

慶良間諸島に分布する四万十帯の砂岩の産状および 碎屑性ジルコンの年代測定を試み

宇佐美 賢、宮城 宏之、仲村渠聖也、宋 科翰、高橋 風、新城 竜一

Occurrence and Detrital Zircon U-Pb Dating of Sandstones in the Shimanto Belt of the Kerama Islands

Ken USAMI, Hiroyuki MIYAGI, Seiya NAKANDAKARI,
Ke-han SONG, Nagi TAKAHASHI, Ryuichi SHINJO

沖縄県立博物館・美術館，博物館紀要 第16号別刷

2023 年 3 月15日

Reprinted from the
Bulletin of the Museum, Okinawa Prefectural Museum and Art Museum, No.16
March, 2023

慶良間諸島に分布する四万十帯の砂岩の産状および 碎屑性ジルコンの年代測定の試み

宇佐美 賢¹⁾、宮城 宏之²⁾、仲村渠聖也³⁾、宋 科翰⁴⁾、高橋 颯⁵⁾、新城 竜一⁶⁾

Occurrence and Detrital Zircon U-Pb Dating of Sandstones in the Shimanto Belt of the Kerama Islands

Ken USAMI¹⁾, Hiroyuki MIYAGI²⁾, Seiya NAKANDAKARI³⁾,
Ke-han SONG⁴⁾, Nagi TAKAHASHI⁵⁾, Ryuichi SHINJO⁶⁾.

1. はじめに

慶良間諸島は那覇市の西約40kmに位置する。慶良間諸島の地質は主に砂岩、緑色岩、粘板岩・千枚岩からなり、慶良間層と呼ばれる（鹿島・高橋 1978, 木崎・山本 1985）。慶良間層は、その岩相から沖縄島北部の名護層や嘉陽層に対比され、千葉県房総半島から慶良間諸島まで続く四万十帯の最南端とされる（Taira et al., 1982）。

慶良間諸島の地質に関する近年の報告は、橋本（1978）、木崎・山本（1985）、知念ほか（2004）、宮城ほか（2013）などがある。橋本（1978）は奄美大島から慶良間諸島に至る地域の緑色岩類について詳細に記載した。木崎編（1985）は琉球弧の島々の地質学的研究を総括し、慶良間諸島の地質についても全域を地質図にまとめた（木崎・山本, 1985）。知念ほか（2004）は奄美大島、沖縄島北部、座間味島の緑色岩の産状と化学組成をまとめ、名護層と慶良間層の緑色岩を四万十帯中の他地域の緑色岩と同様に現地性緑色岩として記載した。宮城ほか（2013）は、沖縄島および周辺離島に分布する砂岩および碎屑性ザクロ石の全岩化学組成分析を行い、四国四万十帯

との比較を行った。

慶良間層と名護層からは化石は見つかっていない。嘉陽層からは貨幣石の化石が報告されている（Konishi et al., 1973）。よって嘉陽層の時代は新生代古第三紀始新世、名護層は上位と下位に、それぞれ接する嘉陽層と本部層との層序関係から中生代白亜紀とされるが、慶良間層と名護層の年代は不詳である。そこで慶良間層の砂岩層と緑色岩中のブーディン構造を示す脈状砂岩レンズの碎屑性ジルコンのU-Pb年代測定を試みた。本論では、露頭の記載を中心として、得られたジルコンのU-Pb年代を予察的に報告し、堆積当時の環境と成因について議論する。

2. 本調査域の地形と地質の概要

(1) 位置と大きさ、地形の概要

本調査域の阿嘉島、慶留間島、屋嘉比島は、那覇市の西、約40kmの慶良間諸島の西側に位置する（図1・2）。阿嘉島は周囲約12km、面積約3km²、慶留間島、外地島は合わせて周囲約5km、面積1.7km²、屋嘉比島は周囲約3km、面積1.3km²である（座間味村史）。阿嘉島と慶留間島、外地島は橋で結ば

