

特別講演

海洋地殻-上部マントルの包括的理解を目指して

宮下純夫*・足立佳子**

Comprehensive understanding on oceanic crust and upper mantle
with a special reference to ridge segmentation

Sumio Miyashita* and Yoshiko Adachi**

* 新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Niigata University

** 新潟大学超域研究機構 Center for Transdisciplinary Research, Niigata University

はじめに

1980年代後半以降、海洋底における地形探査などの精度の飛躍的向上を背景にして、海嶺が連続した一連のものではなく、階層的な不連続によって区切られていることが明らかになってきた (Macdonald et al., 1991)。その最大の不連続はトランスフォーム断層で、1次の不連続を構成している。2次の不連続はオフセットが10 km以上の大規模な重複海嶺、3次の不連続はそれよりも小さなオフセットの重複海嶺、最小のスケールの不連続はデバルと呼ばれる屈曲である。こうした不連続によって区切られるそれぞれの部分を、1次から4次の海嶺セグメントと呼んでいる。一般的に、より大規模な海嶺セグメントほど寿命が長く、デバルによって境界される最小の海嶺セグメントの場合は、その延長は数km程度で寿命も短いと考えられている。

海嶺セグメント構造は、海嶺火成活動にたいして極めて重要な意味があると考えられている。つまり、1次のセグメント構造はマントルにおける部分熔融プロセスを、2-3次のセグメント構造はマントルから地殻へのマグマ供給システムを、そして4次のセグメント構造は地殻浅部におけるメルトレンズの挙動を支配していると考えられている (Macdonald, 1998)。ところが、東太平洋海膨に沿った玄武岩の研究などからは、むしろこうした予測と異なる全く逆の、大規模不連続部へ向かって部分熔融度が上昇するような例が多数報告されている (例えばBach et al., 1994)。そのため、海嶺セグメント構造とマグマシステムとの関係は混迷しており、海嶺セグメント構造がマグマシステムにたいしてどのような役割を担っている

かについては、不明瞭のままとなっている。

こうした問題は、実は上記の研究で用いられている大部分のサンプルが、ドレッジないし潜航調査によっていることに起因している可能性がある。つまり、高速拡大海嶺付近から得られるサンプルは、溶岩層の最上部に限定されており、溶岩層の表面の岩石をもって厚さが数キロメートルの海洋地殻の近似を行っていることになる。すなわち海嶺火成活動のある一瞬のスナップショットをもって全体を代表させている。ところが最近の研究によると、海洋地殻溶岩層の形成は海嶺軸だけではなく、海嶺翼部までのオフアクシス火成活動によって次第に厚さを増していく。このことは、海洋地殻掘削において得られる溶岩層についても、慎重な取り扱いが必要であることを示している。

以上のことから、海嶺軸方向に沿ったマグマシステム解明のためは、海洋地殻全体を取り扱う必要がある。しかし、現在の海洋底においては海洋地殻第3層まで到達した掘削孔がたった2ヶ所しかないことを考えれば、そうしたデータ採取が極めて困難であることは明白である。過去の海洋地殻-上部マントルが地上へ持ち上げられているオフィオライトは、溶岩層のみならずその下位のシート状岩脈群、斑れい岩層、そしてマントルまで含めた垂直方向の全体を詳しく観察し、またその海嶺軸方向の側方変化の実体や成因について研究する上でまたとない場である。

小論では、特に海嶺セグメント構造に関連したオマーンオフィオライトにおける我々の研究を中心に紹介する。

オマーンオフィオライト北部における海嶺セグメント構造の認定

オマーンオフィオライトは、アラビア半島の東側にそって延長600 km、幅80 kmほどにわたって分布している。ところでシート状岩脈群は、海嶺軸に平行で垂直に貫入するので、その貫入方向は海嶺軸の方向を示す。オマーンオフィオライトでは岩脈群の貫入方向がその分布の長軸方向と大局的には一致しているので、海嶺軸方向の変化を観察することができる。つまり、その分布に沿って、海嶺セグメント構造が観察されることになる。これまでオマーンではマントルかんらん岩の構造岩石学的研究や、斑れい岩の岩相やその構造的特徴などから海嶺セグメント構造が識別され議論されてきた。しかし、従来のセグメント構造に関する研究には初歩的な記載岩石学的検討などが不十分なままアイディアが先行しているなどの問題点があった（宮下ほか、2002）。

