

東京大学海洋研究所共同利用研究集会

中央海嶺研究のグローバルな展開
-InterRidge-Japan 研究発表集会-

講演要旨集

日時：平成 18 年 11 月 9 日（木）10:30-18:10

平成 18 年 11 月 10 日（金）9:30-17:30

場所：東京大学海洋研究所 講堂

アルビンガイ類の系統進化と生物地理

内海隆司（東京大学海洋研究所）、小島茂明（東京大学海洋研究所）

アルビンガイ類は Provaniidae 科に属する大型の腹足類であり、マリアナトラフ、マヌス海盆、北フィジー海盆、ラウ海盆、インド洋中央海嶺の熱水噴出域に形成される化学合成生物群集の優占種である。鰓の細胞内に化学合成細菌を共生させ有機物を得ていることが知られている。ミトコンドリア DNA のチトクローム c オキシダーゼ・サブユニット I (COI) 遺伝子領域の塩基配列に基づく系統解析によって、アルビンガイ類が 5 つの系統群（マリアナトラフの *Alviniconcha hessleri*、マヌス海盆および北フィジー海盆に分布する sp. 1 と sp. 2、インド洋中央海嶺の sp. 3、ラウ海盆の sp. 4）に分かれることが知られている。このうち、sp. 2 と sp. 3 は ϵ -proteobacteria と、他の 3 系統は γ -proteobacteria と共生している事が 16SrDNA の塩基配列に基づく系統解析によって示されている。

90年代の一連の調査航海で採集されたサンプルを再検討したところ、sp. 1 と sp. 2 がマヌス海盆の PACMANUS サイトと北フィジー海盆の White Lady サイトで、数百メートルの距離を置いて、近接した熱水域間に住み分けている事が判明した。この様な住み分けが、どの様なメカニズムで維持されているのかを解明する事を目的に本年度、「よこすか/しんかい 6500」によるマヌス海盆・北フィジー海盆調査航海（YK06-13 首席研究者 産業技術総合研究所 鈴木庸平）をおこなった。

外部形態のみで sp. 1 と sp. 2 を識別するのが困難であるため、航海に先立ち、船上でアルビンガイ類と共生細菌の系統を PCR 法によって簡便に判別する手法を開発した。これにより、採集されたサンプルのデータを基に、翌日の潜航計画を立て、効率的な調査をおこなう事が可能となった。本航海では、マヌス海盆で 7 回、北フィジー海盆で 1 回の潜航調査をおこなった。マヌス海盆の PACMANUS サイトでは、90年代後半とはアルビンガイ類の分布が変化している事が明らかになった。また、同海域の Vienna Woods サイトで初めて網羅的な生物相調査をおこなった。

本講演では、今年度の航海で得られた知見を紹介するとともに、他の海域に分布するアルビンガイ類も含めた分子系統および系統地理学的解析から推定されたアルビンガイ類の歴史的な分散と遺伝的な分化過程について報告する。

西太平洋における重晶石チムニーの地球化学

野口拓郎、大森保（琉球大）

＜はじめに＞熱水性重晶石は、熱水中のバリウムイオンと海水中の硫酸イオンとの無機的な反応により熱水噴出口や熱水マウンド内のキャップロックなど熱水と海水の境界面に沈殿する鉱物である。熱水中のバリウムイオンはプレート沈み込み域においてスラブからの脱水反応や堆積物との反応により多く供給されるため、堆積物に覆われていない中央海嶺熱水域に比べて、プレート収束に関係する島弧や背弧海盆（特に堆積物に覆われた縁海部）熱水域が高い。したがって、熱水性重晶石は島弧や背弧海盆熱水域に多く析出する鉱物であり、島弧及び背弧海盆が集中する西太平洋海域を象徴する鉱物といえる。また、重晶石の特徴として、バリウムとラジウムはイオン半径が近く、重晶石中にはラジウムが固溶体として選択的に含有するため、一般に重晶石には ^{226}Ra （半減期 1600 年）や ^{228}Ra （半減期 5.75 年）が含まれ、放射能が高くなる。これらの放射性核種から ^{210}Pb （半減期 22.3 年）や ^{228}Th （半減期 1.91 年）が壊変生成することを利用して、重晶石の生成年代算出に用いることができる。また、ラジウムと同様に同族元素であるストロンチウムも固溶体として選択的に含有し、熱水中のバリウム及びストロンチウム濃度が変化しないと仮定すると、重晶石中の Sr/Ba 比は溶解度（温度の関数）に依存することが明らかになっている。

本研究では、沖縄トラフと南部マリアナ背弧拡大軸から採取された重晶石チムニー試料を用いて、重晶石の生成年代、化学組成、及びストロンチウム同位体比の測定を行い、チムニーの熱水噴出期間や熱水活動の経年変化に関する考察を行った。

＜実験方法＞

- （1）生成年代： γ 線スペクトロメトリー（ $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ 法（適用期間；重晶石析出から 150 年未満）、 $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 法（適用期間；重晶石析出から 15 年未満））
- （2）化学組成：中性子放射化分析、原子吸光分析
- （3）ストロンチウム同位体比：表面電離型質量分析（TIMS）

＜結果と考察＞沖縄トラフ伊是名凹地中心部に位置する HAKUREI サイトから採取された高さ約 1m の倒れたデッドチムニーは、 24.8 ± 1.3 年から 73.9 ± 13.6 年前、また伊平屋北部海丘から採取されたデッドチムニーは 13.7 ± 2.6 年から 88.5 ± 19 年前に生成したことが算出され、少なくとも一つのチムニーの熱水噴出期間は 50 年以上継続することが明らかになった。HAKUREI サイトの重晶石チムニーはストロンチウム同位体比が $0.709396(2\sigma : \pm 16)$ – $0.709451(\pm 16)$ であり、海水 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}: 0.7091$) よりも大きい同位体比が得られた。また HAKUREI サイト重晶石のストロンチウム同位体比は、JADE サイトの重晶石 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}: 0.7091$; Marumo and Hattori, 1999) よりも高く、凹地構造の底部である HAKUREI サイトの方が、より堆積物との相互作用を強く受けている事が明らかになった。重晶石中のストロンチウム同位体比は、海水よりも熱水のストロンチウム同位体比を反映しており、詳細な年代測定と組み合わせる事で、過去の熱水環境の時間変遷を推定することができることが明らかになった。

南部東太平洋海嶺における熱水溶存気体成分の化学的特徴

濱崎 浩 (九州大)、石橋 純一郎 (九州大)、上野 雄一郎 (東工大)、
ラプトン ジョン (NOAA/PMEL)

SEPR は海洋底の中では世界で最も速い拡大をしている中央海嶺であり、活発な熱水活動が確認されている。これまで南緯 17° から 19° における海底熱水の化学組成は報告されているが (J.L. Charlou, et al. 1996)、本研究のような広域にわたっての溶存気体成分の分析は為されていない。本研究での分析から、CO, CO₂, CH₄, He, H₂, N₂, O₂ に有意な値が見られ、特に CO₂ は気体成分中の 74% -99% を占めた。生物活動の影響を受けにくい CO₂ を、同様に生物の影響を受けにくい He で規定化したところ、南北にかけて 4 つの傾向が見られた。南緯 17.4° -21.6° 間の異状は南緯 17° 周辺で、周囲のマントルよりも CO₂ に富んだマントルの上昇によって起こされていることが示唆された。

海底熱水試料は、1998 年 12 月から 1999 年 1 月に行われた R/V Atlantis-DSV Alvin Cruise 3-30 で採取し、南緯 5° から 32° にかけて岩石・生物・熱水の調査およびが行われた。熱水の採取がなされた場所は、南緯 7.4° , 11.3° , 13.6° , 14.0° , 17.4° , 18.4° , 21.6° , 31.2° , 31.8° の計 9 箇所である。採取した熱水は船上で直ちに溶存気体を抽出し、液相では Na と Mg 濃度を測定した。抽出したガスは九州大学に持ち帰り、ガスクロマトグラフ GC7000TF (ジェイサイエンス社製) を用いた。CO, CO₂, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, は水素炎イオン化検出器 (Flame Ionization Detector) を、H₂, He, O₂, N₂ は熱伝導度型検出器 (Thermal Conductivity Detector) を使用してそれぞれの濃度を決定した。

測定結果から、熱水 100% のときの各溶存気体成分濃度を算出し、He で規定化して緯度毎にグラフを作成した。グラフから考察される内容は以下の通りであった。

- [1] CO₂/He の値を緯度毎にプロットしたグラフから、北から南に 4 つの傾向が異なる傾向が見られた。
- [2] 南緯 17° 付近に周囲のマントルよりも高 CO₂ の異常なマントルが上昇していることを示すデータが得られた。これは Kurz et al. 2005 の希ガスの測定結果と一致している。
- [3] 生物の影響を受けやすい成分 H₂, CH₄ の定量の結果、両成分の濃度は熱水温度に対し正の相関があった。逆に CO₂ 濃度は熱水温度に対し負の相関があった。

二酸化炭素の濃度に関して、周囲のマントルよりも高 CO₂ なマントルの上昇が他の海嶺でもあるならば、異常なマントル上昇に伴う熱水活動が地球規模での炭素循環にかかわっていることが考えられる。今後は各緯度での生物による還元的な気体成分の消費の大きさを見積もるために東京工業大学の上野雄一郎助教授の下で CH₄ の炭素同位体を測定する。

ファンデファーカ海嶺エンデバー海底熱水系における長期観測と EPR9N2006 噴火後の観測

中村 光一

(産業技術総合研究所 地質情報研究部門 海底系地球科学研究グループ)

2004年夏～2005年夏、2005年夏～2006年夏とファンデファーカ海嶺エンデバー海底熱水系の高温熱水噴出孔に各種センサーを突っ込んでの長期の観測をワシントン大学海洋学部の Marvin D. Lilley と行なっている。これは、ワシントン大学で今年まで続いた Keck Foundation 拠出資金による pre-NEPTUNE 計画とアリゾナ州立大学の Karl Booksh をリーダーとする NSF 資金による” Smart Sensors for In-Situ monitoring of Hydrothermal Vent Systems” の一貫で行なわれた。後者の計画ではエンデバー海底熱水系だけでなく、EPR9N もターゲットとしていた。演者は保有データロガー数などの制約からエンデバーにだけ参加していたが、本年初めの 9N での噴火を受けて 9N の観測にも参加することとなった。(9N の観測経緯は 8 月 8 日付けメーリングリスト投稿「[intridge-j 100]EPR9N 噴火対応の舞台裏」参照) 9N においては 6 月の response cruise で設置された機器 (3 セット用意されて結局 1 セット設置) を今月の Karen von Damm を首席とする Atlantis 航海で回収し、同じ航海で再度 2 セット設置して 2007 年 12 月の von Damm の Atlantis 航海で回収する予定である。また、この間、1 セットを 2005 年 11 月から 2006 年 5 月までマリアナ島弧、日光海山山頂にも設置、回収した。

