV1 は MORB に、HV2 は島弧火山岩類に類似する。また、HV2 の一部から高 Ca ポニナイトを発見した。

GB1, DW-GB2, HV1 および HV2 の中に含まれる単斜輝石の微量元素量・パターンを比較した。その結果、DW-GB2 中の単斜輝石は GB1 のそれと明瞭に異なり、低い HFSE 含有量と高い LILE 含有量を示すこと、また、GB1 と HV1、および DW-GB2 と HV2 とが特徴的に類似したパターンを示すことが判明した。このことから、早期の GB1-HV1、後期の DW-GB2-HV2 という 2 つの系列が識別された。

2 つの系列のマグマは本質的に同じ MORB 源マントルに由来するものと考えられる。その根拠は、両系列の単斜輝石の希土類元素パターンが軽希土類元素に枯渇する点で互いに類似しており、また MORB にも類似していること、さらに、Nd 同位体比がともに MORB の範囲内であることである。GB1-HV1 系列はドライの MORB 源マントルから生じた MORB 質初生マグマに由来し、DW-GB2-HV2 の起源マントルは流体相による LILE の付加を被った MORB 源マントルであったものと結論される。

MELTS による分化シミュレーション結果によると、GB1 は高速拡大海嶺である東太平洋海膨に産する MORB に類似した初生マグマに由来したものとして説明可能である。さらに、計算によって求めた GB1 系列の初生マグマをもたらしするために必要なマントルの部分熔融度は 12% 以上で、1.5 GPa における熔融温度は 1280°C 程度と、中央海嶺下におけるそれと調和的な条件が見積もられる。一方、噴出岩類と沈積岩類の組成を用いて行った逆分化計算によって得られた DW-GB2 系列の初生マグマ組成は、高 Ca ポニナイト質の組成を示す。そのためのマントルの部分熔融度は約 36% で、1.0 GPa における熔融温度は無水条件を仮定すると 1330°C 程度と推定される。このような異常な高温条件は通常の地温勾配では考えにくいですが、先に議論したように起源マントルに少量の水が存在することで、GB1 とほぼ同

程度の温度条件で 36%程度の部分熔融が可能である。

これまでのオマーンオフィオライトの研究によると、本研究の GB1-HV1 に対応するものと考えられる主要なオフィオライト層序の形成の終了と衝上・沈み込みの開始は時間的に非常に近接している（約 10-0 m.y.）ため、MORB 質マグマを排出した直後の高温のマントルへ水が供給され、本研究の DW-GB2-HV2 に対応するボニナイトを含む後期の火成岩類が形成されたものと説明することができる。すなわち、本論文で明らかとなった 2 種類のマントル由来火成活動は、中央海嶺から沈み込み帯上への造構場の変遷を示唆していると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 在 田 一 則

副 査 教 授 松 枝 大 治

副 査 助 教 授 新 井 田 清 信

副 査 教 授 宮 下 純 夫 (新潟大学自然系)

学 位 論 文 題 名

Petrogenesis and tectonic setting of two-contrasted magmatism in the Wadi Haymiliyah area, Haylayn Block, central part of the Oman ophiolite, with special reference to the "Ophiolite Problem"

(オマーンオフィオライト中部, ヘイライン岩体における 2 ステージの火成作用の起源と造構場: 特に "オフィオライト問題" に関連して)

