

地震探査から得られた四国海盆における地殻構造の特徴

The characteristics of crustal structure in Shikoku Basin obtained by seismic exploration

山下 幹也^{1*}, 小平 秀一¹, 高橋 成実¹, 朴 進午¹, 仲西 理子¹, 三浦 誠一¹, 金田 義行¹

YAMASHITA, Mikiya^{1*}, KODAIRA, Shuichi¹, TAKAHASHI, Narumi¹, PARK, Jin-Oh¹, NAKANISHI, Ayako¹, MIURA, Seiichi¹, KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

四国海盆は約 30-15Ma に拡大したと考えられている背弧海盆であり、北端部では南海トラフで沈み込んでいる。この四国海盆は地磁気・重力などの各種データが最も揃っている背弧海盆の一つである。Okino et al.(1994) 等によって磁気異常の研究から詳細な拡大過程が明らかになっている。また伊豆小笠原島弧から四国海盆にかけて北東南西方向の走向を持つ雁行状の海山列を形成している。四国海盆の地殻構造を理解することで、伊豆小笠原古島弧と背弧拡大の関係が明らかになり島弧成長過程の解明に繋がると考えられる。

これまで太平洋プレートなどに比べ、四国海盆で実施した反射法地震探査で得られた断面からは明瞭なモホ面はほとんど見られなかった。その理由として海底面の起伏が大きいことや拡大速度や形成年代によるものと考えられてきた。しかしながら 2011 年度に実施した KR11-09 航海において取得した KI06 測線では太平洋プレートの断面のような非常に明瞭なモホ面とともに、地殻内部にも連続性のよい反射面が確認された。この測線は過去にも旧システムでデータ取得を行っており、過去の断面と比較すると一部ではあるが同様の特徴が確認できた。さらに得られた反射面の連続性や特徴を抽出するために反射強度のアトリビュート解析を実施したところ、地殻内の反射面が明瞭に抽出できた。そこで過去の四国海盆で取得した反射断面に対して改めて反射強度のアトリビュート解析を実施し、四国海盆全域にわたってモホ面及び地殻内の強反射面のマッピングを行った。本研究ではマッピングの結果を Okino et al. (1994) で得られている地磁気異常の図と比較することで、確認されたモホ面と四国海盆拡大との関係を明らかにする。また南海トラフにおける沈み込み前後の地殻構造の空間的特徴についても紹介する。

キーワード: 反射法地震探査, 古島弧, リフティング

Keywords: MCS survey, paleo-arc, rifting

九州・パラオ海嶺の地震学的構造

Seismic crustal structure of the Kyushu-Palau Ridge, paleo-island arc in the Philippine Sea plate

西澤 あずさ¹, 金田 謙太郎^{1*}, 及川 光弘¹

NISHIZAWA, Azusa¹, KANEDA, Kentaro^{1*}, OIKAWA, Mitsuhiro¹

¹ 海上保安庁

¹ Japan Coast Guard

大陸棚調査の一環として2004年から大規模に実施した地震学的構造探査は2008年に終了し、フィリピン海プレートを東西に分割する長大な地形の高まりである九州・パラオ海嶺においては、海嶺軸を横断する測線を合計27測線実施することができた。測線は、北緯13度から30度の範囲で海嶺軸に沿って、疎密はあるが南端部を除いて九州・パラオ海嶺全域に配置されている。各測線において海底地震計を用いたほぼ同じ仕様による屈折法地震探査を実施し、フォワードモデリングとトモグラフィックインバージョンを併用した解析手法を用いてP波速度構造モデルを求めた。また、同測線上でマルチチャンネル反射地震断面図も得ることができた。これらの調査結果をとりまとめ、九州・パラオ海嶺の地震学的特徴について議論する。

九州・パラオ海嶺の地形の高まり下における地殻の厚さは8-23 kmと場所によって大きく変化するが、東側の四国海盆（北部）、パレスベラ海盆（南部）や西側の西フィリピン海盆の海洋地殻よりも厚い。大体的には九州・パラオ海嶺北部に比較して南部域において地殻が薄い傾向はあるが、むしろ局所的な地形の高まりの存在に関連した地殻の厚さ変化の方が大きい。海嶺直下の厚い地殻は主に下部地殻が厚いことによるが、九州・パラオ海嶺北部域ではP波速度が6.0-6.8 km/sの中部地殻も厚くなっている。Pn速度は8 km/sよりも小さい場合が多く、下部地殻底の速度と逆相関の傾向が見られる。また、いくつかの測線では遠方で記録された地震計の記録から、九州・パラオ海嶺下23-40 kmで反射したと考えられる振幅の大きな信号が得られている。

九州・パラオ海嶺では特に25-28Maに活発な火山活動があり、海嶺に沿ってほぼ同時にriftingによって伊豆・小笠原弧から分離を開始した（Ishizuka et al., 2011）。伊豆・小笠原弧では九州・パラオ海嶺の分離前の片割れと考えられているrear arc（西七島海嶺）に沿って、Kodaira et al.(2008)によって同様な速度構造探査がなされている。彼らによれば、rear arc地殻の厚さは10-25kmの範囲で変化しており、それは6.0-6.8 km/sの中部地殻の厚さの変化に帰するとしている。地殻の厚さは九州・パラオ海嶺と同程度であるが、九州・パラオ海嶺では地殻の厚さの変化は主に下部地殻の厚さにより強く関連しているように見える。

九州・パラオ海嶺と東側の四国海盆およびパレスベラ海盆遷移域では、地殻が海盆域より薄く、特に下部地殻が薄い。また、Pn速度は8 km/sより速く、これらは九州・パラオ海嶺と伊豆・小笠原弧間のriftingの特徴を反映したものであろう。このような薄い地殻を持つ遷移域の構造は、日向灘沖でそのまま陸側プレート下に沈み込んでいるイメージとしても得られており（仲西・他, 2011）、この領域は南海トラフで想定される巨大地震の震源域の西端に対応している（内閣府, 南海トラフの巨大地震モデル検討会, 2011）。