演者のカウンターパートの Lilley の目論見は将来の NEPTUNE などの観測計画も睨みながら海底熱水活動の変化、温度だけではなく、化学成分の変化を tectonic event との関係のあるなしを含めて捉えようとするものである。その背景には、エンデバーと 9N 両方において 1 年に 1～2 回程度の潜航機会を捉えて継続的に進めた同じ噴出孔の熱水サンプリングによって化学成分の変化が tectonic event に強く規制される形で得られているのをもう少し連続的に捉えたいという願望があった (下記文献参照)。

熱水噴出孔に挿入しているセンサーは温度、電気伝導度、水素、酸化還元電位であり、データロガーでの周囲海水温度もモニターしている。また、潮汐周期を捉えるため、エンデバーでは圧力計も置いた。熱水の電気伝導度は塩分濃度を介して熱水が沸騰して気液分離を起こしたかどうかを捉えることを目標としている。水素センサーは高温高压実験の水素雰囲気のコントロールに使用される Pd-Au 合金膜を介した圧電素子による水素分圧測定原理によっている。他にも Lilley らは CO₂ センサーを開発中であるが、現場計測にまで至っていない。2005～2006 年の観測結果と設置における様々な問題点を紹介し、海底ケーブルを用いた長期観測への見通しも述べる。

Von Damm et al. (1995) Evolution of East Pacific Rise hydrothermal vent fluids following a volcanic eruption. *Nature*, 375, 47-50.

Lilley, Butterfield, Lupton & Olson (2003) Magmatic events can produce rapid changes in hydrothermal vent chemistry. *Nature*, 422, 878-881.

WHOI AUV, ABE との 7 年間の熱水調査-探索活動の小括
-Endeavour, Explorer Ridge, Lost City, Lau, S.
Atlantic & Manus -.

中村 光一

(産業技術総合研究所 地質情報研究部門 海底系地球科学研究グループ)

演者はリッジフラックス計画の SEPR-Melville 航海において初めて酸化還元電位計を CTD-採水装置に取り付けて海嶺にそって分布する熱水プルームを検出した。熱水プルーム tow-yo データで悩ましいのは optical backscatter sensor による懸濁物異常との空間的不一致の頻繁な出現である。10 数年の経験を経て、懸濁物異常が出なくても酸化還元電位異常が出れば、熱水の存在を指し示すということを Edward Baker も認めるようになったが (文献参照), 初期においては、それをもう少し直接的に示すためにセンサーが装着されているプラットフォームの形態と運動によって海水が掻き回されることなく海水をセンシングしたいと思った。そこで、AUV に装着して観測することを目指し、1999 年 AGU Fall Meeting において WHOI の Dana Yoger を講演後に捉まえて酸化還元電位センサーを AUV に装着する意義を説き、翌月には ABE の設計中心人物の Albert Bradley とメールで技術的検討を終えた。その直後のワシントン大学訪問中に Lilley を介して Russell McDuff のエンデバー海嶺からの熱フラックスを求めるという航海への参加機会を得た。その Flow Mow 航海においては上昇する熱水プルームの中心部は温度と酸化還元電位が異常を示しても懸濁物はたいした異常を示さないことがある明確なデータを得た。

演者自身が参加した 2 回目の ABE 航海は 2002 年の NOAA, PMEL の Submarine Ring of Fire 初年度の Explorer Ridge 航海だが、エンデバーよりも情報の少ないこの海域において熱水を見つける手段として有効であることを関係者に印象づけた。続く、2003 年 4 月の Lost City の航海では演者は乗船できなかったものの、こういう低温熱水では温度も懸濁物も熱水探査に役立たず、酸化還元電位のみが有効であることを立証した。2004 年 6 月の McDuff の 2 回目のエンデバー航海において WHOI-MIT の大学院生の Mike Jakuba が温度と酸化還元電位異常を判断基準に ABE を自律航走させるプログラムの試験を開始し、続く 9 月の Langmuir の Lau Basin 航海において AUV によって未発見の海底熱水の噴出地点を決めることに成功した。この航海 flow chemical analysis 装置を開発して乗船した当時 Southampton Oceanographic Centre 所属の Chris German がこの成功に印象づけられ、WHOI, Deep Submergence Group の Chief に異動後 AUV による 3 段階の熱水探査を積極的に宣伝し始めた。その後の大西洋や最近のマヌス海盆の調査まで 2000 年から 7 年間で ABE の航海は 15 航海あり、最長 30 時間に及ぶ潜航が 158 回行なわれているが、酸化還元電位センサーは 133 回の潜航に装着されている。

Baker, Resing, Walker, Martinez, Taylor & Nakamura (2006), Abundant hydrothermal venting along melt-rich and melt-free ridge segments in the Lau back-arc basin, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L07308, doi:10.1029/2005GL025283.

かんらん石の存在する熱水条件下での、二酸化炭素の還元による
メタン生成とその炭素同位体変動
竹本和生（東京大）、浦辺徹郎（東京大）

近年、中央海嶺などから無機起源と考えられる CH_4 の検出例が多く報告されている。 CH_4 の生成量および ^{13}C 同位体比を実験的に検証することは、 CH_4 の起源を特定する上で必要な情報である。しかし、微生物起源・熱分解起源の CH_4 と比較して無機起源の CH_4 に関する実験的な報告は少なく、特に Olivine 存在下で生成する CH_4 の ^{13}C 同位体組成についての報告はまだ例がない。また、 CH_4 の起源についても、 CO_2 の還元による Fisher-Tropsch type の反応で生成するという説と、Olivine に含有される有機物の分解によるとする説がある。

そこで本研究では、Seyfried 型熱水合成装置を用いて海底熱水系の環境を再現し、Olivine 存在下で CO_2 から CH_4 を合成する実験を行った。生成した CH_4 について、新たに導入した PT-GC-MS システムで濃度および ^{13}C 同位体比を測定し、図 1（250℃）、図 2（400℃）のような結果を得た。

この結果を、同位体平衡に関する Richet ら(1977)の理論式で評価した(図 3)。その結果、

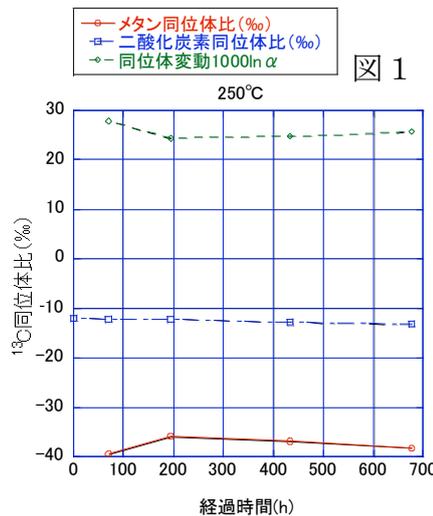


図 1

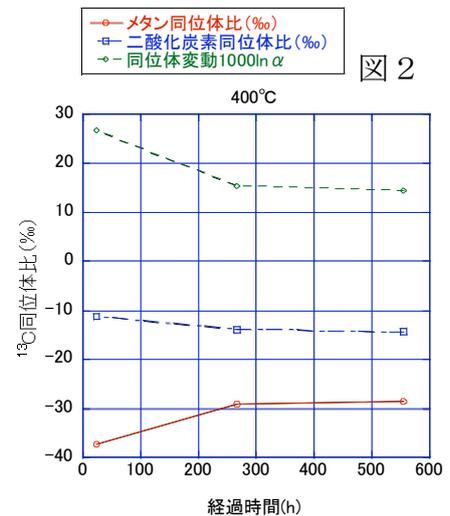


図 2

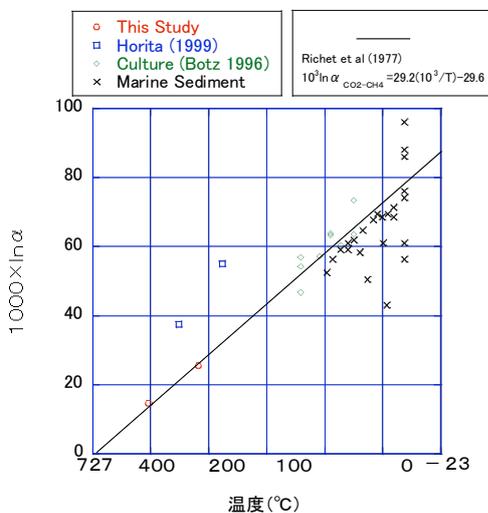


図 3

- 1、微生物起源 CH_4 と無機起源 CH_4 の炭素同位体組成は Richet らの理論式と一致する
- 2、これまで推定されていた、理論値からの Kinetic effect によるずれは無視できる
- 3、同位体平衡が達成されていることから、Olivine 存在下で CO_2 から CH_4 への還元反応が、熱水条件下で起こるといふ結論を得た。

海洋地殻における高度変成岩（グラニュライト）の広域的出現 -IODP Exp. 312 Hole 1256D とオマーンオフィオライトにおける例-

宮下純夫（新潟大）・足立佳子（北大）・山崎秀策・田中真二・
根尾夏紀（新潟大）・IODP Exp. 312 乗船研究者一同

IODP Exp. 312 の Hole 1256D の掘削によって、太平洋海洋地殻から世界で始めて正常な海洋地殻においてガブロまでの掘削に成功した (Wilson et al., 2006). ガブロは海底下 1410m 付近 (基盤深度 1250m 付近) から出現し始め、上位の 50m の厚さのガブロ 1 とより深部の 20m ほどの厚さのガブロ 2 から構成されている。ガブロ 2 のより深部はグラノブラスティックダイクから、そして皮肉な事に最深部の海底下 1505m 付近には弱変成の玄武岩が出現して掘削は終了した。したがって、海嶺下のメルトレンズで形成されたいわゆる上部ガブロ層まで到達したかどうかについては未だ確定しているわけではなく、オフアクシスで貫入したガブロである可能性も高く、本サイトではさらなる掘削が必要である。

