

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18540472

研究課題名（和文）シート状岩脈群の結晶粒径変化による中央海嶺系上部地殻温度構造の推定

研究課題名（英文）Estimation of thermal structure in the oceanic upper crust using crystal size variations through the sheeted dike complex

研究代表者

海野 進（UMINO SUSUMU）

金沢大学・自然システム学系・教授

研究者番号：30192511

研究成果の概要：

オマーンオフィオライトのシート状岩脈群の石基鉱物粒径の層序変化をもとに拡大軸直下における上部地殻の温度構造を推定した。マグマのリキダスを 1150℃，シート状岩脈群最上部の平均温度を 100℃ と仮定すると，母岩温度は噴出岩層 / シート状岩脈群境界からの深さ 570 m で 180℃，990 m で最高温度 670℃，シート状岩脈群 / 上部ガブロ境界で 530℃ であった。また，シート状岩脈群下部 330 m の地温勾配は最大 1.7℃/m と推定された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	2,600,000	0	2,600,000
2007 年度	500,000	150,000	650,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	300,000	3,900,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：シート状岩脈群，結晶粒径分布，温度勾配，オマーンオフィオライト，1256D 掘削孔，海洋地殻，マグマ供給率

1. 研究開始当初の背景

中央海嶺系における熱水循環は深海および地下の生物群集を育むと同時に，岩石-熱水反応を通じて海洋地殻～上部マントルおよび海水の化学組成を改変し，さらにはプレート沈み込みを通じて地球内部の物質循環と進化に多大の影響を及ぼしている。この熱水循環は海嶺軸直下のマグマ溜りを主とする熱源によって駆動されており，海嶺軸下の上部地殻における温度構造の推定は，海洋地殻を形成するマグマの定置・付加プロセス，

熱水の循環経路ならびに対流パターンを明らかにする上できわめて重要である。従来，拡大軸下の温度構造は，海洋底掘削やオフィオライトから得られた上部地殻の変質鉱物の組合せと化学組成，同位体，あるいは流体包有物等を利用した変成温度の推定，海嶺軸直上の熱水温度や熱流束の測定，熱伝導と熱水の移流・対流をモデル化したシミュレーションなどによって推定されてきた。しかしながら，変質鉱物の形成場は必ずしも海嶺軸直下ではなく，その変成温度が海嶺軸直下の温

度構造を示しているわけではない。また、シミュレーションが立脚する海洋地殻の詳細な構造と形成プロセスにはガブロ氷河モデル[e.g., Quick and Denlinger, 1993 (J.G.R., 98, 14015-14027)]とシル貫入モデル[Kelemen et al., 1997 (Earth Planet. Sci. Lett., 146, 475-488)]が対立しており、熱水循環についても単一の対流セルを仮定したモデルや上下二層対流モデルがあり[Jupp and Schultz, 2000 (Nature, 403, 880-883)]、これらから導かれる温度構造も様々である。従って、これらのモデルに対して制約を与えるためには、新たな視点に立ったアプローチが必要である。

Spohn et al. [1988 (J.G.R., 93, 4880-4894)]は岩脈の結晶作用のシミュレーションを行い、結晶粒径の対数と結晶成長時間の平方根が直線関係にあることを示した。Umino [1992 (Proc. ODP, init. Repts., 140: 59-61); 1995 (Proc. ODP, Sci. Results, 137/140: 19-33)]はこの関係を重複岩脈に応用し、岩脈貫入の時間間隔が推定できることを示した。これは短期間に繰り返される岩脈貫入によって母岩の温度上昇が起こり、後期に貫入した岩脈ほど結晶成長が可能な時間が延びることを利用したものである。また、その時の母岩の温度は岩脈中心部における結晶粒径の対数に比例する[Spohn et al., 1988]。すなわち、岩脈の結晶粒径から貫入時の母岩温度を推定することが可能である。中～高速拡大海嶺においては岩脈貫入はもっぱら拡大軸のごく近傍 (<1 km) に限られる。従って、シート状岩脈群の石基鉱物粒径とその深さ方向の変化は貫入時の母岩温度、すなわち拡大軸直下の温度構造を反映していると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、プレート拡大境界におけるシート状岩脈群の結晶粒径の層序変化からマグマ溜り直上の上部地殻における温度構造を推定することである。