一方、九州・パラオ海嶺西側遷移域の構造はより多様である。これらの変化は、九州・パラオ海嶺の西側が、北部では古島弧である大東海嶺群やそれらの高まりの間にある海盆であったり、中部から南部にかけては背弧海盆である西フィリピン海盆であったり、あるいはその古拡大軸であるCBFリフトであったりするためであると考えられる。

キーワード: 九州・パラオ海嶺, 島弧地殻

Keywords: Kyushu-Palau Ridge, island arc crust

前弧海盆の速度構造と地殻進化

Crustal structure and growth of the Forearc region of Izu-Ogasawara arc

高橋 成実^{1*}, 山下幹也¹, 海宝由佳¹, 佐藤壮¹, 三浦誠一¹, 野徹雄¹, 小平秀一¹, 巽好幸¹

TAKAHASHI, Narumi^{1*}, Mikiya Yamashita¹, Yukla Kaiho¹, Takeshi Sato¹, Seiichi Miura¹, Tetsuo No¹, Shuichi Kodaira¹, Yoshiyuki Tatsumi¹

¹ 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

JAMSTEC では、2002 年から伊豆・小笠原・マリアナ島弧において、大陸地殻の生成過程を明らかにすることを目的に構造調査を進め、現在の島弧地殻のボリュームより多くの玄武岩マグマが必要で島弧地殻を生成する過程でマフィックな島弧地殻の一部をマントル内に戻していること (Takahashi et al., 2007, 2008; Tatsumi et al., 2008)、火山フロントと背弧側の地殻の厚さ分布には相関があり過去のリフティングが検出されたこと (Kodaira et al., 2009) などがわかってきた。前弧域の地殻に関しては、厚い地殻と薄い地殻が存在すること (Takahashi et al., 2011)、地磁気異常から島弧的な構造があること (Yamazaki and Yuasa, 1998) がわかっているが、地殻構造から実証されていなかった。前弧域の地殻構造を求め、地殻進化の影響をどの程度受けているのか、前弧域の島弧成長を明らかにするために、(独)海洋研究開発機構の深海調査船「かいれい」を用いて人工地震探査を行った。

地震探査の測線は、新黒瀬からスミス海脚、第二東島海丘、大町海山を通過して、小笠原トラフに至る。得られた速度構造から前弧域は 25 程度の地殻の厚い部分と 10 - 15 程度の薄い部分があることが明らかになった。厚い地殻は、北緯 32.5 度付近、スミス海脚、第二東島海丘、大町海山の下に分布する。新黒瀬側は厚い地殻を持たない。大町海山の内部には異常に厚い下部地殻が分布する。薄い地殻が分布するところでは、堆積層が厚く地殻の厚さの半分近くを占める。大町海山以外の地殻が厚く分布するところでは、P 波速度 6 km/s の速度コンターが上に凸、7 km/s の速度コンターが下に凸の形状を示す。火山フロントに沿った地殻構造では、むしろ 6 km/s 以下の速度を持つ層が厚いことが示されている (Kodaira et al., 2007)。これは、前弧域下の島弧地殻は、火山フロント下と比較して未分化な物質を多く含むことを示唆しており、過去の掘削結果とも整合する (e.g., Taylor, 1992)。前弧海盆下の島弧地殻の分布は、地磁気異常の空間分布 (Yamazaki and Yuasa, 1998) とよく合致する。新黒瀬周辺で見られる地磁気異常は、本研究から明らかになった地殻が薄く地殻全体が盛り上がっている形状と合致する。伊豆小笠原島弧の本州弧への衝突が新黒瀬の浅海部を作っているものと示唆される。

キーワード: 屈折法地震探査, 古島弧, 地殻進化

Keywords: Refraction survey, paleo-arc, crustal growth

古フィリピン海プレートを構成する中生代大陸性基盤の解明 Unraveling the Mesozoic continental basement of the proto-Philippine Sea Plate

谷 健一郎^{1*}, 石塚 治², 植田 勇人³, Dunkley Daniel Joseph⁴, 堀江 憲路⁴, 宿野 浩司¹, 平原 由香¹, 高橋 俊郎¹, Nichols Alexander¹, 巽 好幸¹

TANI, Kenichiro^{1*}, ISHIZUKA, Osamu², UEDA, Hayato³, DUNKLEY, Daniel Joseph⁴, HORIE, Kenji⁴, SHUKUNO, Hiroshi¹, HIRAHARA, Yuka¹, TAKAHASHI, Toshiro¹, NICHOLS, Alexander¹, TATSUMI, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域, ² 産業技術総合研究所 地質情報研究部門, ³ 弘前大学, ⁴ 国立極地研究所
¹IFREE, JAMSTEC, ²Geological Survey of Japan/AIST, ³Hirosaki University, ⁴National Institute of Polar Research

The Izu-Bonin arc has been regarded as a typical intra-oceanic arc, where the oceanic Pacific plate is subducting beneath the Philippine Sea plate. The current Philippine Sea plate is a complex of active and inactive arcs and back-arc basins. It is dominated by oceanic crust domains forming three large back-arc basins; Shikoku, Parece Vela, and West Philippine Basins, making the present Philippine Sea plate look like an 'oceanic' plate. However, all of these back-arc basins were formed after the inception of subduction at Izu-Bonin arc, which began at ~52 Ma. Little is known about the proto-Philippine Sea plate, which existed as a counterpart to the Pacific plate during subduction initiation and before the formation of back-arc basins.

To understand the detailed geology of the proto-Philippine Sea plate, we have conducted manned-submersible SHINKAI6500 and Deep-Tow camera surveys during the R/V Yokosuka cruise (YK10-04) at the Amami Plateau, Daito Ridge, and Okidaito Ridge (ADO) region in April, 2010. The ADO region comprises the current northwestern Philippine Sea plate and considered to represent the remnants of the proto-Philippine Sea plate. The submersible observations and rock sampling conducted during the YK10-04 cruise revealed that ADO region, especially the Amami Plateau and the Daito Ridge, dominantly expose deep crustal section of gabbroic, granitic, and metamorphic rocks, indicating that a part of the proto-Philippine Sea plate is composed of older, non-oceanic, possibly continental, crust. Jurassic to Cretaceous zircon U/Pb ages have been obtained from the ADO plutonic rocks. This suggests that subduction of the Izu-Bonin arc initiated at the Mesozoic continental margin, and later acquired "intra-oceanic"-like setting through formation of the backarc basins.