さて、本掘削により明らかになった問題として、極めて高い変成温度勾配を示すこと (ODP 504B の倍近い温度勾配!), このことと関連してグラノブラスティック*ダイク (*モザイク状等粒他形結晶からなる変成岩に特徴的に出現する岩石組織のこと) と名付けられたグラニュライト相に達するような高度に変成した岩石の出現がある。この岩石はガブロ 1 の上位 50 メートル付近から始まり、最深部までガブロによってとぎれながらも続いている。源岩はドレライトダイクと考えられる。海洋底から大規模にグラニュライト相変成作用を被った岩石が出現したのは初めてである。問題はこうした高度変成作用がダイク-ガブロの漸移帯でどこでも生じているのかという問題である。

オフィオライトにおいてはシート状岩脈群の基底部分においてグラニュライト相に達するような高度変成岩が出現する例があることはこれまでも報告されているが、それらは極めて局所的でスケールが小さい (Gillis, 2002)。一方、オマーンオフィオライトにおいては通常のダイク-ガブロ漸移帯ではこうした変成岩は出現せず、ある特定の場において大規模に出現することが明らかになってきた (宮下ほか, 2006 地球惑星連合大会)。特定の場とは、1) 海嶺セグメント構造の大きな不連続部における海嶺が伝播していったような場、2) 海嶺セグメント中心部における活発なマグマ供給による大規模なストーピングを起こしたような場の 2 つである。

今回の講演ではこれらの産状や記載岩石学的特徴について紹介し、Hole 1256D におけるグラノブラスティックダイクの大規模な出現の意義について考察する。

インド洋 MORB とオフィオライト問題

根尾夏紀・宮下純夫（新潟大学）

南西インド洋 MORB の不均質性

南西インド洋海嶺の東側は Natland(1991), Meyzen et al(2003), Robinson et al(1996)らによって玄武岩組成が検討されている。その結果、この地域では海嶺軸に沿って玄武岩組成が変化していることが明らかになった。しかし、これらの研究では区分している場所が異なっており、現在まで得られているデータを総合して検討する必要がある。

本研究ではこの地域を玄武岩化学組成から 55E からロドリゲス三重会合点(70E)までを4つに区分した (AreaⅣ:55E - Atlantis II F.Z(57E), AreaⅢ:57E - Melville F.Z(60E), AreaⅡ:60E - 68E, AreaⅠ:68E - ロドリゲス三重会合点(70E))。全岩化学組成を用いて比較すると、Ⅰ・Ⅳ、Ⅱ、Ⅲは別のトレンドを描きその違いは結晶分化作用では説明できない。また、REE パターンから検討すると、Ⅰ・Ⅳは N-MORB に似たパターンを示すのに対し、Ⅱ・Ⅲは LREE にエンリッチしたパターンを示す。また REE 比が異なっていることから、部分熔融度の違いで説明することはできない。これらのことから南西インド洋海嶺下には AreaⅡタイプの LREE と Na₂O にエンリッチしたソースが存在していると考えられる。

オフィオライト問題

従来からインド洋 MORB は太平洋・大西洋に比べて Na₂O が高く、部分熔融度が低いことは知られている。ところが微量元素組成の特徴などはあまり明らかになっていない。南西インド洋海嶺の玄武岩を La/10-Y/15-Nb/8 組成区分図 (Cabanis and Lecoll, 1989)に適応すると、必ずしも N-MORB の領域にはプロットされず、BABBS (Back arc basin basalt)にプロットされることがあることが明らかになっている (根尾・宮下, 2005 連合大会)。このことは、この組成区分図ではインド洋 MORB と BABBS の区別をすることができないということを示唆している。これは組成区分図に太平洋や大西洋のみが使われており、インド洋のデータが使われていないことが原因と考えられる。

オマーンオフィオライトでは今もなお生成場に関する論争、中央海嶺か沈み込み帯かという議論が続いている。従来から、生成場を知る方法として組成区分図がよく使われるが、上記のことからインド洋に関連した議論をする場合は注意が必要である。特にオマーンオフィオライトはテーチス海で形成され、現在のインド洋に引き継がれている。このオマーンオフィオライトの生成場を議論する時にインド洋のデータが入っていない組成区分図を使用することは問題があり、インド洋 MORB のデータを含めた組成区分図を使用すべきだと考えられる。

ロドリゲス三重点近傍に見られる Nb に枯渇した MORB の成因

中村謙太郎 (IFREE)、佐藤暢 (専修大)、佐藤泰彦 (海洋研)、
石井輝秋 (海洋研)

インド洋では、太平洋・大西洋とは異なる特異な同位体組成を持つ MORB の存在が古くから知られており (Dupre and Allegre, 1983), この原因として過去にリサイクルした地殻物質によるマンツルの不均質が考えられている. 地殻物質の起源としては, 主に沈み込んだ海洋地殻と堆積物 (Rehkämper and Hofmann, 1997), およびデラミネートした下部大陸地殻 (Escring et al., 2004) が提案されているが, 未だ結論は得られていない. 本発表で発表者らは, インド洋中央海嶺ロドリゲス三重点近傍で発見した, 顕著な Nb 負異常を持つ特異な微量元素組成を示す MORB について報告し, その原因を考察する.

研究試料は, 海洋研白鳳丸の KH93-3 航海において, ロドリゲス三重点および中央インド洋海嶺, 南西インド洋海嶺, 南東インド洋海嶺のそれぞれ第一セグメントよりドレッジされたものである. 多くの試料は, 無斑晶もしくは少量のかんらん石と斜長石の斑晶を含む. 周囲に急冷ガラスを伴うサンプルがしばしば認められ, かんらん石斑晶の一部には, skeletal shape を示すものがあることから, マグマが噴出時に急冷されたことが示される

主成分元素組成は, 本研究試料が典型的な低アルカリソレイトであることを示し, 一般的な MORB の組成とも良く一致している. また, MgO の減少に伴う他の主成分元素の変動, および高いかんらん石の mg# ($=\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$: 83~90) から, これらの試料が未分化であり, 結晶作用の影響をあまり被っていないことが示唆される.

微量元素組成は, MORB 規格化スパイダーグラムにおいて顕著な Nb の負異常を持つ特異なパターンを示し, その他にも LIL 元素および U, Pb, Sr に若干富む傾向が認められる. このような微量元素組成の特徴は, インド洋 MORB について提案されている地殻物質の混入と調和的である. 地球化学的モデリングの結果, 本研究試料の微量元素組成は, 枯渇したマンツルからもたらされる MORB マグマに少量 (1-2%) の下部地殻起源メルトを混入させることで最も良く説明されることがわかった. この結果は, 近年 Os 同位体 (Escring et al., 2004) および Hf 同位体組成 (Janney et al., 2005) から提案されている説と整合的である.

南西太平洋とインド洋の海嶺熱水活動域の 地球生物学研究調査

高井研(JAMSTEC)、YK04-09 研究調査乗船研究者一同、
YK05-16 研究調査乗船研究者一同

2004年9月～10月にかけて、及び2006年2月～3月にかけて、よこすか・しんかい6500を用いた南西太平洋とインド洋における海嶺熱水活動域の地球生物学研究調査が行われた。

南西太平洋域では、ラウ海盆バルファリッジにおける1989年のフランスNautiLau航海で発見された2つの熱水活動域の再訪と近年、熱水プルーム調査で存在が示唆されてきた新しい熱水活動域の発見を目指して、計16潜航が行われた。結果として、Mariner Fieldの発見と15年という極めて短い期間でのVai Lili Field熱水活動の終焉を明らかにすることができた(Ishibashi et al., 2006)。さらに、本航海のもう一つの目的であった南太平洋における巻貝における共生システムの分布・伝播についても、Vai Lili Fieldに生き残っていた数個体の*Alviniconcha*属、*Ifremeria*属を捕獲し研究に供することによって、異なる巻貝間における共生システムの確立が異なる時空間レベルによって制御されていることを初めて明らかにした(Suzuki et al., 2006a; 2006b)。さらに、微生物生態系においては、世界で初めて熱水の気液二相分離に伴う鉱物・熱水化学・ガス・微生物群集構造と機能の相関を明解に示す結果が得られており現在投稿準備中である(Takai et al., in preparation)。

一方、インド洋中央海嶺においては2002年のYK01-15航海において、Kairei Fieldにて水素に依存した地殻内独立栄養微生物生態系(ハイパースライム)の存在(Takai et al., 2004)が見つかり、また日本としては初めて鎧をまとった巻貝スケーリーフットの捕獲に成功していた。またスケーリーフットの硫化鉄の鱗が捕食防御機構の可能性があること(Suzuki et al., 2005b)、インド洋に生息する*Alviniconcha*属が通常のカンプロテオバクテリアではなくイプシロンプロテオバクテリアを共生させていること(Suzuki et al., 2005a)など、熱水生態系の常識を覆すような新事実がKairei Fieldから見つかっていた。これらの現象は、Kairei Fieldに固有の現象なのか、インド洋中央海嶺に共通の現象であるのか、対象熱水活動域の研究が行われておらず、不明のままであった。そこで、Kairei Field再訪とEdmonds Fieldの潜航を計10潜航行った。結果については現在鋭意進行中であるが、(1)Kairei Fieldのハイパースライムが再確認されると共に、勢力拡大中であること、(2)超マフィック岩関与がないEdmonds Fieldにはハイパースライムが存在しないこと、(3)Kairei Fieldの水素生成メカニズムは、超マフィック岩関与が濃厚ではあるが、明らかにRainbow FieldやLost City Fieldのような大西洋中央海嶺とは異なり、当然微生物生態系の構造と機能も大きく異なること、が明らかになっている。

海嶺熱水活動は多様であり、その多様性は生命-地質相互作用の多様性である。これらの研究には「おやじ」はだめ。若き感性と情熱が必要とされている。

熱水組成はマントル不均質の反映か？

～YK05-16Leg1 中央インド洋海嶺潜航調査

熊谷英憲 (JAMSTEC) ・ YK05-16Leg1 乗船者 ・ 陸上協力者*

(*沖野郷子・森下知晃・澤口隆・中村謙太郎・佐藤暢・吉原新・上嶋正人・岸本清行・鈴木勝彦・根尾夏紀・澁谷岳造・佐藤太一・高江洲盛史・岡田聡・高井研)