本研究では ODP 第 1256D 掘削孔 (2005 年に実施された第 309 次掘削航海ならびに第 312 次航海) から得られた岩脈群のコア試料とトルードスおよびオマーンオフィオライトのシート状岩脈群について、石基鉱物粒径の層序変化をもとに拡大軸直下における上部地殻の温度構造の復元を試みる。

1256D 掘削孔からは、1500 万年前に 22 cm/yr という超高速で拡大した東太平洋海膨の上部海洋地殻に関する情報が得られる。しかしながら、コア回収率は平均 36% であり、船上で回収されたコア観察のみでは岩脈の境界、個々の岩脈中の試料位置は必ずしも明らかではなく、常に個々の岩脈中の決まった位置から試料を採取できるわけではない。

一方、トルードスおよびオマーンオフィオライトはそれぞれある種の中～高速拡大軸で形成された白亜紀の海洋性プレートが陸上に露出した巨大な岩体である。ともに拡大軸で形成された初生的構造がほとんど乱されることなく保存されており、シート状岩脈群の発達が良い。従って、溶岩層から深成岩体まで層序を追って岩脈の試料採取を行うことができる。そこで、これらのオフィオライトの解析から得られるデータを岩脈中の結晶粒径変化のレファレンスとしてコア試料の結果と対比することができる。また、拡大速度既知の 1256D とオフィオライトの比較から、プレート拡大速度の違いと火成活動、構造運動、地殻構造と熱水循環系の相互の関係についての情報を得ることができる。

3. 研究の方法

(1) 試料採取

オマーンオフィオライト：ソハール西方のワジフィズに沿って断層等でブロック化していない古拡大軸で噴出した溶岩層～シート状岩脈群～層状ガブロの連続セクションが露出している。厚さ 1300 m に達する岩脈群から層序的に上位の溶岩層との境界付近から最下部のガブロとの境界まで、数カ所から岩脈の試料採取を行う。1カ所に厚さ 1 m 以上の岩脈を 5 枚以上選び、急冷縁から 10 cm, 20 cm, 50 cm および岩脈中心の 4 カ所から試料を採取した。

1256D 掘削孔：2 度の掘削航海によって 340 m に及ぶシート状岩脈群を貫通し、ガブロ最上部にまで到達した。シート状岩脈群は拡大軸方向に平均 80°で傾斜し、電気伝導度と超音波を用いた孔内計測から複数の岩脈を掘り抜いていることが確かめられている。シート状岩脈群から 71 個の分析用コア試料 (およそ 3.4 m 毎に 1 個) を採取した。

(2) 解析方法

全ての試料から SEM/EPMA 測定用の研磨薄片を作成した。石基斜長石粒径のうち径 0.05 mm 以上の粗粒な結晶については、偏光顕微鏡を、径 0.05 mm 以下の細粒結晶については SEM を利用した。顕微鏡のビデオ画像上、あるいは SEM の画像をパソコンに取り込み、画像解析処理ソフトを用いて結晶粒径分布とモード粒径を求める。

このようにして求めた岩脈内の斜長石粒径変化から Avrami number と結晶成長速度、貫入時の母岩温度を推定することが可能である[Spohn et al., 1988]。

4. 研究成果

1) 第1256D孔が明らかにした超高速拡大海洋地殻は、溶岩層とシート状岩脈群の厚さの

比 $Re/i=2.4$ ときわめて高い値を示す。孔内計測によると、溶岩層の上部450 mは山麓で定置し、その下125 mは海嶺軸斜面を流下した枕状溶岩で、下部239 mが海嶺軸上で定置した。すなわち、溶岩層全体の3分の2はオフリッジで定置したものである。孔内計測によるバルク密度と、コア試料の化学組成から上部地殻の密度構造を推定すると、マグマよりも高密度の溶岩層とシート状岩脈群からなり、浮力の中立点を欠くことがわかる。そのため、発生した岩脈は容易に海底にまで到達し、噴火に至る。海嶺軸山頂はゆるやかに盛り上がり、流出した溶岩を山頂に止めておく中軸谷を欠くために、必然的に溶岩は海嶺軸斜面を流下し、山麓のオフリッジに厚く堆積することになる。従って、マグマ溜まり深度が一定であれば、高い Re/i は噴火量によって決まることになる。即ち、海洋地殻構造を規制するものとして、噴出量が重要であることがわかった。

