

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月28日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21244070

研究課題名（和文） 背弧海盆拡大軸下における溶融帯構造の研究

研究課題名（英文） Melt region structures beneath back-arc basin spreading centers

研究代表者

島 伸和 (SEAMA NOBUKAZU)

神戸大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：30270862

研究成果の概要（和文）： 背弧海盆における海底拡大系のダイナミクスを理解するには、拡大軸下の溶融帯の実体に迫ることが鍵となる。本研究では、小型の海底磁力計を開発し、米国の海底地震計に取り付けることで、機動観測で使える世界初の海底地震・磁力計を国際共同で実現した。この機器を含めて、ラウ背弧海盆の拡大軸付近で、海底での長期観測（約1年）を実施した。海底電磁場観測データの解析により上部マントル比抵抗構造を推定し、得られた構造の比較により、溶融帯の構造に制約を与えてその要因を考察した。

研究成果の概要（英文）： Investigations on melt region structures beneath spreading axes are a key to understand back-arc spreading system. We developed a compact ocean bottom magnetometer (OBM), which was designed to be attached to US ocean bottom seismograph (OBS); that became first ocean bottom seismograph and magnetometer (OBSM) in the world achieved by an international cooperation. We carried out one year ocean bottom observation near the Eastern Lau spreading axis using the instruments. Marine magnetotelluric analysis using ocean bottom data allows us to image the resistivity structures of the upper mantle beneath the spreading axis, which were compared to identify differences in melt region structures and to understand the cause of the differences.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	33,700,000	10,110,000	43,810,000
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	37,400,000	11,220,000	48,620,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：海洋底地球科学・海底拡大系・背弧海盆・上部マントル・海底長期観測

1. 研究開始当初の背景

海底拡大系では、離れていく2つのプレートの間を埋めるようにマントル物質が上昇し、

圧力減少にともなってメルトが生じ溶融帯を形成する。生じたメルトは、溶融帯からマグマだまりに移動し、最終的に海洋地殻へと

固化していく。このため、拡大軸下の溶融帯がメルトの供給量を反映し、海洋底拡大の形態の違いに直接影響を与えている。したがって、溶融帯の構造（特に形状、規模、溶融の程度）を把握し、それを変化させる要因を明確にすることは、海底拡大系のダイナミクスを理解するための鍵となる。

溶融帯の構造は、マンツルの溶融量とマンツルダイナミクスの影響を受ける。溶融帯の規模は、メルトの供給量、すなわちマンツルの温度やソリダスを決める岩石組成、含水量により変化する。背弧海盆拡大系では沈み込むスラブより抜け出した水が重要な役割を果たしていると考えられている。このため、拡大軸下の溶融が水の影響を受けているとすると、溶融開始の深度は、MORB ソース域で見積もられている 115 km (Hirth and Kohlstedt, 1996) よりも深くなり (Karato and Jung, 1998)、溶融帯の規模は大きくなる。一方、溶融帯の形状は、マンツルダイナミクスの影響を受ける。例えば、メルトがダイナミックに上昇する場合、溶融帯は、拡大軸下の狭い領域に限られ、逆にメルトが受動的に上昇する場合には幅広い領域をもつと予想されており、マンツル上昇量を規定する海洋底の拡大速度が主要なパラメータと考えられている (Forsyth and Chave, 1994)。また、背弧海盆拡大系における溶融帯の形状は、マンツルウエッジでの対流の影響を強く受けている場合には古島弧側に広がり (Conder et al., 2002)、島弧火山のメルトの影響を強く受けている場合には島弧側に広がることを予想されている。