¹⁾ 沖縄県立博物館・美術館 〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち 3-1-1

Okinawa Prefectural Museum & Art Museum, 3-1-1, Omoromachi, Naha, Okinawa, 900-0006, Japan

²⁾ 元高等学校教諭

³⁾ 琉球大学理学部物質地球科学科 〒903-0213 沖縄県西原町千原 1

Dept. Physics and Earth Sciences, University of the Ryukyus, Senbaru-1, Nishihara, Okinawa 903-0213, Japan

⁴⁾ 琉球大学大学院理工学研究科 〒903-0213 沖縄県西原町千原 1

Graduate school of Engineering and Sciences, University of the Ryukyus, Senbaru-1, Nishihara, Okinawa, 903-0213, Japan

⁵⁾ 琉球大学理学部物質地球科学科

⁶⁾ 総合地球環境学研究所 〒603-8047 京都市北区上賀茂本山 457-4

Research Institute for Humanity and Nature, Motoyama 457-4, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8047, Japan

れ、3島は陸路での往来が可能である。屋嘉比島は、慶良間諸島の最も西側に位置する久場島の北に位置し、明治時代から戦前まで、久場島とともに銅鉾山の島として栄えたが、現在は無人島である。

島の最高点は、阿嘉島：大岳（標高187m）、慶留間島：標高157m、屋嘉比島：標高214mであり、各島とも島の大きさの割に標高が高い。慶良間諸島の島々の海岸線は、リアス海岸を形成し、海食崖が発達した海岸と、内海に面する砂丘の発達した砂浜からなる。海岸線から現生のサンゴ礁縁までの幅は平均145mと短い（沖縄島は平均470m）（沖縄県史図説編）。以上のこれらの地形の特徴は、慶良間諸島が山岳地形の沈降により形成されたことを示唆する（木崎 1992）。

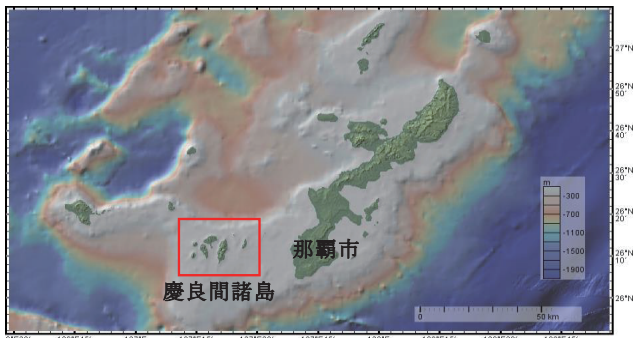


図1 慶良間諸島の位置図

(2) 地質の概要

本調査域の阿嘉島、慶留間島、屋嘉比島の地質は、他の慶良間諸島の島々と同様、慶良間層（名護層に対比）が分布する（図2, 木崎・山本1985）。慶良間層からの化石は名護層と同様に報告はない。本調査域の地質は、慶良間諸島の他の島々と比較し緑色岩類が優勢である。

緑色岩は、阿嘉島では島の中央から北西部にかけて、慶留間島では島の北部を中心に、屋嘉比島ではほぼ全域に分布する。緑色岩の産状は、層状、塊状とあり、塊状のものの中には、複数箇所枕状溶岩の形状を残す部分がある。構成鉱物の粒子の大きさは細粒のものから粗粒なものまでである。

砂岩は阿嘉島では北部から東海岸にかけてと、南部に分布し、慶留間島では南側に分布する。黒色千枚岩は阿嘉島の一部に緑色岩類と砂岩層の間に分布する。走向はおよそN50° W、傾斜は南西30°である。各層の関係は整合で境界部は互層となっており遷移的に変化する。見かけ上は南側が上位であり、本研究対象の砂岩と緑色岩の関係は、見かけ上、砂岩が下位、緑色岩が上位である。