Furthermore, the detrital zircon studies conducted at the northern Izu-Bonin forearc, counterpart of the ADO region, show that part of the zircons yield Mesozoic to Paleozoic ages, indicating that such continental basement may even exist beneath the present Izu-Bonin arc.

11年間にわたる鉄沈殿堆積物の層序と気象記録の対比-鹿児島県薩摩硫黄島長浜湾の例-

Comparison of stratigraphy of ferruginous sediments with meteorological events for 11 years in Satsuma Iwo-Jima Island.

上芝 卓也^{1*}, 清川 昌一¹, 後藤 秀作², 伊藤 孝³, 池原 実⁴, 山口 耕生⁵, 二宮 知美¹, 永田 知研¹, 藁和 雄人¹, 池上 郁彦¹
UESHIBA, Takuya^{1*}, KIYOKAWA, Shoichi¹, GOTO, Shusaku², ITO, Takashi³, IKEHARA, Minoru⁴, YAMAGUCHI, Kosei
E.⁵, NINOMIYA, Tomomi¹, NAGATA, Tomoaki¹, MINOWA, Yuto¹, IKEGAMI, Fumihiko¹

¹九州大学大学院理学府地球惑星科学, ²産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門, ³茨城大学教育学部, ⁴高知大学海洋コア総合研究センター, ⁵東邦大学, NASA Astrobiology Institute.

¹Kyushu University, ²Geo-Resources and Environment, AIST, ³Ibaraki University, ⁴Marine Core Research, Kochi University, ⁵Toho University, NASA Astrobiology Institute.

薩摩硫黄島は鹿児島県薩摩半島から南に38kmに位置する東西約6km南北約3kmの火山島である。島内には1990年代から活発な火山活動が続く流紋岩質の硫黄岳があり (Shinohara et al., 2002), 島の南西部に位置する長浜湾は浅海熱水の存在が確認されている。この湾は防波堤の建設により人工的に半閉鎖的な環境が形成され, 水酸化鉄を含む赤褐色の海水が浮遊し海底に堆積している (Ninomiya and Kiyokawa, 2009; Kiyokawa et al., in press; Ueshiba and Kiyokawa, in press)。湾内側の船着き場は赤褐色が特に濃く, T字型の防波堤により分割されそれぞれをW-siteとE-siteと呼称した。1998年の浚渫工事によりW-siteの堆積物は取り除かれ, それ以後約1.5mに及ぶ鉄分が豊富な堆積物が確認されている。本研究においては長浜湾で鉄堆積物がどのような条件下で堆積するかを理解するため, 湾内から取得された13本のコアを用いてFE-SEM, XRD及びXRFを用いて分析を行い, 気象記録との対比から層序の形成メカニズムを考察した。

本研究では1~1.2mのアクリルパイプを用いてE-site及びW-siteからそれぞれ1, 12本のコアサンプルを取得した。得られたコアサンプルからは水酸化鉄層, 火山灰層及び砂層が確認できた。特に下部から順に側方対比が容易な厚い火山灰層が3枚・砂層が1枚確認できたため, それらをT1, T2, T3及びSMと呼称した。火山灰層(T1, T2及びT3)は灰色からピンク色を呈し, それらの厚さは1~9cmであった。またSM層は有機物に富み灰色から黒色を呈した。鏡下観察により, 1) 水酸化鉄層は10 µmの火山ガラスと細粒な赤褐色の粒子, 2) 火山灰層は10 µmの火山ガラス, 3) 砂層は100 µmの火山岩片や火山ガラス及び細粒な赤褐色の粒子から構成されていた。FE-SEM分析からこの細粒な粒子は1 µmから100nmになる鉄元素を含む球形の粒子であることが判明した。

XRF分析よりすべて層から50wt%以上のSiO₂が確認され, 特に火山灰層は90wt%も含まれていた。水酸化鉄層はFeOの含有量が9~25wt%を超え, 一方他の層は7wt%未満であった。またSM層やSM層より上部の地層には3wt%のAl₂O₃を超える値が示された。XRD分析からどの層にもquartz, cristobalite及びtridymite (SiO₂)の鉱物の存在が含まれ, SM層及びその上部からはさらにalbite (NaAlSi₃O₈)が確認された。しかし鉄を含む鉱物は認められなかった。

2000年3月から2011年3月における三島村役場硫黄島出張所及び気象庁の気象の記録を用いて, 降水量100mm/dayを超える集中豪雨と最大瞬間風速40m/sを超える台風を調べた。その結果1) 集中豪雨は2000年6月(189 mm/day), 2001年6月(124.5 mm/day)及び2002年6月(122 mm/day), 2) 台風は2004年(40.3 m/s, 54.3 m/s and 44.6 m/s), 2005年(43.3 m/s)及び2007年(50.2 m/s)に確認された。

気象記録と層序の対比から, 2000年, 2001年及び2002年の集中豪雨がそれぞれT1, T2及びT3層と一致し, 2004年から2005年の台風がSM層に対応すると考えられる。1) 1990年以降の火山活動により硫黄岳周辺にはquartz, cristobalite及びtridymiteの鉱物を含む火山灰が堆積した (Shinohara et al., 2002)。この火山灰が100mm/dayを超える降水により流されて湾内に堆積し, 厚い火山灰層を形成した。1997年9月から2004年10月において長浜湾において降灰が確認されたが (Shinohara et al., 2002; JMA, 2011), 厚さ数ミリ程度であり直接降灰で形成したものではないと考えられる。2) 台風のうねりの影響より海側の火山岩片や火山灰がかき混ぜられ湾内に押し込まれ再堆積の結果砂層が形成したと推定できる。特に大規模な2004年及び2005年の台風は厚い砂層を堆積させた。2007年の台風に対応する砂層は確認されないが, 2006年に長浜湾の沖に巨大な防波堤が建設されたため, 以降の台風の影響が弱化したと考えられる。