最近ようやく、海底長期電磁気観測により精度よく上部マンツル比抵抗構造がイメージできるようになり、これまでに、拡大速度が最も速い東太平洋海膨 (EPR) と、最近観測が実施された中部マリアナトラフ背弧海盆の2カ所において、拡大軸下の上部マンツル比抵抗構造が推定されている。EPR での比抵抗構造によると、溶融帯と考えられる低比抵抗領域が、拡大軸直下に初めて明瞭にイメージされた (Baba et al., 2006)。さらに、この領域を除き高比抵抗な層が幅広く存在しており、メルトが抜けきったドライ (含水量が少ない) な層であると解釈している。一方、マリアナトラフ拡大軸付近での観測データを使って推定した初期的な比抵抗構造モデルでは、拡大軸下に溶融帯と考えられる低比抵抗領域 (幅が広く低比抵抗程度が弱い) が存在し、その形状は古島弧側に広がりのある非対称性を示唆している。また、ドライと考えられる高比抵抗の層が深部まで存在し、メルトが生じる深度が深い可能性を示している。

2. 研究の目的

本研究では、ラウ背弧海盆の海底拡大系において海底長期電磁場観測を実施し、(1) 拡大軸下の上部マンツルの比抵抗構造を明らかにして、(2) 異なる拡大軸における溶融帯の構造の違いを把握することで、(3) 溶融帯の構造を変化させる要因を探ることが目的である。

3. 研究の方法

背弧海盆の海底拡大軸下における溶融帯を対象にした研究を、観測に基づいた構造の解明と、その構造を変化させる要因の探求に焦点をあてて実施した。平成 21 年 12 月から平成 22 年 11 月にかけて、メルト供給量が違うと考えられているラウ背弧海盆の2カ所の拡大軸で、海底における長期電磁場観測を実施した。この観測を研究計画の中心にすえ、観測に必要な小型海底磁力計の開発、観測データの解析を実施し、拡大軸下における溶融帯の構造を明らかにした。

(1) 小型海底磁力計の開発

海底地震計に取り付けて、海底において長期磁場観測ができる小型の海底磁力計を開発した。具体的には、省電力で小型の Bartington 社製の磁力計センサーを、海底磁力計として利用し、磁力計センサー制御およびデータロガーを作製して、これらを耐圧容器に組み込み込んだ。海底磁力計としての必要な試験と動作確認等を行って、海底磁力計として完成させ、合計11台を量産した。また、この海底磁力計を取り付けた海底地震計は、コロンビア大学ラumont・ドーティー地球科学研究所の所有のものであり、実際の海底長期観測に先立ち、海底地震計の技術者と綿密な打合せを行って、取り付けに必要な部品も製作するとともに、海域での耐圧テストも実施した。最終的に、この小型海底磁力計をラumont・ドーティー地球科学研究所の海底地震計に取り付けて観測することになった。

(2) 海底における長期電磁場観測

ラウ背弧海盆の拡大軸における上部マンツル比抵抗構造を明らかにするために、海底における長期電磁場観測を、米国の海底長期地震波観測と連携して実施した。観測地点は、海底拡大軸でメルト供給量が違うと考えられている南緯 20 度付近の中軸谷がある拡大軸と、南緯 21 度付近の地形的な高まりがある拡大軸を、それぞれ横切る2測線上である。電磁場観測は、海底電位差磁力計 6 台、海底地震計に取り付けた海底磁力計 11 台により行った。これらの観測機器は、平成 21 年 11 ~ 12 月に米国のスクリップス海洋研究所の調査研究船 R/V Roger Revelle により対象

海域の海底に設置した。約1年間のこれらの機器による海底観測の後、平成22年11~12月に実施したハワイ大学の研究調査船 R/V Kilo Moana による航海で、これらの観測機器をすべて無事回収した。