Miyashita et al. (2003), Adachi and Miyashita (2003), Umino et al. (2003)は、詳細な地質図作成に基づいて、北部地域におけるセグメント構造を提案した。すなわち、フィズ地域北側に大規模なセグメント不連続構造を見だし、その30 kmほど南のスクバ地域にセグメント中心が位置していることを提案した。なお、従来の研究では北部地域におけるセグメント境界はさらに北部のラジミ地域とされ、南へ向かった海嶺伝播が提案されていた（MacLeod and Rothery, 1992）。今回の結果はそれとは逆に、フィズ地域からその北方地域が北側へ向かった海嶺伝播の先端部であることを示している。その主要な根拠は以下のように要約される。

フィズ地域における不連続部は、岩脈群や上部斑れい岩によって貫入される層状斑れい岩の様々な規模のブロックが多数発見されたことにより提案された。つまり、本地域では大規模な海嶺伝播が生じており、2次ないし3次の海嶺セグメント境界であることを提案した（Adachi and Miyashita, 2003）。そして、斑れい岩層が北側の境界部付近ではbasin状の構造をとって閉じていることから、北側への海嶺伝播を提案した。Umino et al. (2003)は、セグメント末端部のフィズ地域からセグメント中心部のスクバ地域へ向かって、シート状岩脈群の岩脈の幅が小さくなることを示した。Miyashita et al. (2003)は、約70 kmにわたってシート状岩脈群の組成変化を検討し、セグメント中心部では組成範囲が狭いのに対し、南と北のセグメント末端部へ向かって岩脈群の組成範

囲が幅広くなることを示した。また、セグメント中心部ほど部分熔融度が高く、南北の末端部へ向かってそれぞれ低下する傾向があることを示した。

海嶺セグメント構造とマグマシステム：モホ遷移帯とその下位のハルツバージャイトの空間変化

橋本ほか（2008）は、モホ遷移帯について海嶺セグメントの様々な位置における岩相柱状図を作成して検討した。その結果、セグメント中心部ではモホ遷移帯が250 mほどと厚く、セグメント末端部へ向かって最小で10m程へと薄くなること、セグメント中心部の厚いモホ遷移帯には厚さが数mから数10 mほどの数枚のガブロ層が介在するが、モホ遷移帯の厚さが薄くなるにしたがって、モホ遷移帯はガブロの薄層を含むウエールライトないしダナイトが卓越するようになる（図1）。

モホ遷移帯の上位には層状ガブロが厚く累重するが、カンラン石や単斜輝石のMg#は、セグメント中心部の地域と末端部の地域を比較すると、その最大値、すなわちもっとも未分化な値は前者の方が0.02前後も高く、明瞭な差異が認められる。