キーワード: 硫黄島, 熱水, 鉄堆積物, 気象, 鬼界カルデラ

Keywords: Iwo-Jima Island, hydrothermal water, ferric sediment, weather, Kikai caldera

沈み込むスラブの後退と背弧海盆の拡大

Dynamics of slab rollback and consequent back-arc basin formation

中久喜 伴益^{1*}

NAKAKUKI, Tomoeki^{1*}

¹ 広島大・理・地球惑星システム

¹Earth Planet Syst Sci, Hiroshima Univ

背弧海盆は沈み込み帯が持つ顕著な特徴の1つである。背弧海盆が形成されるメカニズムとして、背弧側のプレートが海溝から離れる方向に運動によるものとする考えと、沈み込むスラブが海側に後退することによるものとする2つの考えがある。背弧の変形は上盤プレートの運動に強く関連していることから、上盤プレート側が主な原動力と考えられることが多い。一方、現在活動を行っている背弧海盆のほとんどは、高速なスラブの後退を伴っていることから、大洋底の形成までに至る背弧海盆の形成には、スラブの後退が重要な原動力であると考えられる。本研究では、マンテル対流の数値シミュレーションにより背弧拡大形成のメカニズムについて考察した。すなわち、プレートやプレート境界の運動を、境界条件として与えることなしに実現できるモデルを使って、沈み込みの開始から背弧海盆の形成へ至る過程を再現した。ここでは、背弧拡大はスラブの後退によって起きると考え、スラブ後退のメカニズムについて考察した。その結果、スラブの後退は斜めに沈み込む浅部スラブの沈み込み運動が深部のスラブによって妨げられることによって起きることが分かった。この妨げの力は、スタグナントスラブの形成時に相境界から受ける抵抗や深部スラブが縦に沈み込んで水平方向に固定する (slab anchoring) 力によって働く。また、スラブが後退する量は、前者の方が大きい。これは、スタグナントスラブ形成に、より長い時間がかかるためである。これらの結果は、多くの背弧海盆下にスタグナントスラブが存在していることや、上盤プレートが伸張場となっている沈み込み帯のスラブの方が平均的に急角度であるという観察と調和的である。さらに、上盤プレートの運動が背弧変形に与える影響についても考察した。上盤プレートが自由に運動できる場合には、背応力場は必ず圧縮となる。これは、プレートの沈み込みによって起きるウェッジマンテルの流れによる粘性引きずりによって、上盤プレートは海溝の方向に動かされるからである。このため、背弧拡大が生じるためには、上盤プレートには海溝から離れる方向に力が働いていなければならない。このため、背弧拡大が起きている上盤プレートの運動は、平均的には海溝から離れる向きになると予測することが出来る。このことは、背弧の変形が上盤プレートの運動と強く関連していることの原因であると考えられる。

キーワード: スラブの後退, 背弧海盆, 沈み込み帯, マンテル対流, 数値シミュレーション

Keywords: slab rollback, back-arc basin, subduction zone, mantle convection, numerical modeling

ラウ背弧海盆下の比抵抗構造の推定

Estimation of electrical resistivity structures beneath the Lau back-arc Basin

柴田 侑希¹, 島 伸和^{1*}, 水間 恵子¹, 木村 真穂¹, 小林 聖也², 松野 哲男¹, 野木 義史³

SHIBATA, Yuki¹, SEAMA, Nobukazu^{1*}, MIZUMA, Keiko¹, KIMURA, Maho¹, KOBAYASHI, Seiya², MATSUNO, Tetsuo¹, NOGI, Yoshifumi³

¹ 神戸大学, ² 総合研究大学院大学, ³ 極地研究所

¹Kobe University, ²The Graduate University for Advanced Studies, ³National Institute of Polar Research

海溝において沈み込むプレートが原因となり、伸張場が生じる背弧域では海洋底拡大が起こる。背弧拡大軸下ではマン
トル物質が上昇し、減圧溶融を起こしたマントル物質が浅部にやってきて冷却されることで、新たな海洋底を形成する。
これは、中央海嶺においてみられる海洋底拡大と共通することがらである。しかしながら、背弧海盆はプレートの収束
境界の近くに位置していること、沈み込むスラブの存在により背弧海盆下のマントルは非対称な構造をもつこと、ス
ラブからの脱水反応とそれに伴うマントル中の含水量の増加と島弧の形成、マントルウェッジでのコーナーフローなど
の中央海嶺にはみられない特徴が海洋底拡大を規制していると考えられる。

ラウ背弧海盆は太平洋プレートの沈み込みが原因となり形成された背弧海盆であり、北から Central Lau Spreading Center
(CLSC)、Eastern Lau Spreading Center (ELSC)、Valu Fa Ridge (VFR) の3つの拡大系が存在している。これら3つの
拡大系は、拡大速度と地形において顕著な違いがみられる。今まで中央海嶺では、拡大速度の速い海嶺において、軸谷の発
達していない海嶺軸の勾配が急な地形になるとされてきた (Forsyth, 1992)。しかしながらラウ背弧海盆の場合、拡大速度
の遅い南のセグメントになるほど、軸谷の発達していない勾配が急な海嶺軸の地形を示しており (Martinez et al., 2006)、
従来の定説とは逆の相関を示している。このようなラウ背弧海盆においてみられる特徴を説明する要因として、拡大軸と
海溝・島弧の位置関係が挙げられている (Martinez et al., 2006; Jacobs et al., 2007)。ラウ背弧海盆は拡大軸と海溝・島弧が
斜めに位置しており、海溝・島弧が背弧拡大に及ぼす影響がセグメントによって異なることが、ラウ背弧海盆にみられ
る特徴を生み出していると考えられている。本研究では、ELSCに直交する2測線下における上部マントルの比抵抗構造
の違いを知り、拡大軸と海溝・島弧の間の距離が背弧拡大下のマントルに与える影響を明らかにすることが目的である。

上部マントルの比抵抗値はマントルの温度、溶融体や水などの揮発性成分の含有量を反映する。そのため、ラウ背弧
海盆下の比抵抗構造を明らかにすることによって、海盆下の上部マントルの溶融や含水の状態などを知ることができる。
海盆下の比抵抗構造を推定するために、Magnetotelluric method (MT法) を用いた。MT法は海底において磁場変動と、そ
れによって地球内部に誘導される電場を観測し、両者の関係から海底下の比抵抗構造を知る手法である。