地球表層の約 2/3 を海洋が占めていることから明らかなように, 海洋リソスフェアの実体を理解することは地球科学の必須課題の 1 つである。そのための重要な役割を期待される深海底掘削は既に過去 30 年以上の歴史を有する。しかし, 深海底での観察と試料の採取には様々な制約がある。そういう意味で, 陸上にあつて, かつての海洋リソスフェアの断片である可能性を持つオフィオライトの研究意義は大きい。しかし一方で, オフィオライトには地球科学者を悩ませ続けてきた "オフィオライト問題", すなわちオフィオライトは収束プレート境界で形成されたという主張と発散境界で形成されたという主張の間の論争がある。オフィオライトの最上部を構成する噴出岩類の化学組成を用いると発散境界 (中央海嶺) と収束境界 (沈み込み帯) の火成活動の区別はさほど困難ではない。しかし, ほとんど全てのオフィオライト噴出岩類は海水との反応によって初生的な性質を失っており, 対立する 2 つの主張の間の溝を埋めることは現実的には大変難しい。世界で最も研究に適したオフィオライトであるとされるオマーンオフィオライトの最上部の噴出岩層もやはり著しく変質している。上下 2 つに分けられる噴出岩類の上位のものについては多くの研究者が収束境界火成活動の産物であると認定している。一方下位のものについては発散境界火成活動の産物とみなす研究者と収束境界火成活動の産物とみなす研究者の間に鋭い意見の対立がある。これが, オマーンオフィオライトにおける "オフィオライト問題" である。

このような中で、山崎 徹はオマーンオフィオライトのヘイライン岩体の研究を行ない、以下の特筆すべき成果をあげた。

噴出岩類が 2 群に分けられるなら、それに対応して地殻深部の層状ガブロ帯も 2 群に分けられるべきである。彼はまず、岩石学的特徴に基づいて層状ガブロ帯の深成岩類を 2 群（早期の GB1 と後期の DW-GB2）に区分した。両者の差違はマグマの結晶作用の物理・化学条件の違いによって説明可能である。実はこれら 2 群の成因論的区分は、いくつかの検討可能な必要条件を満たしてはいるものの、形式論理的には決して十分ではない。それを打開する決定的な根拠は単斜輝石の微量元素組成の特徴的な差違によって与えられた。例えば、2 群の岩石中の単斜輝石は HFSE と LILE の比において明瞭な違いを示す。層状ガブロ帯の 2 群の単斜輝石の特徴は、上下 2 つに区分された（早期の HV1 と後期の HV2）の噴出岩類中の単斜輝石の特徴とも一致し、その結果 HV1 と GB1、HV2 と DW-GB2 が同じ火成活動の産物であることが明らかとなった。すなわち、オマーンオフィオライトの地殻部分のほとんど全体を早期と後期の 2 群に区別することに世界で初めて成功した。近年、LA-ICP-MS による鉱物の微量元素分析が一般的になりつつあるが、単斜輝石の LILE 量を議論に含めたこの研究の先進性が評価される。今後、世界中のオフィオライトや深海底で採取された試料についても同様の検討が活発に行われることになると予想される。なお、HV2 からオマーンオフィオライト全体では 2 例目となるボニナイトを発見した。

山崎 徹は早期群（GB1-HV1）と後期群（DW-GB2-HV2）のそれぞれについて、初生マグマの特徴を可能な限り検討した。まず、GB1 と類似するガブロ類が採取されている東太平洋海膨 Hess Deep の中央海嶺玄武岩（MORB）組成の岩脈のデータを用いたシュミレーションを行い、それが GB1 と調和的な鉱物組成変化経路を辿り得ることを示した。また GB1 に含まれる単斜輝石の希土類元素組成から MORB に類似する希土類元素パターンを持つメルトと平衡であったことを示した。これらのことは GB1 が MORB に由来することを示唆する。一方、後期群については岩脈組成に集積岩の組成を追加する逆分化計算を行い、ボニナイト質初生マグマからの結晶分化作用で HV2 を導き得ることを示した。さらに、HV1・HV2 それぞれの全岩微量元素組成を用いて、マンツルの部分溶融度が、それぞれ MORB 質およびボニナイト質初生マグマの発生に調和的（12%および 36%）であること、HV1 を分離した後の高温状態のマンツルに低圧条件下で水の供給があったとすると、HV2 の部分溶融を合理的に説明しうることを示唆した。以上の考察に基づいて、早期群は中央海嶺環境で、後期群は水の供給が可能な沈み込み帯環境で形成されたと考えるのが妥当であることを示した。これらの成果は、オマーンオフィオライトのみならず、“オフィオライト問題”全体に対して全く新たな実証的データを提出して、従来の膠着状態を打破する契機を与えるものと評

価される。

以上の研究成果によって、著者は北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格があるものと認める。