2) 北部オマーンオフィオライトシート状岩脈群

オマーンオフィオライトのシート状岩脈群について、石基鉱物粒径の層序変化をもとに拡大軸直下における上部地殻の温度構造の復元を試みた。岩脈を形成したマグマのリキダスを1150、シート状岩脈群最上部の平均温度を100と仮定すると、玄武岩岩脈中心付近の石基斜長石の粒径変化から求められた母岩温度は、噴出岩層/シート状岩脈群境界からの深さ570 mで180、990 mで最高温度670、シート状岩脈群/上部ガブロ境界で530であった。また、シート状岩脈群下部330 mの地温勾配は最大1.7 /mと推定された。

Av number $\sim 10^2$ のオーダーが多く、Spohn et al. (1988) Model に比べて同じ Av number に対して、粒径が1桁小さい。核形成率が最大になる温度 T_i がリキダス温度 T_m に近くなると細粒結晶が多くなり、粗粒結晶が少なくなる。オマーンでは $T_i/T_{liquidus}$ がモデルで想定された値よりも小さい可能性が考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5件) 全て査読有り

1. Tominaga, M., Teagle, D.A.H., Alt, J.C. and Umino, S., 2009. Determination of the volcanostratigraphy of oceanic crust formed at superfast spreading ridge:

electrofacies analyses of ODP/IODP Hole 1256D. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, Q01003, doi:10.1029/2008GC002143.

2. Umino, S., Crispini, L., Tartarotti, P., Teagle, D.A.H., Alt, J.C., Miyashita, S. and Banerjee, N.R., 2008. The origin of the sheeted dike complex at superfast spread East Pacific Rise revealed by deep ocean crust drilling at ODP Hole 1256D. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, Q06O08, doi: 10.1029/2007GC001760.
3. 海野 進・下司信夫・熊谷英憲・岸本清行, 2008. 東太平洋海膨のオフリッジ火山はモホ遷移帯起源か? 地学雑誌, 117, 190 - 219.
4. Geshi, N., Umino, S., Kumagai, H., Sinton, J.M., White, S.M., Kishimoto, K. and Hilde, T.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 Planet. Sci. Lett.*, 258, 61 - 72.
5. Umino, S., 2007. Data Report: Textural variation of Units 1256C-18 and 1256D-1 lava pond, with special reference to recrystallization of the base of Unit 1256C-18 (PDF). In Teagle, D.A.H., Wilson, D.S., Acton, G.D., and Vanko, D.A. (Eds.), *Proc. ODP, Sci. Results*, 206: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1-32, doi:10.2973/odp.proc.sr.206.007.2007

[学会発表](計 28件)