MT法による比抵抗構造の推定のために、ELSCに直交する2本の測線上に6台のOBEM(海底電位差磁力計)と11台
のOBM(海底磁力計)を設置し、長期電磁場観測を行った。南側の測線は南緯21.3度付近に、北側の測線は南緯19.7度
付近に設け、測線の長さはどちらも約150kmである。OBEMは磁場3成分と電場の水平成分を、OBMは磁場3成分を
記録している。OBMはラumont・ドハティ地球観測所が所有するOBS(海底地震計)の側面に取り付けて海底に設置し
た。2台のOBEMからは約12ヶ月間の電磁場データ、11台のOBMから7-9ヶ月間の磁場データが得られた。データ解
析は、時系列データの前処理、MTインピーダンスの計算、MTインピーダンスの地形効果の除去、2次元インバージョン
の順に行った。

得られた比抵抗構造からは次のような特徴が見られる。(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
m以上の高比抵抗領域が存在する。(2) 深さ100-200kmのマントルは50 m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150kmの深さで変化し、それより深部では50 m以下となる。またその深さでのスラ
ブの上には、北測線の場合は70kmより浅部に低比抵抗領域、南測線の場合は拡大軸が位置する。これらから以下のよ
うな結論を導いた。(1) 上昇してきたマントルが部分溶融を起こした結果、脱水したマントルが最上部で高比抵抗な領域を
形成している。(2) 100-200km深さの比抵抗値は無水のかんらん石では説明がつかず、マントル中の水の存在あるいは溶
融体の存在によって説明される。(3) 深さ150kmにおけるスラブからの脱水が、北測線の場合は浅部の低比抵抗領域を生
み出していること、南測線の場合は拡大軸下の溶融・含水状態に影響していることが示唆される。

キーワード: ラウ, 背弧海盆, MT法, トンガ海溝

Keywords: Lau, back arc basin, Magnetotelluric method, Tonga Trench

ゴンドワナ初期分裂過程とコンラッドライズ Tectonic history of the Conrad Rise and initial breakup process of the Gondwana

野木 義史^{1*}, 佐藤 暢², 石塚 英男³, 佐藤 太一⁴

NOGI, Yoshifumi^{1*}, SATO, Hiroshi², Hideo Ishizuka³, SATO, Taichi⁴

¹ 国立極地研究所, ² 専修大学経営学部, ³ 高知大学, ⁴ 産業技術総合研究所

¹NIPR, ²Senshu Univ., ³Kochi Univ., ⁴GSJ/AIST

The Conrad Rise are situated in the middle of the Southern Indian Ocean between Africa and Antarctic, and regarded as one of the LIPs (large igneous provinces) related to upwelling plume activities. However, hot spot tracks associated with the Conrad Rise are not clearly established and the origin of the Conrad Rise are not well demonstrated. Moreover, the Gondwana breakup process and the relation between plume activity and breakup in the Southern Indian Ocean still remains poor-defined because of the sparse observations in this area. Total intensity and vector geomagnetic field measurements as well as swath bathymetry mapping were conducted during the R/V Hakuho-maru cruise KH-10-7 to understand the tectonic history of the Conrad Rise related to the Gondwana breakup in the Southern Indian Ocean. The dredge rock sampling were also performed at the Ob and Lena Seamounts in the Conrad Rise during the cruise. Magnetic anomaly data as well as swath bathymetry data obtained during the R/V Hakuho-maru cruise KH-07-4 Leg3 and KH-09-5 are also used in this study.

Magnetic anomaly profiles with amplitude of about 300-500 nT are observed almost parallel to the west of WNW-ESE trending structures just to the south of Conrad Rise inferred from satellite gravity anomalies. These magnetic anomalies most likely indicate Mesozoic magnetic anomaly sequence. Mesozoic sequence magnetic anomalies with amplitude of about 300 nT are also obtained along the NNE-SSW trending lineaments between the south of the Conrad Rise and Gunnerus Ridge. Oceanic crusts formed during Cretaceous normal polarity superchron are found in those profiles, although magnetic anomaly C34 has been identified just to the north of the Conrad Rise. However symmetric Mesozoic sequence magnetic anomaly patterns are not observed along the WNW-ESE trending lineaments just to the south of Conrad Rise. These suggest counter part of Mesozoic sequence magnetic anomalies in the south of Conrad Rise would be found in the East Enderby Basin, off East Antarctica. Moreover, approximately one-third of the dredged rock samples at the Ob Seamount are of metamorphic origin, whereas half of recovered samples are volcanic rocks. Gravity anomaly patterns in vicinity of the Ob seamount show broad positive anomalies, and are different from that around the Lena Seamount which show negative gravity anomalies around the seamount. These imply that the Ob Seamount are continental origin and have left behind in the middle of the Southern Indian Ocean by initial breakup process of the Gondwana. These results provide new constraints for the tectonic history of the Conrad Rise and the initial breakup process of the Gondwana in the Southern Indian Ocean.

キーワード: インド洋, コンラッドライズ, ゴンドワナ, 磁気異常, 重力異常, 大陸地殻

Keywords: Indian Ocean, Conrad Rise, Gondwana, magnetic anomaly, gravity anomaly, continental crust

南インド洋コンラッドライズから採取された火成岩類の岩石学 Petrology of igneous rocks from the Conrad rise, southern Indian ocean

佐藤 暢^{1*}, 野木 義史², 石塚英男³, 佐藤 太一⁴

SATO, Hiroshi^{1*}, NOGI, Yoshifumi², ISHIZUKA Hideo³, SATO, Taichi⁴

¹ 専修大学経営学部, ² 国立極地研究所, ³ 高知大学, ⁴ 産業技術総合研究所

¹Senshu Univ., ²NIPR, ³Kochi Univ., ⁴GSJ/AIST

The Conrad rise is considered to be one of the Cretaceous Large Igneous Provinces and/or of hotspots at the southern Indian ocean. However, several plate reconstruction models denied the hotspot origin because hot spot tracks associated with the Conrad rise are not clearly established. Furthermore, only one petrological investigation had been performed by Borisova et al. (1996), which reported chemical compositions including major and minor compositions similar to those from the Keruguelen plateau. They concluded that the Conrad rise is hotspot of origin. However, no lines of direct evidence are revealed to explain the hotspot or mantle plume of origin. We had a research cruise KH-10-7 (R/V Hakuho-maru), and we dredged igneous, granitic and metamorphic rocks from the Ob and Lena seamounts, the Conrad rise.

