



Seafloor morphological studies of rifting in the Okinawa Trough and Ryukyu Arc

南, 宏樹

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2025-09-05

(Date of Publication)

2027-09-05

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙第3455号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100498291>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式 3)

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 南 宏樹

専 攻 惑星学専攻

論文題目 (外国語の場合は, その和訳を併記すること。)

Seafloor morphological studies of rifting in the Okinawa Trough and Ryukyu Arc

(沖縄トラフ及び琉球弧におけるリフティングに関する海底地形学的研究)

論文内容の要旨

地球上の大陸縁辺部には多数の背弧海盆が存在する。これら背弧海盆の形成過程を理解するために、活動的な海盆から活動が停止した海盆にいたるまで、様々な形成過程にある背弧海盆が研究されてきた。大陸縁辺部の活動的な海盆の中でも、背弧拡大の初期段階、つまり海洋底拡大が始まる前のリフティングの段階にある海盆は2例のみと言われており、非常に少なく、その理解は十分に進んでいない。

西太平洋のユーラシア大陸縁辺部に位置する沖縄トラフはいまだリフティングの段階にある数少ない背弧海盆であり、初期の背弧拡大の過程を理解する上で最適な場所である。沖縄トラフにおいて背弧拡大に関する現象の理解を進め、他の異なる地質環境場及び異なる発達段階にある背弧海盆との比較を行うことにより、背弧海盆の活動の開始から停止へと至る一連の発達形成過程を解明していく上で重要な知見が得られることが期待される。

背弧拡大の痕跡は断層や火山体として海底に残る。沖縄トラフ及び琉球弧の断層地形や火山地形を網羅的かつ詳細に把握するとともに、それらの空間分布等の特徴を調べることで、沖縄トラフの発達形成過程を理解することが可能となる。沖縄トラフでは先行研究により、リフティングに伴う断層地形や火山地形が部分的に研究されてきた。それらの分布は北部・中部・南部で異なり、リフティングや火成活動が地域で異なることが示唆されている。しかしながら調査がなされた場所は未だ限られており、リフティングと火成活動の全体像及びその相互作用について未解明な点が多い。

本研究では、沖縄トラフにおいて、1989年から2025年にかけて海上保安庁・産業技術総合研究所・海洋研究開発機構により、マルチビーム音響測深機を用いて取得された海底地形データを用いた。調査によって得られたデータを処理・統合することで、沖縄トラフ全域をカバーする30mグリッドの海底地形データを作成した。この網羅的かつ詳細な海底地形データをもとにリニアメント（線状構造）および火山体を抽出した。加えて、マルチビーム音響測深機のウォーターカラムデータから抽出されたブルーム状の水中音響異常を収集した。ブルーム状の水中音響異常は海底からの泡（バブル）の噴出を音響的に捉えたものであり、火山体において検出される音響ブルームは熱水活動や火山活動の兆候と考えられている。この他に先行研究で得られた海底熱水活動や火山岩の情報を収集した。本研究で得られた結果を、先行研究の結果と併せて解釈することで、沖縄トラフにおけるリフティング及び火成活動について、以下に述べる新しい知見を得た。

沖縄トラフ全域にわたるリニアメントの詳細な分布が初めて明らかになった。リニアメントが発達する場所では先行研究の反射法地震探査により海底面まで到達する正断層が発達していることから、リニアメントの多くは正断層と解釈できる。先行研究による断層よりも広い範囲で多数のリニアメントが発達していることから、沖縄トラフのリフティングは従来考えられているよりも広範囲で地殻に変形を与えていることが示唆される。

リニアメントの分布は北部・中部・南部で大きく異なる。北部ではトラフの背弧側から島弧側に分布する。中部ではトラフの背弧側から島弧側にかけて多数のリニアメントが幅広く分布する。南部ではリニアメントはトラフ中央部（軸部）から島弧側に集中して分布しており、背弧側にはほとんど見られない。北部・中部・南部におけるリニアメントの分布からは、リフティングが活動的な場所は北部・中部・南部で異なることに加えて、北部・中部・南部の中でも島弧側と背弧側で異なることが明らかになった。