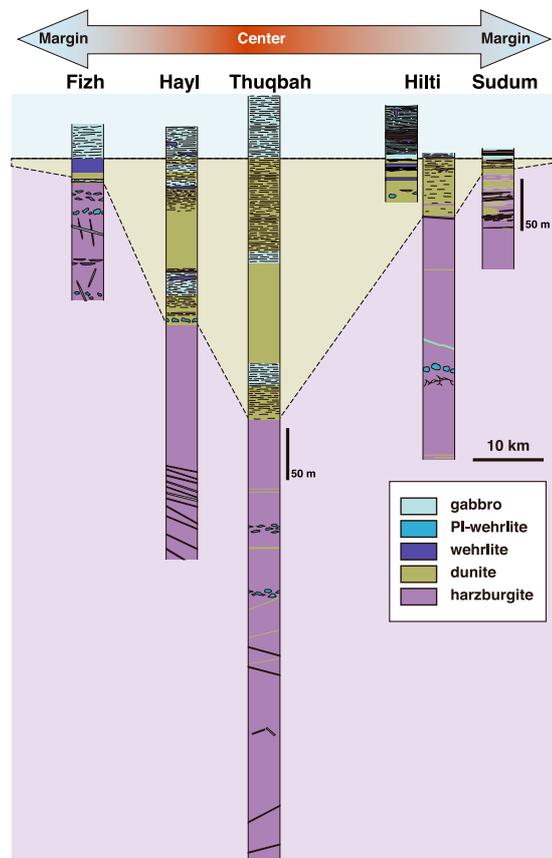


図1 オマーンオフィオライト北部のモホ遷移帯の層厚変化。

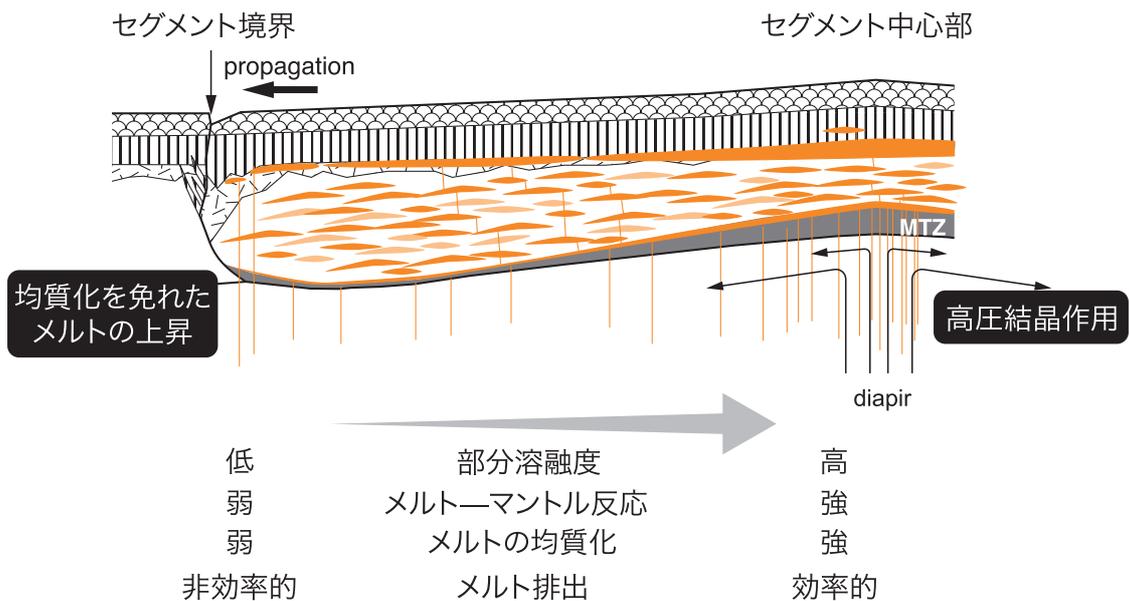


図2 海嶺軸方向に沿ったマグマシステムのモデル図

一方、モホ遷移帯下位のハルツバージャイトのカンラン石のMg#は、わずかにセグメント中心部の方が高い傾向を示すが、その違いは極めてわずかである。しかし、これらのハルツバージャイトに少量含まれる単斜輝石のTiO₂やNa₂Oの含有量はセグメント中心部の方が明瞭に低い傾向が認められる(足立ほか, 2009連合学会)。モホ遷移帯のダナイト—ウエルライトのカンラン石、単斜輝石のMg#はハルツバージャイトと層状斑れい岩の中間的な組成を有している。