(3) 上部マントル比抵抗構造の推定

海底での長期電磁場観測データの解析により、海底拡大軸下の上部マントル比抵抗構造を推定した。解析したデータは、すでに観測が行われていた中部マリアナ背弧海盆での観測データと、本研究で実施したラウ背弧海盆の拡大軸を横切る2測線上の観測データである。まず、観測機器から取り出した電磁場データの取得状況を確認し、個々の機器による測定値の校正をして、不適切なデータを取り除くなどの初期的な処理を行った後に、水平電場・磁場変動の時系列データを得た。このデータから、BIRRP (Chave and Thomson, 2003, 2004) を用いてMTレスポンスを求めた。次に、MTレスポンスの地形補正を、Nolasco et al. (1998) の補正式と3次元の海底地形を組み込んだフォワード計算法であるFS3D (Baba and Seama, 2002) を用いて行った。海底での電磁場観測値は、海水と海洋地殻の比抵抗のコントラストが大きいため海底地形による影響を大きく受ける。このため、既知情報である詳細な海底地形を電磁気モデルに組み込むことは重要であり、この補正法を使うことで、より信頼性の高い比抵抗構造が推定できるようになる (Matsuno et al, 2007) 。地形補正後のMTレスポンスから、インバージョンによって上部マントルの2次元比抵抗構造を推定した。MTレスポンスの質的なチェックや比抵抗構造推定のためのメッシュデザイン等は、既存のソフトウェアであるWinglinkで行った。2次元比抵抗構造を推定するインバージョンには、比抵抗の異方性を考慮したもの (Rodi and Mackie, 2001; Baba et al., 2006) を用いた。なお、ラウ背弧海盆での調査では、磁場だけの観測点が、電場・磁場の両方を観測する点より多いので、MT法で解析するためには、観測地点が違う磁場と電場のMTレスポンスを使って解析をした。

解析により得られた中部マリアナ背弧海盆の拡大軸およびラウ背弧海盆拡大軸の2カ所での上部マントル比抵抗構造と、これまでに得られているEPRの拡大軸下の上部マントル比抵抗構造とも比較して、その違いを把握した。また、比抵抗値は少量であっても連結したメルトや水の含有量に大きく依存する。このため、中部マリアナ背弧海盆の拡大軸のデータについては詳細な解析を進め、異なった比抵抗構造でのフォワード計算によるMTレスポンスを吟味することにより、構造の確からしさを調べた。さらに、拡大軸下の

低比抵抗帯の3次元的な解析も進めることにより、拡大軸下の低比抵抗帯の形状、規模を含めた低比抵抗の程度の違いを明らかにし、メルトの存在状態を含めた熔融帯構造を推定した。

4. 研究成果

本研究の成果は、小型海底磁力計の実現、新たな観測で得られたラウ背弧海盆拡大軸の2カ所での上部マントル比抵抗構造、詳細な解析により得られた中部マリアナ背弧海盆拡大軸下の熔融帯構造である。また、得られた構造の比較により、拡大軸下の熔融帯の構造の違いは、拡大速度が大きな要因であるが、それ以外にも沈み込むスラブと拡大軸との位置関係による影響を受けていることを示唆している。

(1) 小型海底磁力計の実現

小型の海底磁力計を開発し、コロンビア大学ラumont・ドーティー地球科学研究所の海底地震計に取り付けることで、機動観測で使える世界初の海底地震・磁力計を国際共同で実現した。この結果、磁場と地震波の観測地点が同じになるだけでなく、海底磁力計としては回収に必要な装置が不要となった。このため、限られた経費をより多くの観測点での観測に割くことが可能となり、合計で17点での海底長期磁場観測 (そのうち6点が電磁場観測) を実施することができた。さらに、小型の海底磁力計を実現できたことは、今後の海底における長期の電磁気学的観測のインフラとしても重要である。

(2) ラウ背弧海盆拡大軸下の上部マントル比抵抗構造

新たな観測で得られたラウ背弧海盆の拡大軸付近で得られた海底電磁場データの解析により、南緯20度付近 (北測線) と南緯21度付近 (南測線) の拡大軸を横切る2測線上で、拡大軸下の上部マントル比抵抗構造を推定した。得られた比抵抗構造からは次のような特徴を明らかにした。①南測線と北測線の両測線下において、最上部マントルに300 Ωm 以上の高比抵抗領域が存在する。②深さ100-200 km のマントルは50 Ωm 以下の低比抵抗値をもつ。③両測線下ともスラブ直上の比抵抗値は、スラブ直上に沿って150 km の深さで大きく変化し、それより深部では50 Ωm 以下となる。またその深さでのスラブの上には、最上部マントルにおいても低比抵抗領域が存在し、南測線の場合には拡大軸もその位置にある。このことは、深さ150 km におけるスラブからの脱水が、浅部の低比抵抗領域を生み出し、拡大軸下の熔融・含水状態に影響していることを示唆している。