リニアメントを走向で3つのクラスターに分類した結果、クラスター1として東-西から東北東-西南西の走向（主要走向 $N60^{\circ} E$ ）、クラスター2として東北東-西南西から北北東-南南西方向（主要走向 $N70^{\circ} E$ ）、クラスター3として西北西-東南東から北西-南東方向（主要走向 $N112^{\circ} E$ ）に分類された。各クラスターは走向が異なるだけでなく分布域も明瞭に異なる。類似する走向を有するクラスター1とクラスター2のリニアメントはトラフ内に集中していることから、リフティングにより形成された正断層と解釈される。この走向のリニアメントが発達する範囲は大陸棚斜面から琉球弧に及ぶことが明らかになった。クラスター3（西北西-東南東、島弧を切る方向）のリニアメントはトラフ内に少なく、火山フロントから琉球弧にかけて集中する。クラスター3のリニアメントが発達する範囲は、先行研究において浅部地震の発震機構解から求められた島弧に平行（北東-南西方向）な伸長応力場が卓越して働く範囲と概ね一致する。つまり、このリニアメントは島弧に平行な伸長応力により形成された正断層と解釈される。

火山体の詳細な分布から、琉球弧の中部から南部にかけて、これまで不明瞭であった火山フロントの位置が推定された。推定された火山フロントは、クラスター1と2及びクラスター3のリニアメントの境界となっている。火山フロントはマグマ活動の境界のみならず、応力場の境界となっていることが明らかになった。

また、沖縄トラフ内の火山体の分布が明らかになり、リニアメントの分布と併せることでリフティングと島弧火成活動の相互作用に関する以下の知見を得た。火山フロント沿いの火山に着目すると北部では大型（基底が幅 10km 以上）の火山体が発達する。中部・南部では比較的小型（基底が幅数 km）の火山体が発達する。また、北部ではリフティングによるリニアメントがフロント沿いでは少なく、中部・南部では多い。この火山体の大小とリニアメントの少多の関係から、中部・南部ではリフティングにより、マグマが海底下から海底に噴出する際の通路となる構造的弱線（断層）が多数形成されることにより、火山活動が多数の場所に分散された結果、小型の火山体が多数形成され、大型の火山体が形成されにくくなっていると考えられる。

背弧の火山体に着目すると、火山フロントから背弧まで連続的に背弧火山体が分布する範囲が北部・中部・南部で異なる。南部ではフロントから連続的に約 60 km の距離まで、中部では約 110 km まで、北部では約 80 km まで連続的に背弧火山体が分布する。南部と中部の違いとして、南部では背弧側ではリニアメントがほとんど検出されないことから、現在リフティングが活動的でないことが関係していると考えられる。北部ではトラフの中央部において、リニアメントが中部よりも少ないことが要因となって、中部ほど背弧側に火山体が連続的に分布していないと考えられる。

熱水活動域の分布、火山体の分布、さらにリニアメントの分布を統合して考察することで、沖縄トラフの熱水活動を規制する要因に関して以下の知見を得た。熱水活動を胚胎する上で熱水循環を駆動する熱源となる火山体と、熱水の通路となる断層の両方が共存することが重要である。沖縄トラフ北部では、リニアメント（断層）が発達する場所（背弧側）と火山体（熱源）が発達する場所（島弧側）が分かれている。これにより北部では熱水活動が形成されにくい環境となっており、熱水活動が最も少ない（2 例）。一方で、中部はリニアメント（断層）と火山体（熱源）の両方がトラフの島弧側から背弧側にかけて幅広く共存する。これにより中部では熱水活動が最も形成されやすい環境となっており、熱水活動も最も多い（17 例）。南部ではトラフ中央から島弧側にかけて存在するリフト内で火山体と断層の両方が共存する。これにより熱水活動が形成されやすい環境にある。ただし火山体・断層とも中部より少なく、範囲も限られている。そのため熱水活動も中部よりは少ない（10 例）。この知見は、今度、沖縄トラフにおいて未知の熱水活動を環境場から絞り込む上での

重要な知見となる。

このように背弧海盆における初期の拡大過程においては、リフティングによる断層運動は背弧海盆（沖縄トラフ内）だけでなく、島弧（琉球弧）に至るまで複雑な応力場を生み出し、広範囲に地殻を変形させていることが明らかになった。また、火山フロントは、単に火成活動の境界となっているだけでなく、リフティングに起因する異なる2つの応力場の境界にもなっていることが明らかになった。これは初期の拡大過程においては、リフティングと火成活動が相互に影響を及ぼしていることを示唆する。