ここで注目されるのは、モホ遷移帯の下位のハルツバージャイトの産状の違いである。セグメント中心部のスクバやヘイル地域ではクリーンカットのガプロダイクを除けば、ガプロ脈は殆ど出現せず、均質なハルツバージャイトからなっているのに対し、セグメント末端部のモホ遷移帯の下位のハルツバージャイト中には、不規則なガプロ脈が少なくともモホ遷移帯から下位の200 m位までは頻りに観察される。こうしたマントルかんらん岩における産状の違いは、セグメント中心部ほどメルトの排出が効率的に行われているのに対し、セグメント末端部ではメルトの排出が効率ではなく、最上部マントル中にメルトが滞留し、その場で晶出したことを示唆している。

以上のことから、セグメント中心部ではより部分溶融度の高いメルトが供給され、かつマントルから効率的にメルトが排出されてモホ遷移帯へと上昇していくのに対し、セグメント末端部では部分溶融度がより低いことに加えて、メルトの一部

がマントル最上部付近で晶出したため、モホ遷移帯を超えては一層見かけ上分化したメルトが供給されたことが結論される。

海嶺セグメントに沿ったマグマシステムは、岩脈群の組成変化からみても、斑れい岩層の広域的な変化からみても、モホ遷移帯やその直下のマントル中におけるメルトの挙動など、全てが調和的・系統的変化を示していることが結論される。以上の結果に基づき、2次の海嶺セグメントにおける海嶺軸方向の模式的なモデル図を描くことが出来る(図2)。

Bach (1994)などによる海嶺セグメント境界部へ向かった部分溶融度の増大といった議論は、議論に用いているサンプルが、その場での海嶺火成活動の平均値を必ずしも表していないためと考えられる。

まとめ

以上、簡潔に最近の我々の研究成果の一端を紹介したが、研究が進行するにつれて、海嶺セグメント構造が海嶺下のマグマシステムを基本的にコントロールしている状況が次第に明らかになってきている。

こうした観点からの研究は現在の海洋底においては不可能であり、来るべき海洋モホールを展望したときに、オフィオライトを舞台と研究を前進させておくことが、その多分唯一の海洋モホールの掘削データを解釈する際に極めて重要な意義があると考えている。

参考文献

- Adachi, Y. and Miyashita, S., 2003, Geology and petrology of the gabbroic complexes in Wadi Fizh area of the northern Oman ophiolite: Multiple magmatic events and segment structure in the northern Oman ophiolite. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 4, 8619, DOI 10.1029/2001GC000272.
- 足立佳子・橋本瑛久・宮下純夫, 2009, オマーンオフィオライト北部におけるモホ遷移帯の空間変化の成因, 日本地球惑星科学連合学会 2009年大会, 幕張, K132-004
- Bach, W., Hegner, E., Erzinger, J. and Satir, M., 1994, Chemical and isotope variations along the superfast spreading East Pacific Rise from 6 to 30°S. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, 365-380.
- 橋本瑛久・足立佳子・宮下純夫, 2008, オマーンオフィオライト北部におけるモホ遷移帯の地域変化-海嶺セグメント構造との関係について-, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 幕張, 2008年5月, K129-003
- Macdonald, K. C., Scheirer, D. S. and Carbotte, S. M., 1991, Mid-ocean ridges: Discontinuities, segments and giant cracks. *Science*, 253, 986-994.
- Macdonald, K. C., 1998, Linkage between faulting, volcanism, hydrothermal activity and segmentation on fast spreading centers. In Buck, R. W. et al. (eds.), *Faulting and Magmatism at Mid-Ocean Ridges*. AGU Geophys. Monogr. 106, 27-58.
- MacLeod, C. J. and Rothery, D. A., 1992, Ridge axial segmentation in the Oman ophiolite: evidence from along-strike variations in the sheeted dyke complex. In Parson, L. M. et al. (eds.), *Ophiolites and their Modern Oceanic Analogues*. *Geol. Soc. Special Pub.*, 60, 39-63.
- 宮下純夫・海野 進・足立佳子, 2002, オフィオライト研究の新局面: オマーンオフィオライトを例として, *地質学雑誌*, 108, 520-535.
- 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. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 4, 8617, DOI 10.1029/2001GC000235.
- 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 magma plumbing system. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 4, 8618, DOI 10.1029/2001GC00023