(3) 中部マリアナ背弧海盆拡大軸下の溶融帯構造

中部マリアナ背弧海盆での海底電磁場観測データの解析結果から、2次元の上部マントル比抵抗構造を明らかにした。この結果、この拡大軸下には、溶融帯に相当するような低比抵抗領域が2次元構造としてはイメージングできないほど小さいことがわかった。さらに、この溶融帯が3次元的な構造をもつとして解析を進めた。この結果、溶融帯としては、溶融部分がつながっている状態では、①ピラミッド型で拡大軸中央に集中するような形状で、②溶融量は0.1~1%と比較的少ない、という構造がもっともらしいことを明らかにした。この結果は、同じ海域での海底地震観測データにもとづく地震波減衰構造にみられる高減衰領域と整合的である。さらに、少ない溶融量で地震波の減衰が大きくなることを、アナログ物質を用いた部分溶融岩石の変形実験で明らかにしており、拡大軸下のこの少ない溶融量は、比抵抗構造と地震波減衰構造のいずれの構造をも説明する。これら溶融帯の特徴は、速い拡大速度をもつ拡大系のEPRとは大きく異なっており、遅い拡大速度をもつ拡大系の特徴であると結論づけた。

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)

- ① 武井康子、藤澤和浩、Christine McCarthy、Experimental study of attenuation and dispersion over a broad frequency range: 1. The apparatus、JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH、査読有、116巻、2011、B09204、doi:10.1029/2011JB008382.
- ② Christine McCarthy、武井康子、平賀岳彦、Experimental study of attenuation and dispersion over a broad frequency range: 2. The universal scaling of polycrystalline materials、JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH、査読有、116巻、2011、B09207、doi:10.1029/2011JB008384.
- ③ Christine McCarthy、武井康子、Anelasticity and viscosity of partially molten rock analogue: Toward seismic detection of small quantities of melt、GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS、査読有、38巻、2011、L18306、doi:10.1029/2011GL048776.
- ④ 松野哲男、島伸和、他9名、Upper mantle electrical resistivity structure beneath the central Mariana subduction system、GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS GEOSYSTEMS、査読有、11巻、2010、Q09003、doi:10.1029/2010GC003101.
- ⑤ 中久喜伴益、多川道雄、岩瀬康行、Dynamical mechanisms controlling formation and avalanche of a stagnant slab、PHYSICS OF THE EARTH AND PLANETARY INTERIORS、査読有、183巻、2010、309-320.

[学会発表] (計20件)