Metamorphic and granitic rocks up to 30 kg are dredged from eastern slope of the Ob seamount. Some metamorphic rocks contains the Crd-Spl symplectite indicating isothermal decompression (Gnt + Sil to Crd + Spl) under the equilibrium temperature of 700 to 750°C during the clockwise P-T evolution (Ishizuka et al., 2011). Furthermore, Ishizuka et al (2011) reported monazite CHIME and zircon U-Pb age about 1000 Ma.

Igneous rocks are mostly alkalic classified into basalt and trachy-basalt with minor amount of more alkali-rich igneous rocks. Borisova et al. (1996) reported igneous rocks from trachy-basalt to trachyte. Therefore, igneous rocks from the Conrad rise have wide compositional variations from alkalic basalt ($\text{SiO}_2=44$ wt%) to tracheae ($\text{SiO}_2>60\%$). Such compositional variations of the Conrad rise could not be explained by fractional crystallization of basaltic magma unlike those of the Kerguelen plateau (ODP Leg 120 and 183) or Ethiopia continental rift (e.g. Natali et al., 2011). Furthermore, igneous rocks from the Conrad rise contain pyroxenitic and gabbroic xenolith originated from lower crust or upper mantle. These lines of evidences might constrain the tectonic origin of the Conrad rise.

キーワード: インド洋, コンラッドライズ, 火成岩, 岩石学

Keywords: Indian Ocean, Conrad rise, Igneous rocks, Petrology

熊野海盆における海底地殻変動モニタリング結果 Results of sea-floor crustal deformation Monitoring at Kumano Basin

田所 敬一^{1*}, 生田 領野², 渡部 豪¹, 永井 悟¹, 安田 健二¹, 坂田 剛¹, 江藤 周平¹, 奥田 隆¹
TADOKORO, Keiichi^{1*}, IKUTA, Ryoya², WATANABE, Tsuyoshi¹, NAGAI, Satoru¹, YASUDA, Kenji¹, SAKATA, Tsuyoshi¹,
ETO, Shuhei¹, OKUDA, Takashi¹

¹ 名古屋大学環境学研究科, ² 静岡大学理学部

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Faculty of Science, Shizuoka University

当研究グループでは、2004年以降、熊野灘の3カ所（KMN、KMS、KME サイト）で、GPS・音響結合方式による海底地殻変動モニタリングを実施している。これまでの観測回数は、KMNで16回、KMSで20回、KMEで7回である。これらの観測で得られたデータを解析して各サイトにおける変位速度ベクトルを推定するにあたり、まず、データの質の向上のため、これまで得られた全データに対して以下の処理を行った：

（1）音響測距波形の再読み取り

海面および船体での反射波が測距信号に混入しており、自動相関処理では反射波の到達時刻を直達波の到達時刻であると誤認識する場合があるため、正しい直達波の到達時刻を読み直した。

（2）キネマティック GPS 測位結果の異常値の削除

衛星受信状態の悪い時間帯には異常な測位結果が得られることがあるため、そのような時間帯のキネマティック GPS 測位結果を削除した。

（3）姿勢測定データの質の異常値の削除

姿勢測定データに見られるバイアス等の異常値を除去した。

上記の処理の後に、各エポックの海底ベンチマーク座標を決定した。その際、過去の全データを用いて海底ベンチマーク形状を固定して、その重心位置の移動のみを求めた。各エポックの座標値をもとに、ロバスト推定法（Tukey の Biweight 推定法）によって直線フィッティングを行ってトレンドを推定し、その直線の傾きから Sella et al. [2002] による REVEL (Recent Plate Velocities) モデルを用いて計算したアムールプレートの剛体運動成分を差し引くことにより、各サイトにおけるアムールプレートに対する水平変位速度を求めた。求められた変位速度ベクトルは、KMN サイトでは N75°W 方向に 39 mm/yr、KMS サイトでは N69°W 方向に 43 mm/yr、KME サイトでは N75°W 方向に 42 mm/yr であり、その誤差は 5°10 mm/yr であった。得られた変位速度ベクトルの向きと大きさは、いずれのサイトにおいても大局的にはフィリピン海プレートの収束にともなう定常的な地殻変動と一致している。

キーワード: 海底地殻変動, 南海トラフ, 熊野海盆, 巨大地震

海底地殻変動観測より推定される南海トラフのすべり欠損速度（再考） Slip deficit at the Nankai subduction zone inferred from seafloor geodetic observations (second thought)

渡部 豪^{1*}, 田所 敬一¹, 生田 領野², 永井 悟¹, 奥田 隆¹, 安田 健二¹, 坂田 剛¹, 久野 正博³

WATANABE, Tsuyoshi^{1*}, TADOKORO, Keiichi¹, IKUTA, Ryoya², NAGAI, Satoru¹, OKUDA, Takashi¹, YASUDA, Kenji¹, Tsuyoshi Sakata¹, Masahiro Kuno³

¹名古屋大学, ²静岡大学, ³三重県水産研究所

¹Nagoya Univ., ²Shizuoka Univ., ³Mie Pref. Fisheries Research Inst.