1. 海野 進・高速拡大海嶺系の上層海洋地殻構造を決める要因について～深海掘

- 削第 1256D 孔からの考察．地球惑星科学関連学会 2009 年合同大会予稿集，K132-P001，幕張．2009.5.17
2. 海野 進．マグマ供給率の変動による中速～高速拡大海嶺型地殻の遷移．地球惑星科学関連学会 2009 年合同大会予稿集，G126-P004，幕張．2009.5.18
 3. Umino, S., Crispini, L., Tartarotti, P., Teagle, D.A., Alt, J.C., Miyashita, S., and Banerjee, N., The conditions of the formation of the sheeted dike complex at superfast spread East Pacific Rise revealed by deep ocean crust drilling at ODP Hole 1256D. *AGU 2008 Fall Meeting*, San Francisco, V43I-02, 2008.12.18
 4. Tominaga, M., Umino, S., Teagle, D.A. and Alt, J.C.. The Upper Crustal Formation at the Superfast-Spreading East Pacific Rise: Insights on the Lava Deposition History at Hole 1256D. *AGU 2008 Fall Meeting*, San Francisco, V43I-03, 2008.12.18
 5. 海野 進・岸本清行・トーマス W.C. ヒルデ・下司信夫・熊谷英憲・スコット M. ホワイト・ジョン M. シントン．基盤の傾斜によって支配される海底溶岩流の形態変移～しんかい 6500 による東太平洋海膨南緯 14 度の海膨軸横断調査結果．火山学会秋季大会講演要旨，A45，岩手．2008.10.13
 6. Miyashita, S., Adachi, Y., Kusano, Y., Hashimoto, T. and Umino, S., 2008. Along Axis Variations of Magmatic System in Fast-spread Oceanic Crusts: Evidence from the Northern Oman Ophiolite. *Abstracts of 5th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society 2008*, Busan, SE72-A018. 2008.6.17
 7. Umino, S., Kisimoto, K., Hilde, T.W.C., Geshi, N., White, S.M., Kumagai, H. and Sinton, J.M. Slope Control of The Submarine Lava Morphology Revealed by The Transect Across The Southern East Pacific Rise. *Abstracts of 5th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society 2008*, Busan, SE72-A007. 2008.6.17
 8. Umino, S. and Miyashita, S. Preliminary study of the thermal structure of the oceanic crust ~ A new approach using crystal size variations of the sheeted dikes. *Abstracts of 5th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society 2008*, Busan, SE72-A008. 2008.6.17
 9. 海野 進．高速拡大海嶺系のマグマ供給率の変動サイクル～シート状岩脈群からの制約．地球惑星科学関連学会 2008 年合同大会予稿集，J164-003，幕張．2008. 5.25
 10. 海野 進・宮下純夫．結晶粒径変化を利用した新しい地質温度計の試み～オマーンオフィオライトにおける拡大軸下の海洋地殻温度構造に関する予察的研究．地球惑星科学関連学会 2008 年合同大会予稿集，K129-P009，幕張．2008.5.25
 11. Tominaga, M., Alt, J.C., Umino, S. and Teagle, D.A. ODP/IODP Hole 1256D Volcanostratigraphy: A Cross-Section View of the East Pacific Rise Upper Oceanic Crust and New Insights of Lava Deposition History. *Abstract of Ridge 2000 Meeting*,

- Portland, U.S.A. 2008. 3.26
12. 海野 進・下司信夫・熊谷英憲・岸本清行. 東太平洋海膨のオフリッジ火山とモホ遷移帯. 東京大学海洋研究所共同利用研究集会「海洋リソスフェア学」講演要旨, 東京. 2008.3.24
 13. Takamasa, A., Nakai, S., Sahoo, Y. V., Hanyu, T., Tatsumi, Y., Tejada, M., Kumagai, H., Umino, S. and Sano, T., 2007. Tungsten abundance and isotopic compositions of Ocean Island Basalts, an Oceanic Plateau, MORB samples: in search for a core-mantle interaction. *AGU 2007 Fall Meeting*, San Francisco, U21A-0010. 2007.12.18
 14. Tominaga, M., Teagle, D.A., Alt, J.C. and Umino, S. Determination of Volcanostratigraphy of ODP/IODP Hole 1256D: Qualitative and Quantitative Core-Log Integration. *AGU 2007 Fall Meeting*, San Francisco, OS51A-0178. 2007.12.15
 15. 海野 進. 上部海洋地殻の構成とその形成条件について. 東京大学海洋研究所共同利用研究集会「海底拡大系の総合研究-InterRidge-Japan 研究発表集会-」講演要旨. 東京, 2007.10.31
 16. 宮下純夫・海野 進・ Expedition 309 & 312 Shipboard Scientific Partie . Hole 1256D の概要 . 第 4 回 IODP 成果報告会「Exp. 309/312 におけるガブロまでの初めての掘削」. 北海道大学, 札幌, 2007.9.10
 17. 海野 進. 上部海洋地殻の構成と形成条件. 新井田・前田仁一郎・宮下純夫・海野 進・阿部なつ江・荒井章司(世話人) シンポジウム「海洋地殻・マントルの " その場研究" の進展と今後の展望: 21 世紀モホール計画の実現を目指して」日本地質学会第 114 年学術大会講演要旨, S-17. 北海道大学, 札幌, 2007.9.10
 18. 海野 進・富永雅子. 超高速拡大海嶺における溶岩層とシーテッドダイクコンプレックスの特徴. 第 4 回 IODP 成果報告会「Exp. 309/312 におけるガブロまでの初めての掘削」講演要旨, 北海道大学, 札幌. 2007.9.10
 19. Umino, S. The Origin of the Sheeted Dike Complex beneath the Intermediate- Versus Superfast-Spread Mid-Ocean Ridges. *Abstracts of 2007 Japan Earth Planet. Sci. Joint Meeting*, K129-007. Makuhari, 2007.5.19
 20. 海野 進・宮下純夫・安間 了・佐野貴司・IODP 第 309・312 次航海乗船研究者一同. ODP1256D 掘削孔が解き明かす上部海洋地殻構造-超高速拡大海嶺下のマグマ供給系. 東京大学海洋研究所共同利用研究集会「海洋プレートと島弧の深部構造:IODP 超深度掘削へ向けて」. 東京, 2007.2.19
 21. Umino, S., Crispini, L., Tartarotti, P., Teagle, D.A.H., Banerjee, N.R., IODP Expedition 309&3127 Scientific Parties. Contrasting upper crustal structures revealed by deep ocean crust drilling --- insights into shallow magma plumbing systems beneath intermediate versus superfast spreading ridges. *Program and Abstracts of the 19th General Meeting of the International Mineralogical Association*, 225p (Invited). Kobe, 2006.7.26
 22. 安間了・N. ハイマン・E. ヴェロソ・L.