- ① 中久喜伴益、沈み込むスラブの後退と背弧海盆の拡大、日本地球惑星科学連合2012年大会、2012年5月22日、幕張メッセ (千葉県)
- ② 柴田侑希、ラウ背弧海盆下の比抵抗構造の推定、日本地球惑星科学連合2012年大会、2012年5月22日、幕張メッセ (千葉県)
- ③ 松野哲男、中部マリアナ背弧拡大軸下のマントル溶融域に対する電磁気学的な制約、日本地球惑星科学連合2012年大会、2012年5月21日、幕張メッセ (千葉県)
- ④ 新藤悠、南マリアナトラフにおける上部マントルの比抵抗構造、日本地球惑星科学連合2012年大会、2012年5月21日、幕張メッセ (千葉県)
- ⑤ 中久喜伴益、Water effects on the dynamics of subducted slabs、Joint Symposium of Misasa-2012 and Geofluid-2、2012年3月18日、三朝町総合文化ホール (鳥取県) (招待講演)
- ⑥ 島伸和、Upper mantle electrical resistivity structure beneath back-arc spreading centers、2011 AGU Fall Meeting、2011年12月6日、サンフランシスコ (USA)
- ⑦ 松野哲男、Constraint on a melting regime in upper mantle beneath the central Mariana back-arc spreading center through the geophysical electromagnetic forward modeling、2011 AGU Fall Meeting、2011年12月6日、サンフランシスコ (USA)
- ⑧ 柴田侑希、ラウ背弧海盆下の2次元比抵抗構造の推定、地球電磁気・地球惑星圏学会第130回総会・講演会、2011年11月5日、神戸大学 (兵庫県)
- ⑨ 島伸和、海底拡大系の地球物理学的知見、この10年、海底拡大系の総合研究—InterRidge Japan 研究発表集會—、2011年11月2日、東京大学 (千葉県)
- ⑩ 柴田侑希、ラウ背弧海盆下の2次元比抵抗構造の推定、海底拡大系の総合研究—InterRidge Japan 研究発表集會—、2011年11月2日、東京大学 (千葉県)

- ⑪ 島伸和、Comparison among available electrical resistivity structural images beneath back-arc and mid-ocean ridge spreading centers、Workshop on Ocean Mantle Dynamics:From Spreading Center to Subduction Zone、2011年10月6日、東京大学(千葉県)(招待講演)
- ⑫ 松野哲男、Constraint on a melting regime in upper mantle beneath the central Mariana back-arc spreading center through the geophysical electromagnetic forward modeling、2011年10月4-6日、東京大学(千葉県)
- ⑬ 柴田侑希、Estimation of 2-D resistivity structure beneath the Lau back-arc Basin、2011年10月4-6日、東京大学(千葉県)
- ⑭ 新藤悠、Electrical conductivity structure of the upper mantle beneath in the southern Mariana Trough、2011年10月4-6日、東京大学(千葉県)
- ⑮ 武井康子、Effect of partial melting on seismic wave velocities and attenuation、IUGG 2011、2011年6月30日、メルボルン(オーストラリア)
- ⑯ Christine McCarthy、Attenuation and dispersion in melt-free and melt-bearing Earth analogue materials、IUGG 2011、2011年6月30日、メルボルン(オーストラリア)
- ⑰ 中久喜伴益、背弧海盆の非対称分布のメカニズム：スタグナントスラブの意味とスラブ伴流の役割、日本地球惑星科学連合2010年大会、2010年5月24日、幕張メッセ(千葉県)
- ⑱ 島伸和、海底拡大系下の上部マントル比抵抗構造、東京大学地震研究所特定共同研究B研究集会「地球内部境界層の構造と全地球ダイナミクス」、2011年3月11日、東京大学(東京都)
- ⑲ 島伸和、ラウ背弧海盆拡大系における長期海底電磁場観測の概要、2010年度CA研究会、2011年2月25日、京都大学(京都府)
- ⑳ 中久喜伴益、沈み込むスラブの伴流と背弧側プレートの応力場、日本地震学会2009年秋季大会、2009年10月22日、京都大学(京都府)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島伸和 (SEAMA NOBUKAZU)
 神戸大学・大学院理学研究科・教授
 研究者番号：30270862

(2) 研究分担者

野木 義史 (NOGI YOSHIFUMI)
 国立極地研究所・研究教育系・准教授
 研究者番号：90280536

(3) 連携研究者

中久喜 伴益 (NAKAKUKI TOMOEKI)
 広島大学・大学院理学研究科・助教
 研究者番号：10263667

武井 康子 (TAKEI YASUKO)
 東京大学・地震研究所・准教授
 研究者番号：30323653

松野 哲男 (MATSUNO TETSUO)
 神戸大学・大学院理学研究科・学術研究員
 研究者番号：80512508
 (H23年度のみ)