南極大陸縁辺部に発達するブランズフィールド海盆は成熟した海洋底拡大が起こっており、リフティングが進行する点で沖縄トラフに似た背弧海盆である。しかしながら、上記で得られた知見はブランズフィールド海盆では得られていない。ブランズフィールド海盆では近接する島弧火成活動が 20 Ma 以降停止しており、活動的な火山フロントを欠いており、沖縄トラフと明瞭に異なる。また沖縄トラフが弧状に背弧が拡大しているのに対して、ブランズフィールド海盆は直線状に背弧が拡大している。このような違いが影響していることが考えられる。また、大陸性地殻に発達する沖縄トラフと異なり、海洋性地殻に発達するマリアナトラフでは、島弧を横切る断層・リニアメントが確認されている。マリアナトラフは沖縄トラフ同様に弧状に背弧が拡大しており、島弧に伸長する応力場が形成されていると考えられている。つまり沖縄トラフとマリアナトラフの比較からは地殻の差異よりも、形状の差異が背弧海盆の拡大に影響を与えることを示唆している。沖縄トラフにおける本研究の成果と他の背弧海盆における成果を、地球物理学的・地球化学的・地質学的な観点からさらに詳細に比較研究することにより、背弧海盆の発達形成過程のモデルが精緻化されることが期待される。

指導教員 島 伸和

氏名	南 宏樹		
論文 題目	Seafloor morphological studies of rifting in the Okinawa Trough and Ryukyu Arc (沖縄トラフ及び琉球弧におけるリフティングに関する海底地形学的研究)		
審査委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	島 伸和
	副 査	教授	杉岡 裕子
	副 査	教授	はしもと じょーじ
	副 査		
	副 査		
要 旨			
本論文は、大陸縁辺部に位置する背弧海盆のうち、背弧拡大の初期段階のリフティング (rifting) 過程にある沖縄トラフとそれに対応する島弧である琉球弧を対象にして、背弧拡大の痕跡として現れる断層や火山体の存在を示す海底地形に着目し、それらを示す海底地形の解析を通じて、リフティング過程の理解を深めることを目的とした研究である。第1章では、沖縄トラフ背弧海盆における研究の位置づけを明確にし、これまでの関連研究をレビューした。第2章では、使用する海底地形データの取得方法および処理方法を説明し、対象海域全域の詳細な海底地形を明らかにした。第3章では、海底地形データに基づいてリニアメント (線状構造) を抽出し、沖縄トラフ全域にわたる伸長応力場の空間的特徴を議論した。第4章では、海底地形データに基づいて火山体の分布を明らかにするとともに、熱水活動を規制する要因について考察した。第5章では、本研究の成果を総括し、リフティング過程の理解に資する知見を示した。 第1章では、まず、地球上の大陸縁辺部に存在し、海溝・島弧・背弧系の一部を構成する背弧海盆の形成と進化について概説した。次に、西太平洋のユーラシア大陸縁辺部に位置する沖縄トラフは、背弧拡大の初期段階、つまり海洋底拡大が始まる前のリフティングの段階にある背弧海盆であり、リフティング過程を理解する上で最適な研究対象であることを示した。さらに、本研究対象の海溝・島弧・背弧系である琉球海溝・琉球弧・沖縄トラフに関する既存研究のレビューを行い、本研究の目的を、沖縄トラフおよび琉球弧におけるリフティング過程に伴う断層分布と火山活動を、高解像度の海底地形データを用いて解明することとした。 第2章では、詳細な海底地形データの取得方法と、複数のデータを統合する手順について説明した。沖縄トラフおよび琉球弧においては、1989年から2025年にかけて、海上保安庁、産業技術総合研究所、海洋研究開発機構による計112回の調査航海により、マルチナロービーム音響測深機をもちいた海底地形データが取得されている。これらのデータは、調査航海により測位精度や使用機器が異なることがあるため、その違いに応じた補正などを行って、すべてのデータを統合した。その結果として、沖縄トラフおよび琉球弧のほぼ全域をカバーする30mグリッドの海底地形データを構築し、網羅的かつ詳細な海底地形を明らかにした。 第3章では、高解像度の海底地形データをもとにリニアメントを抽出・解析することで、沖縄トラフおよび琉球弧全域にわたるリニアメントの分布を初めて明らかにして、伸長応力場の空間的変化を議論している。抽出された12,569本のリニアメントのうち、方向が明瞭なものを対象に、k-means クラスタリング手法を用いて3つの主要な走向 (N70° E、N60° E、N112° E) に分類した。これらのリニアメントは、その位置情報と反射法地震探査による断面との比較、さらに走向と地震の震源メカニズムとの対応から、伸長応力場によって形成された正断層と解釈された。特に、N70° E および N60° E 走向 (概ね ENE-WSW 方向) のリニアメントは、沖縄トラフ内に集中しており、背弧拡大のリフティングで形成された正断層と解釈された。また、これらの分布と走向には地域差が認められ、リフティング様式が北部・中部と南部では異なることが示唆された。一方、N112° E 走向 (概ね WNW-ESE 方向) のリニアメントはトラフ内では少なく、火山フロントと島弧の間に多く分布しており、島弧に平行な伸長応力場によって形成された正断層と解釈された。このことから、島弧域ではリフティングに伴って島弧に平行な伸長応力場が生じていることが示唆される。これらの結果は、沖縄トラフおよび琉球弧全域にわたるリフティング過程における応力場の空間分布を明らかにし、その理解に重要な知見を提供するものである。			