- ガリ・宮下純夫・J.C. アルト・N.R. バナジー・W.S.ダグラス・D.A.H. ティーグル・M. レイチョウ・富永雅子・山崎徹・平野伸夫・根尾夏紀・山崎秀策・海野進・統合国際深海掘削計画第 312 及び 309 次航海研究者一同．超高速拡大によって形成したシート状岩脈とガブロの構造：東太平洋 ODP-IODP 第 1256D 孔．地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会予稿集，K103-002p. 2006.5.16
23. 宮下純夫・海野進・ウイルソン ダグラス S.・ティーグル デーモン・アルト ジェフリー C.・バナジー ニール R.・IODP Expedition 309 Scientific Party・IODP Expedition 312 Scientific Party．上部海洋地殻全掘削 - ODP206, IODP309&312 研究成果ダイジェストと問題点．地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会予稿集，J161-002p. 2006.5.14
24. 山崎秀策・宮下純夫・安間了・平野伸夫・根尾夏紀・柵山徹也・佐野貴司・富永雅子・海野進・ヴェロソエウヘニオ・山崎徹・統合国際深海掘削計画第 309 次及び 312 次航海研究者一同．IODP Exp.312 Hole1256D におけるガブロノールライトとグラノブラスティック組織を有する変玄武岩類の岩石学的特徴．地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会予稿集，K103-P001. 2006.5.16
25. 海野進・クリスピニラウラ・タルタロ ッティバオラ・ティーグルデーモン A.H.・バナジーニール R.・統合国際深海掘削計画第 309 次及び 312 次航海研究者一同．なぜ超高速拡大海嶺にはシート状岩脈群が発達しないのか - 深海底掘削孔 ODP 1256D からの考察．地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会予稿集，K103-003. 2006.5.16
26. 海野進・宮下純夫・ウイルソン ダグラス S.・ティーグル デーモン・アルト ジェフリー C.・バナジー ニール R.・アクトン ゲイリー D.・ODP Leg 206 Scientific Party・IODP Expedition 309 Scientific Party・IODP Expedition 312 Scientific Party．上部海洋地殻全掘削 - ODP206, IODP309&312 研究成果ダイジェスト．地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会予稿集，K103-001. 2006.5.16
27. Umino, S., Crispini, L., Tartarotti, P., Teagle, D.A.H., Banerjee, N.R., IODP Expedition 309 and 312 Scientific Parties. The origin of the sheeted dike complex beneath the mid-ocean ridges --- insights from ocean-floor drilling of oceanic crust formed at intermediate-versus superfast-spread ridges. *Programme and Abstracts of the Volcanol. Soc. Japan 2006 Fall Meeting*, 41p, Aso. 2006.10.24
28. Umino, S., Miyashita, S. and IODP Exp.309/312 Scientific Party. Hole 1256D: ODP Leg 206, IODP Exp. 309/312, the nearest hole to the Mohole. *Japan-Korea Ocean Drilling Symposium 2006*, Niigata, Japan. 2006.4.30

〔その他〕

下記 URL に関連業績リストを掲載
http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/~umino/Umino_Main.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

海野進 (UMINO SUSUMU)
 金沢大学・自然システム学系・教授
 研究者番号：30192511