フィリピン海プレートは、4-6 cm/yr の速度で南海トラフより西南日本下に沈み込んでおり、南海・東南海・東海地震のようなプレート間巨大地震を約 100-150 年の周期で繰り返し発生させている。地震調査研究推進本部による報告では、2011 年 1 月 1 日から 30 年以内のそれぞれの地震の発生確率は、東海地震については 87%、東南海・南海地震については 60-70%とされている。また、歴史地震の記録では、東海から南海にかけて連動型地震として発生したケースが複数あることが明らかにされており、連動した場合には災害が拡大することが懸念される。したがって、プレートの沈み込みによって生じる地殻変動の時空間変化よりプレート境界面の固着状態を把握することは非常に重要である。これに関連して、名古屋大学では、駿河トラフ（駿河湾）・南海トラフ（熊野灘）において、GPS/音響結合方式による、海底地殻変動観測を 2004 年以降くり返し実施している。現在、海底地殻変動観測の測位精度は、1 回の観測あたり 1-5 cm、長期的なトレンド推定精度は、約 2 cm/yr のレベルに達し、観測システムの開発段階から地殻変動実測の段階へシフトしつつある。また、近年では、海域で発生した地震の地殻変動を海底地殻変動観測により捉えた例（Sato et al., 2011; Tadokoro et al., 2006）や、地震後のプレート境界面の固着状態の回復過程を捉えた例（Sato et al., 2010）が報告されており、海域を震源とする地震に関して、より近傍で地殻変動を捉えることに成功している。

南海トラフには、海上保安庁、東北大学、名古屋大学のそれぞれの研究機関が展開・維持を行っている海底地殻変動観測点が合計 10 カ所ほど存在する。このうち、名古屋大学の観測点については、南海トラフの変形フロントから 60-80 km 離れた地点に 3 カ所設置されている。2005-2010 年の観測から、アムールプレートに対して、これら 3 カ所の観測点がおおよそ N68-75°W 方向に 35-42 mm/yr の速度で変動している結果が得られた。本研究では、国土地理院の GPS 連続観測網（GEONET）で 1996-2006 年に観測されたデータより推定された GPS 速度場（Liu et al., 2010）と名古屋大学の観測および海上保安庁の観測により得られた海底地殻変動速度を用いて、南海トラフのすべり欠損速度を逆解析を行うことで推定した。解析には、Hirose et al. (2008) で地震学的に推定された、フィリピン海プレートのプレート上面形状のデータを用い、四国西部沖合から駿河湾にかけての領域に三角形要素で近似した 300 個程度の断層を設定した。さらに、先験情報として、Yoshioka and Murakami (2007) で計算されたフィリピン海プレート上面の温度構造を基にプレート間の固着強度を仮定し、アムールプレートに対するフィリピン海プレートの相対運動速度（Sella et al., 2002）を各断層に与えてグリーン関数の計算を行った。これらの結果から、南海地震想定震源域にあたる、四国西部から四国中部沖合では、すべり欠損速度が 50-60mm/yr の大きな領域が示され、東南海地震想定震源域の紀伊半島以東から東海地方の沖合では、すべり欠損速度が 30-40mm/yr と小さくなることが明らかとなった。また、東海地震想定震源域にあたる駿河湾近傍では、すべり欠損速度が 20-30mm/yr 程度であることが確認された。

謝辞：本研究は、文部科学省の受託研究「海底地殻変動観測技術の高度化」により実施しました。観測にご協力いただいた三重県水産研究所の調査船「あさま」の乗組員・関係者の皆様に深く感謝致します。また、海上保安庁の海底地殻変動観測より得られた地殻変動速度を使用させて頂きました。

キーワード: 海底地殻変動観測, 南海トラフ, すべり欠損速度, GPS, 連動

Keywords: Seafloor geodetic observation, Nankai Trough, Slip deficit rate, GPS, Interlocking

駿河湾における海底地殻変動モニタリング

Monitoring of seafloor crustal deformation using GPS/acoustic techniques at the Suruga trough

安田 健二^{1*}, 田所 敬一¹, 生田 領野², 渡部 豪¹, 永井 悟¹, 江藤 周平¹, 坂田 剛¹, 佐柳 敬造³

YASUDA, Kenji^{1*}, TADOKORO Keiichi¹, IKUTA ryoya², WATANABE Tsuyoshi¹, NAGAI Satoru¹, ETO Shuhei¹, SAKATA Tsuyoshi¹, SAYANAGI Keizo³

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 静岡大学, ³ 東海大学

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Shizuoka University, ³Tokai University

GPS/音響結合方式を用いた観測は Spiess et al.(1998) から観測が行われており、日本においては日本海溝や駿河トラフ、南海トラフ等の海域で、観測が行われている。現在、1回の観測において1数cm程度の精度で海底の観測点の位置を求めることができ繰り返し観測を行うことにより、海底での変位速度ベクトルを求めている。最近の観測例としては、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の際に、海底において明瞭な地殻変動が観測されている (Sato et al., 2011)。さらに、Ito et al. (2011) では、海底地殻変動のデータと陸上にあるGPSの測位データを用いて、海域での地震時のすべり分布が求められている。想定されている東海や東南海地震のような海溝型巨大地震は海底下に震源域があり、想定震源域近傍で海底地殻変動を観測するのが重要である。

駿河湾では、東海地震の想定震源域である駿河トラフを挟み込むような形に2点の観測点を設け、観測を行っている。観測期間は2005年から2011年で、西側の観測点では計14回、東側の観測点では計13回の観測が行われており、1回の観測における観測時間は6~12時間程度である。本研究では、過去の観測により得られた全データについて、以下の作業を行いデータの質を向上させ、再解析を行った。1) 音響測距データからは走時を読み取る際に、海面や船底で音波が反射してくる所に相関係数のピークがたってしまうことがある読み取りミスがあり、それらの影響を取り除いた。2) 船の姿勢のデータの異常な測定値(船の方向が0.2秒で1度以上変動する等)を除去した。また、データが欠損している時間帯では内挿を施していたが、うまく内挿できていないのがわかり、この時間帯のデータを除去した。3) GPSデータからは衛星捕捉状態などの影響によりデータが不安定な時間帯があり、その時間のデータを除去した。また船の姿勢同様、データが欠損している時間帯について除去した。