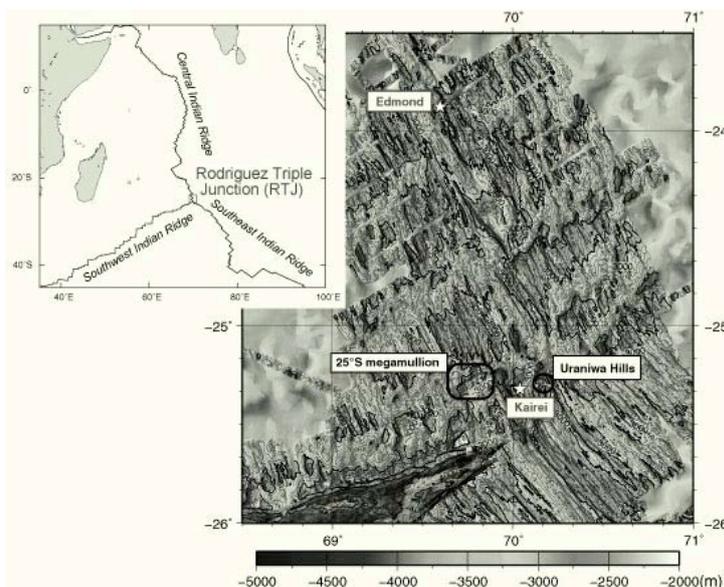
中央インド洋海嶺(CIR)には、南端のロドリゲス海嶺三重点(RTJ)から数えて1番目と3番目に Kairei と Edmond の熱水活動がみられる。このうち、Kairei サイト熱水は高い水素濃度によって特徴づけられるだけでなく (Van Dover et al., 2001)、「スケーリーフット」として知られる硫化鉄の鱗を足にもつ巻き貝が知られ、海底下に熱水系によって供給される水素からエネルギーを得る微生物生態系が見いだされるなど (Takai et al., 2004)、生態系としても特殊である。このような特殊性の地質学的背景を解明すべく、(微)生物学・熱水地球化学のグループと共同してしんかい 6500 による潜航調査を実施した。

地質・地球物理を分担する Leg1 では、Kairei 熱水組成から推定された近傍での超マフィック岩の露頭探索のための熱水サイト周辺の地質観察の他、広域のテクトニクス・火成活動度を反映するような特異な地形や海嶺セグメント中軸谷内での火山岩試料の採取を行った。Kairei 熱水サイトのごく近傍は枕状・シート状溶岩で覆われ、期待されたような超マフィック岩の露頭はみられなかったが、この溶岩は非常に液相濃集元素に枯渇した微量元素組成を示す特異なものであった。一方で、Kairei 熱水サイトから 20km 西方の OCC および、15km 東方に新たに発見された小規模な OCC 状の地形では、蛇紋岩化もしくは風化したかんらん岩のほか、地殻下部を構成すると考えられるはんれい岩が多数採取され、周辺がマグマに不足した環境にあったことを強く示唆する。

Edmond 熱水サイトの属する第3セグメントの南端には中軸谷を埋める大規模な火山体があって、マグマ供給がごく最近まで過剰であったことを示す。この表面を構成する溶岩は Kairei 熱水サイトとは逆に、液相濃集元素に非常に富んだ微量元素組成を示す。Edmond 熱水サイトの近傍、両熱水サイトの間のセグ

メント中軸谷内部から採取された溶岩もやや液相濃集元素に富んでいる。

以上から、Kairei 熱水サイトの周辺は、インド洋中央海嶺南端付近の他のセグメントよりさらに、マグマ供給に乏しい地質環境にあって、熱水組成の特異性は火成活動度、とくに、マグマ供給量と関連して理解すべきと考えられる。



図：CIR 南端の海底地形図。
Data sources: KR00-05, YK01-15 and YK05-16.

インド洋中央海嶺南端部の海洋コアコンプレックスの磁化構造

—船上および深海型 3 成分磁力計を用いた解析—

佐藤太一（海洋研）、沖野郷子（海洋研）、熊谷英憲（JAMSTEC）

海洋コアコンプレックス(OCC)とは、拡大方向に畝上地形(corrugation)が見られるドーム状の地形である。OCC はデタッチメント断層の下盤の露出によって形成された地形と考えられ、また橄欖岩や斑レイ岩といった深部物質が採集されている。OCC の調査は海洋性地殻の地下構造を理解するうえで重要な地形である。

本研究では 2006 年 1 月に「よこすか」にてインド洋中央海嶺(CIR、両側拡大速度:50mm/yr)南端部に位置する海洋コアコンプレックス(25° S OCC)の磁化構造について調査を行った。

地磁気探査には海上曳航磁力計(PM)、船上 3 成分磁力計(STCM)、「しんかい 6500」取り付けた深海型 3 成分磁力計(DSTCM)の 3 種類の磁力計を用いた。PM と STCM では地磁気反転などの大きな磁化構造を、DSTCM では海底数 10m の磁化構造を見ることができる。また STCM と DSTCM は 1 測線でも地磁気境界の情報を得ることができる。潜航調査は畝状地形に沿って 3 回実施され、地磁気異常を測定した。この調査は、OCC の磁化構造とばかりでなく海底下の磁化構造の理解につながる。岩石採集もおこなったので、岩石の磁化強度と DSTCM の結果を比較することにより、どのような岩石が地磁気異常に影響を与えるのかについての理解につながると考えられる。

PM による磁化強度分布から、25°S OCC の頂上部において強い正磁化が認められた。25° S OCC は逆帯磁期に発生したと考えられているので、この正磁化はデタッチメント断層に沿って露出した、下部地殻または上部マントルの橄欖岩の蛇紋岩化作用によりできた磁鉄鉱の誘導磁化によるものと考えられる。

STCM による地磁気境界ベクトルから、25° S OCC 上では拡大軸に垂直な方向に地磁気境界が存在していることがわかった。急な地形の変化は見られないので、この境界は地磁気境界であると考えられる。また PM と STCM の地磁気境界には大まかな一致が見られた。

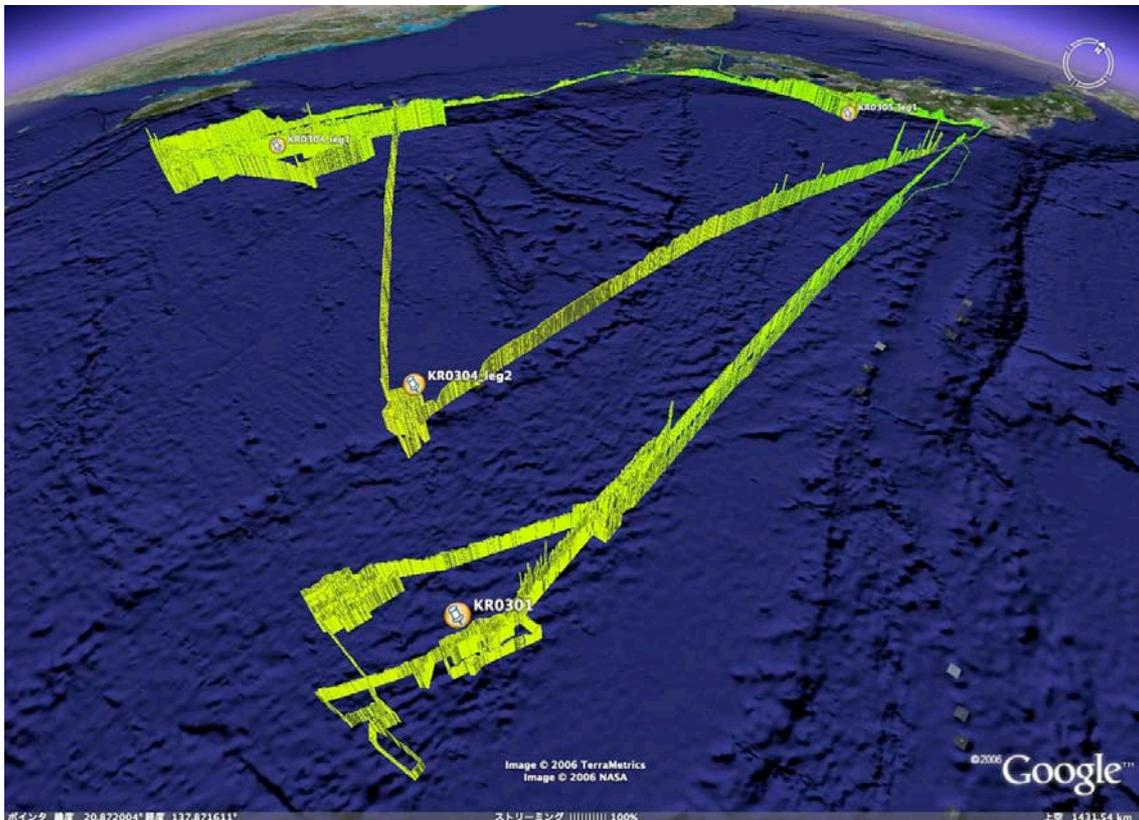
DSTCM による磁化強度分布から、畝状構造に沿って磁化強度の変化が見られた。軸に近いほうの側線では主に正帯磁であり、細かな 10A/m ほどの振幅が見られる。中腹の側線では逆帯磁を示し、細かな振幅は見られない。測線間のデータは取られていないが、この部分に地磁気境界があると考えられる。

PM による磁化強度分布では畝上構造は正帯磁を示すが、海底調査ではそうではないことがわかった。潜水艇のデータは地下の浅い部分の効果を見ているので、細かい振幅は表面に露出している岩石の風化や変質などの影響を表しているのかもしれない。しかし数値計算によるエラーの可能性も考えられるので、今後吟味していく必要がある。

Google Earth を用いた航路情報ならびに取得データ所在の 一元表示システム

山岸保子 (JAMSTEC)、谷中洋司 (富士通株式会社)、坪井誠司 (JAMSTEC)

現在、様々な分野でネットワーク上にデータベースが作成されており、利用者はこれらを利用することで容易に、そして大量にデータが取得出来るようになってきている。しかし、ほとんどのデータベースでは、そのデータ索引情報が複数のテキスト情報として与えられており、位置情報と密接に関係したデータであっても、その情報を視覚的に与えて、利用者が希望するデータを簡単に得られるように作成されているデータベースは限られる。また、様々なデータベースが各々独自に作成されているため、同種のデータであっても、どこにどのようなデータが存在しているのかを知る為には、個々のデータの提供組織を知る必要がある。本研究は、複数のデータベースを効率よく利用出来る仕組みを作成するために、Database on Google Earth という概念を提唱する。これは、言わばデータベースの為のデータベースであり、位置情報に密接に関係したデータの、その位置情報と、データ本体が得られるデータベースを Google Earth 上に一元に表示する、というものである。本発表では、その一例として、JAMSTEC の探査船の、航海データと、その航海による取得データの種類そして所在を Google Earth 上に表示したものを紹介する。