氏名

南 宏樹

第4章では、沖縄トラフおよび琉球弧における火山地形と熱水活動の分布を解析し、リフティングに伴う断層・火山活動・熱水活動の関係性を明らかにした。高解像度の海底地形データをもとに火山体を抽出し、沖縄トラフ内の火山体の分布を明らかにした。さらに、先行研究の岩石学的成果を整理することで、琉球弧の中部から南部にかけて不明瞭であった火山フロントの位置を特定するなどの結果を示した。この火山フロントは、抽出したリニアメントの走向が変化する境界、すなわち背弧拡大のリフティングによって形成された正断層（概ねENE-WSW方向）と島弧に平行な伸長応力場により形成された正断層（概ねWNW-ESE方向）の境界に位置していることが分かった。また、マルチナロービーム音響測深機によって取得されたウォーターカラムデータから、熱水活動の兆候とされるブルーム状の水中音響異常を抽出し、既存研究の熱水活動情報と統合した。その結果、中部沖縄トラフでは最も活発な火山活動と熱水活動が確認され、広範囲に分布する断層と火山地形の共存がその要因と推定された。南部沖縄トラフでは、限られた範囲で断層と火山地形の両方が発達していて、熱水活動も確認されている。一方、北部沖縄トラフでは、断層と火山地形とは共存しておらず、熱水活動も少ないことが明らかとなった。これらの結果は、熱水活動を規制する地質的要因に関する新たな知見を提供するものである。

第5章では、沖縄トラフおよび琉球弧におけるリフティング過程の特徴を、断層分布とそれに起因する応力場、さらに火山活動および熱水活動の観点から総括した。高解像度の海底地形データによりリニアメントと火山体を抽出し、既存研究から火山岩や熱水活動などに関する情報を統合した。リニアメントは3つの主要な走向に分類され、それぞれの走向と分布から、沖縄トラフのリフティング様式が北部・中部と南部では異なることが示唆された。また、火山フロントの位置を特定することで、火山フロントが背弧拡大のリフティングと島弧に平行な伸長応力場の境界に位置していることが明らかとなった。さらに、熱水活動は断層と火山地形が共存する地域で多く発生しており、これらの構造的要因が熱水活動を規制している可能性が示された。

本研究は、背弧海盆の拡大初期段階であるリフティング過程について、その研究に最適な場所である沖縄トラフと琉球弧を対象に、網羅的かつ詳細な海底地形に基づいて実施されたものであり、リフティング過程に関する理解を深める上で、重要な地形学的知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の南 宏樹は、博士（理学）の学位を得る資格があると認める。

- ・特記事項
- ・特許登録数 0件
- ・発表論文数 14編（内、12編が筆頭著者の論文）