質の向上したデータを再解析することにより、各エポックの位置決定結果をもとにアムールプレートに対する変位速度を求めた。1回の観測における残差のRMSは0.27ms小さくなった。駿河トラフ東側の観測点ではN99°Wに 4.7 ± 1.2 cm/yrという変位速度が求められた。国土地理院が設置している伊豆半島のGPSの変動速度と比較すると、誤差を含めて有意な差ではなく、求められた海域での変位速度は、陸上の観測結果と整合性があるといえる。また、駿河トラフの西側のGPSの変位速度と駿河トラフ東側の海底の観測点の変位速度を比較すると、数mm/yr程度の有意な変動が観測され駿河トラフを挟んだ観測点は収縮傾向にあるという結果になった。

キーワード: 海底地殻変動, GPS/音響測距手法, 駿河トラフ, モニタリング, 反射波

Keywords: seafloor crustal deformation, GPS/acoustic techniques, Suruga trough, monitoring, reflected waves

海上保安庁における海底地殻変動観測の最近の取組

Recent efforts for GPS/acoustic seafloor geodetic observation by Japan Coast Guard

佐藤 まりこ^{1*}, 石川 直史¹, 氏原 直人¹, 渡邊 俊一¹, 藤田 雅之¹, 望月 将志², 浅田 昭²

SATO, Mariko^{1*}, ISHIKAWA, Tadashi¹, UJIHARA, Naoto¹, WATANABE, Shun-ichi¹, Masayuki Fujita¹, MOCHIZUKI, Masashi², Akira Asada²

¹ 海上保安庁海洋情報部, ² 東大生産研

¹Hydrogr. and Oceanogr. Dept. of Japan, ²IIS, Univ. of Tokyo

海上保安庁海洋情報部では、東京大学生産技術研究所の技術協力の下、GPS/音響測距結合方式による海底地殻変動観測を実施している。我々の海底基準点は、主に日本海溝及び南海トラフ沿い陸側に設置しており、測量船による繰り返し観測を行っている。

2008年からは、観測効率の向上と観測データの空間バランスの改善による安定性の向上を目指して、測量船「明洋」(550トン)の船底に音響トランスデューサ(送受波器)を常設し、航走観測を開始した。航走観測の実現により、従来の漂流観測よりも安定した観測結果が得られるようになった。また2009年からは、既設の海底局の更新作業を開始し、長期間の観測を行う体制を確保している。

これまでの観測から、海洋プレートの沈み込みに伴う定常的な地殻変動や地震に伴うコサイスマック変動の検出に成功している。特に、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、震源のほぼ真上の海底基準点が東南東方向に24m移動し、3m隆起したことを捉え、海溝付近での大きなすべりを観測で実証した。その後も観測を継続し、地震後の海底の動きを監視している。

本講演では、海上保安庁海洋情報部の海底地殻変動観測の最近の取り組みについて紹介する。

1. 観測面

(1) 南海トラフへの海底基準点の増設

東海・東南海・南海地震の想定震源域における観測を強化するため、既に設置されている御前崎沖から室戸岬沖までの6点の海底基準点に加え、新たに9点の海底基準点を西側及び陸側に設置し、面的に海底地殻変動観測を行う体制を整備した。これにより、海域における地殻変動速度の空間分布についての知見が得られるものと期待される。

(2) 中型測量船「海洋」への観測機器の設置

2008年3月の中型測量船「明洋」、2010年12月の大型測量船「拓洋」(2400トン)に続き、2012年3月に中型測量船「海洋」(550トン)にも海底地殻変動観測用の観測機器を搭載する予定である。今後は3隻体制で海底地殻変動観測を行うこととしている。

2. 解析面

我々は、より高精度な位置決定を目指して、航走観測による安定性の向上を生かした新たな解析手法「重心推定法」(松本ほか、2008)の検討を進めてきた。この手法は、海底に設置されている4台の海底局の相対位置関係を固定して、海底局アレイの変位量を3次的に求めることにより、最も大きな誤差要因である海中の音速構造の推定誤差を低減し、測位精度を向上させようというもので、水平方向のみならず、上下方向の地殻変動を検出できる可能性がある。

今般、東北地方太平洋沖地震前の観測データについて重心推定法で再解析を行い、これまで成果をあげてきた日本海溝のみならず南海トラフ沿いの海底基準点においても安定した移動速度を求めることに成功した。

今後は、「重心推定法」による観測結果を公表していく予定である。

キーワード: 海底地殻変動観測, 宮城県沖, 南海トラフ

Keywords: seafloor geodetic observation, off Miyagi Prefecture, Nankai Trough

海底基準点増設に伴う海底地殻変動観測の効率化に向けての検討 Study for the efficient seafloor geodetic observation planning

渡邊 俊一^{1*}, 佐藤 まりこ¹, 石川 直史¹, 氏原 直人¹

WATANABE, Shun-ichi^{1*}, SATO, Mariko¹, ISHIKAWA, Tadashi¹, UJIHARA, Naoto¹

¹ 海上保安庁海洋情報部

¹JHOD, JCG

海上保安庁海洋情報部は、東京大学生産技術研究所との技術協力の下、測量船を用いた GPS/音響測距結合方式による海底地殻変動観測を、主に日本海溝及び南海トラフ沿いの陸側に設置した海底基準点で実施している。本観測は、海洋プレートの沈み込みに伴う陸側のプレートの変動を、海底基準点の位置の時系列として求めることを目的としており、これまでに海洋プレートの沈み込みに伴う地殻変動や地震に伴う変位を検出することに成功している。

2011年度には、南海トラフ沿いの海域において新たに観測点を9点設置した。この増設によって、より稠密で面的な地殻変動速度の観測が可能になる。その一方で、海底基準点の増設に伴って、限られた時間の中で既存点での観測を継続しつつ、新設点において十分に信頼できる移動速度データを獲得できるような観測計画をデザインすることが求められる。つまり、各点の観測時間と観測精度、観測頻度を最適化するのであるが、その際に、移動速度データの信頼性を評価する指標が必要となる。

観測データが蓄積されるほど、求まる移動速度の値は一定の値に収束していく。この収束速度を、既設点で観測された実際のデータおよび様々に仮定した観測計画に対して見積もり、観測計画の最適化のための評価軸とする。本発表では、実際に算出した収束速度を示し、それに基づいて効率的な観測計画を提案する。

キーワード: 海底地殻変動観測

Keywords: seafloor geodetic observation