KAIREI の航路同時表示の一例。図中の帯が航路を示し、帯の高さが水深、帯の色が水温に比例する。図中の矢印マークは航海名を示す。

中速拡大海嶺系の海洋コアコンプレックス

沖野郷子（東大海洋研）、小原泰彦（海洋情報部）、野木義史（極地研）

テクトニックな伸張が卓越する拡大様式においては、大規模な正断層（デタッチメント断層）が発達して地殻深部やマントル物質が海底面に引きずり出された結果、しばしば海洋コアコンプレックス (Oceanic Core Complex, OCC) と呼ばれる構造が形成される。OCC は拡大方向に平行な畝地形を表面に持つドーム状の地形を特徴とし、比較的高い重力異常を伴うことが多く、海底面に（時に断層変形した）深部地殻・マントルの岩石が露出する。現在報告されている OCC の大半は低速拡大系に位置し、概ね 20-30 km の水平的広がりとし、1-2 百万年の時間スケールを持つ。一方、数は少ないが中速拡大系においても OCC が存在し、時にきわめて大型の OCC が出現する。中速系 OCC は、1) 拡大プロセスを規定するものが速度ではなく速度/メルト供給バランスであることが明確、2) 大型化が中速系の特徴であるなら、断層運動の継続時間の上限に示唆を与える可能性がある、3) OCC が大型であると時空間分解能のよい調査が可能、などの研究上の重要性と利点がある。私達は、中速系 OCC の存在する南東インド洋海嶺 (KH-01-3) とパレスベラ海盆拡大軸 (KH-03-3, KH-05-1)、中央インド洋海嶺 (YK05-16) の調査研究をこれまで行ってきた。

南東インド洋海嶺 AAD における重力異常調査からは、OCC と通常の海洋底を比較すると、地殻の厚さに換算して約 3km の差があることがわかり、OCC では高密度の地殻深部/マントル物質が海底面近傍に存在することが示された。また、OCC では海底の磁化強度が周囲に比べて正にシフトすることが明らかになった。これはマントル岩の蛇紋岩化によりマグネタイトが生じ誘導磁化が現れた結果と解釈できる。地磁気異常観測から 2 百万年前以降に形成された海底の地磁気異常から精密な拡大速度の復元を行ったところ、通常の見られる調査域西部では拡大軸に対して両側対称でほぼ一定の速度で海洋性地殻が付加しているのに対し、OCC の存在する海域西部では拡大速度に著しい非対称性が見られた。OCC 形成期には、OCC 側すなわち正断層運動が拡大のほぼ 7 割を担い、海嶺軸の反対側での海洋性地殻の付加は 3 割程度でしかない。一方、パレスベラリフトにおいては、長さ 120km に及ぶ畝地形を伴う巨大 OCC をはじめ、複数の OCC と推定される構造が発見されたが、重力異常との明確な相関は見られず、むしろ全体に地殻が標準より薄い可能性が高い。地磁気異常は極めて弱く地形が複雑なために解釈が難しいが、初期的な解析結果からは、AAD 同様に OCC 側でみかけの拡大速度が相対的に速い非対称性が見られ、拡大が主にデタッチメント断層運動で担われていることを示している。中央インド洋海嶺南端の OCC は小規模なため拡大速度非対称を論ずることは難しいが、磁化強度が正にシフトする現象は AAD 同様に見られ、マントル岩の露出を示唆している。

OCC がデタッチメント断層の下盤であることは現在の共通認識といえ、貫入岩量がプレート分離量の 50% 前後の時に大規模デタッチメント断層が発達することが Buck ら (2005) の数値計算モデルにより示されている。上記の一連の結果は観測からメルト供給量と拡大様式を定量的に関連づける試みのひとつである。

IODP Expeditions 304/305: 海洋コアコンプレックスの掘削

小原泰彦(海上保安庁海洋情報部)・Donna K. Blackman(スクリップス海洋研究所)・Benoit Ildefonse(モンペリエ第2大学)・Barbara E. John(ワイオミング大学)・D. Jay Miller(テキサス A&M 大学)・Christopher J. MacLeod(カーディフ大学)・IODP Expedition 304/305 乗船研究者一同

海洋コアコンプレックス (OCC) とは、海底が拡大する際に断層下部 (下盤ブロック) が相対的に上昇し、断層上部 (上盤ブロック) が相対的に下降する正断層が発生し、上昇した下盤ブロックがマントル物質であるカンラン岩を伴って海底面に露出したものと考えられてきた。今回 IODP Expeditions 304/305 で掘削を実施した大西洋中央海嶺北緯 30 度にあるアトランティスマシフ岩体では、事前の地震波探査において、海底面下数百 m の位置に変質を受けていない新鮮なマントルカンラン岩の存在が想定されていた。アトランティスマシフ岩体を直接掘削することにより、OCC 自体の形成過程解明だけでなく、海洋リソスフェアの進化過程解明が期待された。また、比較的新鮮なマントルカンラン岩の採取が期待されたため、「地殻とマントルの境界面—モホロビチッチの不連続面 (モホ面) は何か」という、古くて新しい問題の解決も科学目標の一つとして掲げられた。

掘削孔 U1309D における掘削では、海底下 1415 m まで掘進し、連続した海洋地殻セクションの回収に成功した。得られた岩石種は、若干のダイアベース・蛇紋岩化したカンラン岩の他は、ほぼ全てガブロ類であり、事前の地震波探査で想定された新鮮なマントルカンラン岩は掘進した範囲内では存在しなかった。従って、本航海では「モホ面は何か」という問題の解決には、残念ながら寄与することは出来なかった。

これまでに実施された OCC における掘削 (南西インド洋海嶺・アトランティスバンクにおける Hole 735B、大西洋中央海嶺・15 度 45 分 OCC における Site 1275) では、カンラン岩はほとんど採取されず、本航海 (掘削孔 U1309D) と同様に、ほぼ全てガブロ類であった。これらの事実は、マグマ供給が少ない条件下における海底拡大によって OCC が形成される、というこれまでのモデルに疑問を投げかけるものであり、逆に、マグマが存在する条件下における海底拡大によって OCC が形成される、という新しいモデルを示唆するものである。現在進行中の岩石試料やロギングデータの分析・解析によって、海洋リソスフェアの進化過程の新しいモデルの提出が期待される。

大西洋中央海嶺北緯 30 度，アトランティスマッシュフにおける
緑れん石含有優白質閃緑岩の起源：
低速拡大軸下でのマグマ-熱水相互作用への示唆

山崎 徹、前田仁一郎（北大・自然史科学）

高速拡大軸の熱水循環系では、海洋底から“recharge”された海水が定常的に存在するメルトレンズ直上の“reaction zone”において高温の海水/岩石相互作用を経て、最終的にチムニーから“discharge”する、いわゆる“recharge-discharge”モデルが広く受入れられている。実験岩石学的な検討によると、この“reaction zone”では、緑れん石と Ca に富む斜長石存在下での反応が熱水組成に重要な役割を果たしているらしい。一方で、低速拡大軸では定常的なメルトレンズがほとんど確認されておらず、高温状態のガブロが熱水循環系の熱源となっていると考えられているが、“reaction zone”の実体そのものについてはよく分かっていない。低速拡大軸の深成岩類のうち、緑れん石を含む変質した岩石は、いわゆる“珪長質岩類”や磁鉄鉱・チタン鉄鉱に富む“oxide gabbro”であり、前者に最も普通に認められる。しかし、これらの岩石の珪長質あるいは鉄に富む性質自体は初生的な火成作用に由来するものであり、なぜそれらの岩石が選択的に強い変質作用を受け緑れん石を含むのかという点や、定常的な熱水循環系との関係についてはほとんど検討がない。そこで、本研究では大西洋中央海嶺北緯 30 度，アトランティスマッシュフから得られた、緑れん石含有優白質閃緑岩類（以下，Ep-diorite）と oxide gabbro が連続的に移化する試料から、その成因を検討した。

新鮮な斜長石を用いた火成岩岩石学的検討によると、oxide gabbro から Ep-diorite へむけ、An (= Ca/[Ca+Na]) が連続的に減少し、一連の結晶分化作用で形成されたことが示唆される。また、この大局的に分化の程度に対応して変質の程度も大きくなる。最も変質の激しい Ep-diorite には、Ti や Al に乏しい、いわゆる hydrothermal Cpx が含まれる。その単斜輝石は（初生）流体包有物を多量に含み、自形のアパタイトを包有し、かつ新鮮な斜長石と共存していることから、マグマの分化の末期に不適合元素や流体に富むメルトから晶出したことが示唆される。さらに、Ep-diorite には、自形・単独で光学的・組成的累帯構造を示す緑れん石が含まれている。このような緑れん石は“Magmatic epidote”とみなし得るもので、実験岩石学的な相関係との比較の結果、低圧で流体に富むメルトから生じたものと判断される。流体の起源については、Sr 同位体比を用いて検討した結果、概ね“reaction zone”に期待されるのと同程度の海水の影響 (W/R ratio = <1.7) が示唆される。したがって、低速拡大軸に産する緑れん石を含む深成岩類は“reaction zone”そのものである可能性があり、それらの岩相をもたらしたメルトは、結晶作用の末期までの長時間、地殻内に存在し熱水循環の熱源となるとともに、海水との間接/直接的な相互作用を行ったものと考えられる。このように火成作用と熱水変質作用が同時期的に関与していたと考えることによって、変質作用・緑れん石の存在の岩相依存性を合理的に説明可能である。

ゴジラムリオンから採取されたはんれい岩の変形微細構造解析

針金由美子（静岡大・院）、道林克禎（静岡大）、小原泰彦（海上保安庁）

フィリピン海パレスベラ海盆のゴジラムリオンは世界最大規模(125 km×55 km)のメガムリオンである(Ohara et al., 2001, MGR). これまでにゴジラムリオンから採取された岩石試料は断層岩であることが明らかにされ、ゴジラムリオンがマントルリソスフェアにまで達するデタッチメント断層によって形成された海洋コアコンプレックスである可能性が示唆されている(Harigane et al., 2005, AGU Fall Meet). しかし、ゴジラムリオンにおける断層岩の構造発達について未だ不明な点が多い。そこで本研究では、ゴジラムリオンからドレッジされた岩石試料の中で特にはんれい岩の変形条件を推定するために、結晶方位定向配列の解析と化学組成分析を行った。

岩石試料は2003年に調査船「かいれい」によってゴジラムリオンからドレッジされたはんれい岩で、特に本研究では *breakaway* と呼ばれるデタッチメント断層の開始点と推定されている領域で採取されたはんれい岩 11 個のうち 8 個を用いた。これらのはんれい岩の主な構成鉱物は斜長石、単斜輝石、角閃石で、その他としてイルメナイトと緑泥石からなる。微細構造からプロトマイロナイト(3 個)、マイロナイト(3 個)、ウルトラマイロナイト(2 個)に分類される断層岩であり、斜長石や単斜輝石のポーフィロクラストで特徴づけられたポーフィロクラスト状組織をもつ(Harigane et al., 2005, AGU Fall Meet). 角閃石はすべての単斜輝石を置換し、部分的に細粒化している。また緑泥石が角閃石を置換しているが、この緑泥石に変形微細構造は見られない。

微細構造ごとに主要鉱物の結晶定向配列(CPO)を静岡大学機器分析センターの SEM-EBSD システムを用いて解析した結果、斜長石について、プロトマイロナイトとマイロナイトは[100](010)すべりおよび[100](001)すべりの二つのすべり系の存在を示した。ウルトラマイロナイトはプロトマイロナイトやマイロナイトに見られたような斜長石のすべり系を示さなかった。単斜輝石に特徴的なすべり系は観察されなかったが、角閃石は全ての微細構造で同じ[001](010)すべりを示した。

これらの断層岩の形成温度を推定するため、静岡大学機器分析センター及び東京大学大学院新領域創成科学研究科の EPMA を用いて、はんれい岩の主要鉱物の化学組成を分析した。その結果、斜長石は全体的に An の低い値 (An55 未満) を示したが、微細構造との比較においてプロトマイロナイトは An39-53、マイロナイトは An33-47、ウルトラマイロナイトは An8-22 を示した。特にマイロナイトは幅広い組成範囲を持ち An37 と An43 にピークを持つバイモーダル分布を示す。単斜輝石はディオプサイドやオージャイト、角閃石はホルンブレンドやアクチノライトからなる。

斜長石と角閃石の化学組成分析結果を斜長石—ホルンブレンド温度計(圧力 3Kbar と仮定; Holland & Blundy, 1994, CMP)に適用して、微細構造ごとの平衡温度を推定すると、プロトマイロナイトは約 850-920°C、マイロナイトは約 700-890°C、ウルトラマイロナイトは約 680-850°C と見積もられた。

斜長石及び角閃石 CPO から推定されるすべり系について、斜長石は約 850°C 以上、角閃石は 700°C 以上で活動的であると推定されている(Passchier & Trouw, 2005, Microtectonics). これは平衡温度と調和的である。これらの結果はフィリピン海パレスベラ海盆の海洋地殻深部において 700°C 以上の高温条件で延性剪断帯が発達したことを示す。

パレスベラ海盆コアコンプレックス形成前後の玄武岩組成の変化

佐藤暢（専修大）・吉木佳奈（学芸大）・石塚治（産総研）・
小原泰彦（海保・海洋情報部）

パレスベラ海盆はフィリピン海プレートを構成する中新世背弧海盆の1つである。同時期に背弧拡大をした四国海盆とは異なり、「カオステレーン」や「ゴジラムリオン」などの非火山性の地形が卓越し、それらの地形からはマントルかんらん岩も採取されている。(Ohara et al. 2002; Ohara, 2006 を参照)。特に「ゴジラムリオン」と呼ばれるコアコンプレックスはこれまでに観測されている最大規模のものである。

コアコンプレックスの形成過程については、以前は「非マグマ性」拡大とも考えられたが、最近では「非火山性」拡大と考えられるようである (Buck et al. 2005 など)。問題は、それまで海洋地殻を形成していた、すなわち「マグマ性」であったにもかかわらず、なぜある時になって「非マグマ性」になるか、ということである。パレスベラ海盆では、コアコンプレックスの形成後に拡大を終えているが、中央海嶺では、再び「マグマ性」に戻るような地形も見られる。

2003年に実施された KR03-01 航海で得られた玄武岩のうち、コアコンプレックス形成前の試料 (KR0301-D04) と形成後のパレスベラリフト上の高まりの試料 (KR0301-D18) を特に比較した。

主成分元素組成 (例えば Na 含有量) で比較すると、いずれのサイトの試料も MgO の高い側で散らばるものの、Na8 の値はほぼ同じような値となり、コアコンプレックスの形成前後での系統的な違いは見られない (図 1 左)。

一方、微量元素組成に関しては、コアコンプレックス形成後の試料は、形成前の試料に比べて、Nb に枯渇し、Sr・Rb といった LIL 元素や Zr・Ti・Y といった HFS 元素に富んでいる (図 1 右)。微量元素組成がコアコンプレックス形成前後で変化しているということは、ソースマントルの組成が変化したことを示しており、Nb の枯渇ですべてを説明できるわけではないが、マグマを形成しにくいマントルの存在がコアコンプレックス形成に関係している可能性がある。

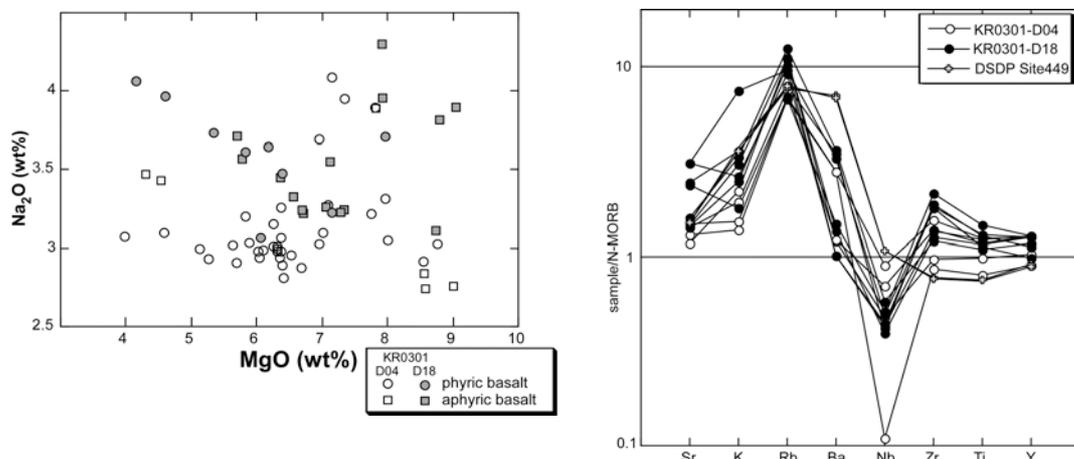


図 1 (左) コアコンプレックス形成前後の玄武岩の MgO-Na₂O。D04 はコアコンプレックス形成前、D18 は形成後。(右) 代表的試料の微量元素 N-MORB 規格化図。

マリアナ火山弧の火山活動と熱水活動の特徴 -Submarine Ring of Fire 2003, 04, 06 & NT05-18 cruises-

中村 光一

(産業技術総合研究所 地質情報研究部門 海底系地球科学研究グループ)

NOAA, Pacific Marine Environmental Laboratory の VENTS group は 2000 年に NOAA, Ocean Exploration Program のもと、従来の彼らの研究フィールドであるファンデフーカ海嶺に加えて Submarine Ring of Fire というプロジェクト名で西太平洋の島弧系の海底熱水系の研究を開始した。2003 年にマリアナ島弧沿いの海底火山の熱水活動の探査を開始し、Thomas G. Thompson 号装着の高精度マルチビーム測深機 EM300 ならびにハワイ大学 HMRG の曳航型サイソスキャンソナーシステム MR1 を用いた微地形探査と海底火山をターゲットにした CTD 探査を行なった。その結果、50 を越える海底火山を調査した中で 12 箇所から海底熱水活動の徴候を見つけだした。

2004 年は Thompson 号に ROV ROPOS を搭載して 12 箇所の内、7 箇所で潜航し、NW Rota Smt. で初めての海底火山噴火の直接観察をし、NE Eifuku Smt. において沖縄トラフ以外において初めての液体二酸化炭素の噴出や E. Diamante において浅所のブラックスモーカーならびに化学合成生物群集と光合成生物群集の重なりなどを発見した。

2005 年は南部マリアナにおいては JAMSTES-IFREE の田村芳彦氏が中心になり、北部においては演者と JAMSTEC-SUGAR の稲垣史生氏が中心になって ROV Hyper-Dolphin の航海が実現した。演者の NT05-18 航海においては 2004 年に時間切れで探索できなかった日光海山を潜航し、世界最大級の海底熱水活動とそれに伴う生物群集を発見した他、NE Eifuku Smt. において確実な方法で液体二酸化炭素の試料を採取した。

2006 年 4-5 月に Melville 号に ROV JASON-II を搭載して再び調査を行なった。NW Rota Smt. では、それまでの噴火 pit が崩壊し、次のステージの eruption cone が生成する初期段階に遭遇し、潜航毎に噴火形態と噴出物に変化していく様子を観察することができた。NE Eifuku Smt. の熱水活動はますます弱くなっていることが確認されたが、大黒海山と日光海山では新しい熱水活動を発見した。

Embley, Baker, Chadwick, Lupton, Resing, Massoth, & Nakamura (2004) Explorations of Mariana Arc Volcanoes Reveal New Hydrothermal Systems. EOS, Vol. 85, p. 37-44, No. 4, 27 JANUARY 2004

Embley, Chadwick, Baker, Butterfield, Resing, de Ronde, Tunnicliffe, Lupton, Juniper, Rubin, Stern, Lebon, Nakamura, Merle, Hein, Wiens & Tamura (2006) Long-term eruptive activity at a submarine arc volcano. Nature 441, 25 May 2006, 494-497

Lupton, Butterfield, Lilley, Evans, Nakamura, Chadwick, Resing, Embley, Olson, Proskurowski, Baker, de Ronde, Roe, Greene, Lebon, & Young (2006) Submarine venting of liquid carbon dioxide on a Mariana Arc volcano, Geochem. Geophys. Geosyst., 7, Q08007, doi:10.1029/2005GC001152

南部マリアナトラフの拡大史-KR06-11 速報

益田晴恵 (大阪市大)・掛川武 (東北大)・Samuel Hulme (ハワイ大)・
古山勝彦 (大阪市大)・久野光輝 (大阪市大)・佐藤誠吾 (東北大)

2006年9月に14°N以南の南部マリアナトラフにおいて、ドレッジと海底地形調査を行ったので、その予察的結果を報告する。この海域は、マリアナトラフでは最も高速で拡大していると推定されており、東端部では島弧火成活動と隣接して背弧海盆拡大が起こっていることが確認されている。本航海では、南部トラフ海域で次の2点を明らかにすることを目的にドレッジと海底地形調査を行った。1) 背弧海盆拡大軸が東へジャンプをくり返しながら、拡大が起こった。この拡大軸海嶺は少なくとも、3度の異なった活動時期があり、最も古いものは3~3.5Ma以前である。2) トラフ最南端部は、西から東に向かってリフティングをくり返しながら開いている。

18地点でドレッジを行い、岩石と堆積物を得た。肉眼観察により、その結果は以下の通りにまとめられる。トラフ西端近くで、背弧海盆拡大軸海嶺と考えられる無斑晶質の岩石が得られた。トラフ中央部では、2つの拡大海嶺セグメントの境界部にある拡大軸海嶺会合点にあたる最浅部で、新鮮な急冷ガラスを持つ無斑晶質の岩石が得られた。周辺では、石灰質軟泥が岩石とともに回収されたので、現在は活動していないと推定されるが、この海嶺軸では最後まで活動していたと考えられる。

南端部では、リフトゾーンと推定された3つの海嶺を構成する海山をドレッジした。急冷ガラス層とマンガンコーティングの肉視観察から、同じリフトゾーンでは北から南に向かって岩石が新しい傾向があり、海嶺ごとには西から東に向かって、岩石が新しくなる傾向が見られた。つまり、背弧海盆の最南端は、リフティングが北から南に伝搬し拡大する。また、リフトゾーンが少なくとも3つあり、西から東に向かってリフトゾーンがジャンプしながら、拡大していることが明らかであった。さらに、この海域の岩石はどれも斜長石とカンラン石の斑晶を多量に含んでいた。このことは、これらのリフトゾーンの下には、マグマだまりがあった(あるいは現在ある)ことを示している。

トラフ東部に確認されている活動的背弧拡大軸の最南端にあるマウンドをドレッジしたところ、新鮮な急冷ガラスを持つ火山岩が得られた。つまり、この拡大軸は、最南端まで背弧拡大が伝搬していると考えられる。

岩石の化学分析を行っている段階で、まだ、岩石化学的検討はしていないため、断定することはできないが、東南方向に向かって背弧拡大が進行していることはほぼ確実になったものと考えている。

今回のドレッジでは、石灰質軟泥を含む深海泥は得られたが、熱水性堆積物は回収できなかった。ドレッジ地点として熱水活動域を狙ったのではないため、断定はできないが、活動的背弧拡大軸を含むトラフ東端海域を除いて、南部トラフ海域には、活発な熱水活動はないと考えられる。このことは、南端部のリフトゾーンも例外ではなく、リフトゾーンの火成活動は活発ではあっても、断続的で小規模なものなのだろうと考えている。

南部マリアナ海域深海底熱水系における

微生物群集構造の時空間変動

柳川勝紀（東理大院・理工・応生）、石橋純一郎（九大・理・地惑）、
浦辺徹郎（東大・理・地惑）、砂村倫成（東大・理・地惑）

深海底熱水噴出域では、熱水中に多量に含まれる還元物質がエネルギー源として利用され、化学合成微生物を中心とした豊かな生態系が築かれている。これまでの研究から、熱水生態系を特徴付けている微生物の多様性、伊平屋北海域での化学合成微生物の分布、海底噴火に伴う微生物生態系の経時変化などが明らかにされている。本研究では、南マリアナ背弧拡大軸の熱水域に注目し、微生物群集構造を定量的に調査し、同一熱水域内における熱水噴出孔間での比較、時系列変化、微生物の生息温度から推定される空間分布の解明を試みた。

試料は、南部マリアナ背弧海盆拡大軸上に位置する熱水噴出域において、2003年から2005年にかけて複数のサイトで取得した。CARD-FISH法による定量的な微生物群集構造解析の結果、比較的狭小な範囲内にある異なる噴出孔間で、明確な微生物群集構造の違いがしばしば検出された。熱水孔の周辺環境から、本研究調査地では、バクテリアマットの有無が大きな影響を与えている可能性が示された。一方、同一サイトであっても、2003年にはほとんど検出されなかった β プロテオバクテリアが、2年後に取得された試料には最も優占しており、微生物群集組成の経時変化が確認された。また、解析を行った全試料に共通な傾向として、還元的な熱水と酸化的な深層水の混じり合う中温域で全菌数が極大をとることを見出した。このような試料の群集組成は主に γ 、 ϵ -プロテオバクテリアが優占しており、特に ϵ -プロテオバクテリアは中温域でのみ顕著に菌数が多く、生息域の嗜好性が強く示された。また中温域では、全体的に菌も大きく、形態も多様であり、生物活動の活発な場であることが示唆された。以上の結果から、熱水生態系の微生物群集は、熱水混合域に安定して存在する ϵ 、 γ -プロテオバクテリアを中心とし、環境の変動に対応して、 δ 、 β -プロテオバクテリアなど他の微生物群集が変化することが明らかとなった。すなわち、中央海嶺のような大規模な熱水循環が起こりうる場の広大な混合域では、水柱や地下微生物圏で γ 、 ϵ -プロテオバクテリアを中心とした豊富で活動的な微生物圏が、物質循環に大きな影響をあたえている可能性が示唆された。

水曜海山及び伊平屋北海底熱水域での熱流量詳細分布による 地下水理構造の推定

正木裕香(高知大)、岡村慶(高知大)、高井研(JAMSTEC)
大岩根尚(東大海洋研)、木下正高(JAMSTEC)

中央海嶺及び、島弧火山、背弧拡大軸、ホットスポット火山などでは、深部からのマグマによって海底熱水系が発達する。海底熱水系では、海水が破碎した海洋地殻や断層・亀裂を通して地下にしみこみ、深部からの熱によって浮力を生じ(一部気液分離を起こし)、海底から熱水として噴出する。海底熱水循環には、おそらくその周囲から広範囲にわたって海水が供給される1次対流と、熱水噴出口から数m-数十m以内の局所的スケールでの2次対流が考えられる。

海底熱水活動の様式を推定する上で、熱流量は重要な境界条件を与える。熱水噴出パターンとあわせて、堆積物の透水率や粘性率・熱伝導率などを適当に与えることにより、温度場・流れ場を推定することができる。

本研究では、伊豆・小笠原弧火山フロント付近に位置する水曜海山と、沖縄トラフ背弧海盆の伊平屋北熱水海域で熱流量測定を行い、環境による熱水循環の多様性を検討する。

水曜海山ではこれまで52点での熱流量データが得られており、 $1\text{W}/\text{m}^2$ を越える海域が400m程度の大きさであることや、下に凸の温度-深さプロファイルから噴出口の5m以内の場所で海水の吸込が存在することが示された。これを受けて、NT05-16航海では別の孤立噴出口から5m以内で、東方向と北方向に熱流量分布を求めた。その結果、東方向には噴出口から5m以内で顕著な下降域の存在が確認された一方、北方向には熱水のゆらぎが観測され、それに対応して上に凸の温度プロファイルが得られた。温度プロファイルから、深度0.7-2m以深に約 70°C の熱水溜りの存在が推定された。このような局所対流が起こりやすいのは、海底が軽石砂で覆われており、透水率が高いためと思われる。

一方、沖縄トラフ伊平屋北海域では、1kmにわたって $1\text{W}/\text{m}^2$ を超える高熱流量が観測されている。8月に実施されたYK05-06航海では新たに8点熱流量の観測が行われた。同航海では、熱水域を中心とした $12\text{km}\times 15\text{km}$ の広域的な範囲でシングルチャンネル地震探査が実施された。高熱流量域から2km東で $0.1\text{W}/\text{m}^2$ 以下の低熱流量値が得られたことから、水平方向に2kmスケールでの熱水循環活動が推定される。このように大きな熱水循環が起こっているのは、熱源そのものが大きいことに加えて、表層堆積物が非透水性であることも原因であると思われる。

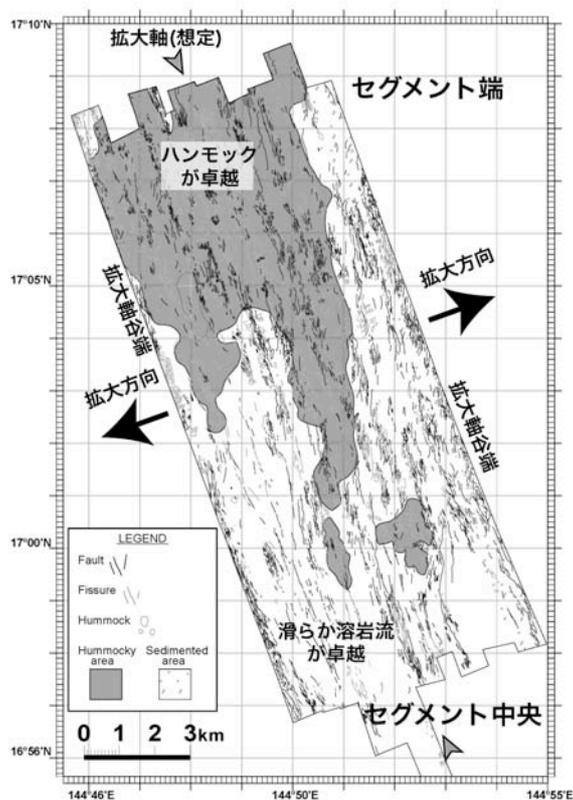
背弧海底拡大軸での詳細な海洋地殻形成過程の研究

富士原敏也（海洋研究開発機構）・浅田美穂（東大海洋研）・
海野進（静岡大）・阿部なつ江（海洋研究開発機構）・石塚治（産総研）・
沖野郷子（東大海洋研）

KR03-12 航海で、深海曳航式サイドスキャン・ソナーを用いた中部マリアナトラフ（17°N~18°N）の背弧海盆拡大軸谷内の海底観測が行われた。観測の結果（図を参照）、17°N のセグメントでは、表面が滑らかな溶岩流、ハンモック状溶岩流を推定させるものの 2 つの後方散乱パターンが得られた。溶岩流形態の違いは溶岩噴出率の差異を示唆し、滑らか溶岩流は噴出率が高いことを示す。広い範囲を覆う滑らか溶岩流が現れるのは、低速海底拡大域（マリアナトラフは約 3 cm/年（両側）の低速度）では特異である。溶岩流形態には地域変化があり、セグメント中央からセグメントの端に向かって、また拡大軸谷端から中央に向かって、滑らか溶岩流からハンモック状溶岩流へ変遷することがわかった。この地域差は溶岩噴出率の時空間変化を見ているのかもしれない。拡大軸谷内には、断層・割れ目がよく発達している。軸谷の方向に平行する走向の断層系と、斜交する断層系の 2 方向があることがわかった。断層系にも、その走向、規模や分布密度に地域差（時空間変化）があることがわかった。サイドスキャン画像の解析では、谷の東側に分布する斜交断層系が最も新しいように見える（観測結果の詳細は Deschamps et al., G³, 2005; Asada et al., G³, 2006? を参照）。

この非常に時空間変化に富む、特異な 17°N セグメントを調査研究することで、海洋地殻形成過程に関する多くのことが解明できるのかもしれない。定量的な議論に発展させるために、我々は今後、潜航調査による海底観測、試料採取、地質・地球物理データ取得の様々な方法を用いて、海底拡大様式（溶岩流形態、断層・割れ目等）の変化、溶岩の化学組成の変化、それに対応した年代変化など、このセグメントの海洋地殻形成過程を詳細に調査していく予定である。

図：マリアナトラフ 17°N セグメント北半分拡大軸谷内の、サイドスキャン・ソナー調査に基づいた海底地質解釈 (Asada et al. (2006) を簡略化)。調査域北と南が、それぞれセグメント端と中央である。灰色の部分にハンモックの分布が卓越した部分、白は滑らかな海底表面を示す。線は断層・割れ目を示している。



海底地震計より求めた中部マリアナトラフ拡大軸付近の震源分布
岩本久則 (神戸大), Douglas A. Wiens, Mitchell Barklage (Washington Univ.), 塩原肇 (東大地震研), 杉岡裕子 (JAMSTEC), 島伸和 (神戸大)

We report the results of a microearthquake survey using an ocean bottom seismometer array in the central Mariana Trough. Twelve seismographs of the Margins Mariana Subduction Factory Imaging Experiment were located within 40 km of the spreading center between 17°45' N and 18°15' N. A total of 292 earthquakes were located from June 2003 to April 2004 using a double-difference relative relocation method. Seismic activity appears to be concentrated on nontransform offsets and ridge segment centers. Three clusters of seismic events are located at nontransform offsets: (1)17°33-39'N 144°42-54'E at 0-8 km depth, (2)17°54-59'N 144°45-54'E at 0-12 km depth, and (3)18°29-46'N 144°35-43'E at 0-10 km depth. Two seismic event clusters are located at ridge segment centers: (4)17°45-48'N 144°53-56'E at 0-3 km depth and (5)18°3-10'N 144°42-57'E at 0-3 km depth. Most (82%) of the best-located nontransform offset events are located at 5-11 km depth. This implies that earthquakes in the nontransform offset area are predominantly in the mantle, whereas the events on ridge segments are located at very shallow depths (0-3 km) in the oceanic crust. Most of the seismic events in cluster #3 are aftershocks of Mw 5.4 and 5.7 events on March 23, 2004 with normal-faulting Harvard CMT solutions. These earthquakes also triggered substantial very shallow seismicity at cluster #4 within the hours following the mainshocks, along a ridge segment at a distance of 50-60 km. We suggest these microearthquakes result from dynamic triggering, possibly in a ridge segment hydrothermal system, since the distance and direction of the events from the mainshocks are incompatible with static triggering. This represents the first detection of dynamic microearthquake triggering along the mid-ocean ridge system.

中部マリアナトラフ拡大軸上にある 海底熱水循環系の3次元電気伝導度構造

多田訓子（神戸大）、島伸和（神戸大）、木戸元之（東北大）

海洋地殻中の海底熱水循環系の熱水分布を3次元的に推定するために、海洋地殻浅部の3次元比抵抗構造を見積もった。研究対象にした海底熱水循環系は、中部マリアナトラフの拡大軸上にある Alice Springs Field ($18^{\circ} 12, 9' N, 144^{\circ} 42.5' E$, 水深 3600m) である。この熱水循環系の周囲の海洋地殻浅部の比抵抗構造を求めるために、コントロールソースを使う Magnetometric Resistivity 法による探査を独立行政法人海洋研究開発機構所属の研究調査船「かいらい」KR02-14 航海で実施した。使用した人工電流は 16 秒周期の交番電流であり、34 地点で流した。人工電流を流すことによって発生する磁場は、Alice Springs Field の周囲に設置した 4 台の海底磁力計 (OBM) によって観測された。

人工電流と海底下に存在する熱水によって引き起こされる磁場異常のみを観測データから取り出し、3次元フォワード計算で算出される磁場異常と照合することで、熱水の分布する範囲を推定した。観測した磁場データは、人工電流が流された期間だけ抽出され、高速フーリエ変換を使って 16 秒周期の波だけを取り出した。そして、各送信地点での振幅値を求めた。OBM のノイズレベル以上の振幅値をデータとして取り扱い、4 台の OBM 全てのデータから、平均的な海洋地殻の比抵抗値を求めた。その値は $4.6 \Omega m$ である。この値から求められる振幅値と、観測された振幅値の差を、各 OBM の各送信地点の磁場異常とした。OBM ごとに磁場異常を送信点の位置でプロットした図を磁場異常分布と呼ぶことにする。

3次元フォワード計算は、電流を流すことによって熱水のような海底下にある比抵抗異常領域がつくる磁場異常のみを計算する。計算の次元は、最大で $300 \times 300 \times 300$ の立方体ブロックから構成されている。立方体ブロックの辺の長さは任意に設定することができる。それぞれのブロックに比抵抗値を与えることで、海水と地殻、比抵抗異常領域を設定する。境界条件は、海面では、海水と空気の境界なので絶縁体を置き、その他の場所では、海水と海洋地殻が無限に続くように表現できる数値を与えた。人工電流の送信点と OBM による観測点 (磁場異常の出力点) は、格子点上におく。今回の計算では、海水の比抵抗値を $0.3 \Omega m$ 、海洋地殻の比抵抗値を観測データから得られた $4.6 \Omega m$ 、水深を 3600m とする 2 層からなる水平成層構造をリファレンス構造とした。そして、このリファレンス構造の海洋地殻部分に、任意の比抵抗値と広がりを持つ比抵抗異常領域を加えることで、3次元比抵抗構造を作り出した。リファレンス構造と 3次元比抵抗構造とから、それぞれポテンシャル、さらに電流場を求めた。2つの構造の電流場の差を求め、その差電流場から磁場異常を算出した。1つの 3次元比抵抗構造に対して、磁場異常分布は観測点の数だけ見積もることができる。今回は 4 台分の磁場異常分布を求め、それらが観測データから求めた各 OBM の磁場異常分布と十分に似ている場合の構造を、中部マリアナトラフ拡大軸にある海底熱水循環系の 3次元比抵抗構造とした。

DAI-PACKが明らかにした精密音波探査データの意義

"Deep-sea Acoustic Imaging PACKage"その有用性と今後の課題
岸本清行、上嶋正人、西村清和（産業技術総合研究所）

産業技術総合研究所（旧地質調査所）では、1984 年以来海洋調査における音波探査技術の向上を目的に深海曳航式による機器の開発を実施してきた。指導原理はシンプルで、「観測対象にセンサーを近づければよりよく見える」である（西村清和ほか、1986, 1988）。

陸上と異なり、海底下の調査は海水に阻まれ、特に深海域では遠くからの遠隔探査に頼らざるを得ないというハンディキャップがある。一方、海水は完全な S 波遮断フィルタであるため陸上の反射法音波探査記録に比べて格段に明瞭な地下構造断面が得られる利点もある（超音波エコーによる体内診断が有効なのも人体がほとんど水に近いためである）。

1980 年代から 1990 年代にかけての初期の深海曳航式音波探査技術の開発は当時の先端電子技術を用いたものであったが、実用（効率的な運用）という面では暗黒の時代であった。成果としては、深海曳航によって記録された音波探査記録を反射法の理論波形でシミュレーションすることによって地下構造の物性を推定できる可能性を示した例などがある（KISIMOTO, McKAY ら、1990）。

1990 年代後半に開始した DAI-PACK の開発は、ROV やしんかい 6K などの深海探査ビークルと併用するという機会を得て、実用の研究機器として、またこれまでに得られたことのないデータをもたらす可能性を示した。2002 年にシステムが稼働し始めてから、小笠原南部の水曜カルデラ、マリアナ海嶺、南部 EPR オフリッジ火山、インド洋中央海嶺、スマトラ地震海域、相模湾、南海トラフ ACORK 周辺、日本海ガスハイドレートなどの調査に用いられ、多くのユニークなデータを取得している。いいデータもあり悪いデータもあり、その理由も明確である。いくつかの例を示して、DAI-PACK が示した今後の深海研究における可能性を議論する。

<文献>

西村清和, 上嶋正人ほか, (1986/1988), 深海曳航式地震探査装置の海域実験, 深海曳航式地震波探査装置の開発, 第 1 期/第 2 期研究報告書, 地質調査所

KISIMOTO K., NISHIMURA K., MIYAZAKI T., JOSHIMA M., MURAKAMI F., ISHIHARA T. (1988), Off-Line Deep-Towed Seismic Profiler, Exploration Geophysics, Australian SEG, 19, 1/2, 299-301

KISHIMOTO K., McKAY A. G., NISHIMURA K. (1990), Data Processing of Deep-Tow Seismic Data: Reflectivity Modelling Applied to the Data from Oki Trough, Japan Sea, Proceedings of the SEGJ Conference, 83, , 143-148, Society of Exploration Geophysicists of Japan

岸本清行, 海野進, YK04-07よこすか/しんかい6500乗船研究者一同, 熊谷英憲, 下司 信夫, HILDE Thomas W. C., SINTON John, WHITE Scott M. (2004), 東太平洋海膨南緯14度拡大軸の精密地形とテクトニクス, 有人潜水船搭載音響マッピング装置による海底精密調査, 日本火山学会, 2004, , 31-31

上嶋正人, 西村清和, 村上文敏, 岸本清行 (2005), 水曜カルデラの浅部音波探査構造と表層微細地形マッピング, 海の研究, 14, 2, 151-164, 日本海洋学会