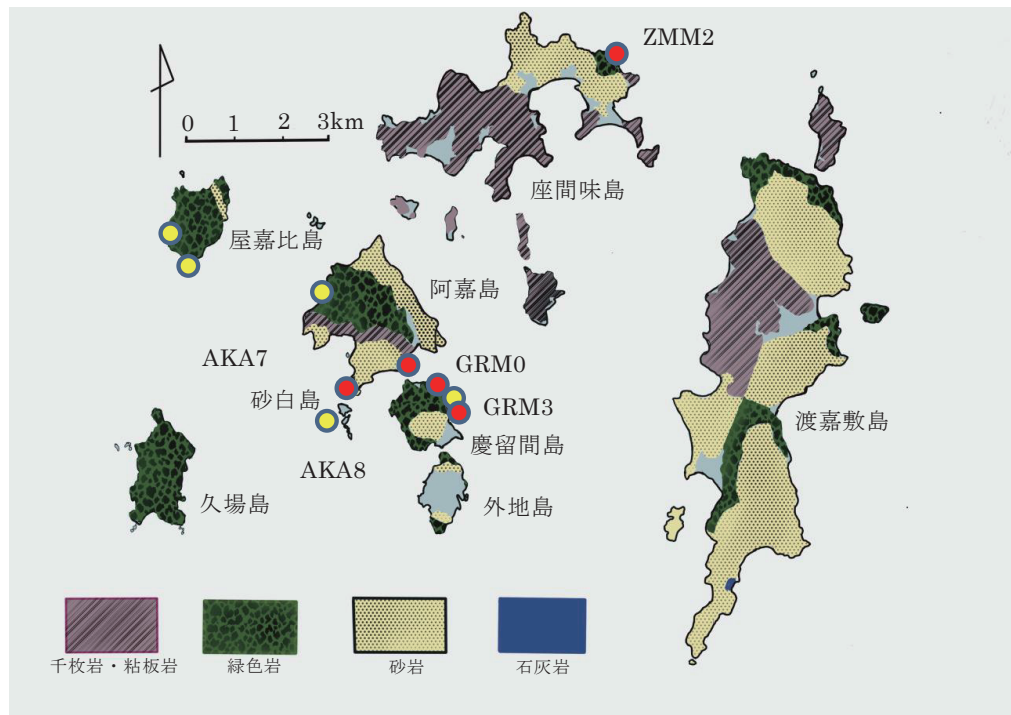


図2 慶良間諸島の地質図 ●脈状砂岩の分布地 ●試料採取地 木崎・山本（1985）を改変

3. 砂岩の分布と産状及び岩石記載

慶良間諸島に分布する砂岩は、広範囲に塊状（図5 AE）に産するものと、緑色岩の中に局所的に脈状（図4、図5 BCDF）に産するものがある。塊状の砂岩は、調査域内においては見かけ上、下位に存在し阿嘉島の北から東側に分布する。一方、脈状の砂岩は見かけ上、上位にあり、慶留間島、阿嘉島西側の後原海岸と阿嘉島南の砂白島、屋嘉比島の西側から南海岸にかけての緑色岩中に存在する（図2）。塊状砂岩と脈状砂岩の主な構成鉱物は、両者ともに石英、斜長石、カリ長石、白雲母、黒雲母、ジルコンからなり（図3 AB）、両者に大きな差異はない。両者の岩石学的差異は、構成鉱物の並び方と大きさである。塊状砂岩の鉱物粒子の長径は0.1mm～0.5mmで細長く伸長し、一方向に配列する。そのため弱い片理が発達し、一般に片状砂岩と呼ばれている。一方の脈状砂岩（図3 B）の鉱物粒子の長径は0.1mm～0.5mmであるが、塊状砂岩（片状砂岩）ほど伸長しておらず、粒子が大きく結晶質で緻密である。

宇佐美・宮城（2017）は、慶留間島やその他の島の脈状岩について、その産状からFlint（1954）によって報告されている屋嘉比島のアプライト岩脈との関連性を指摘したが、その後の調査研究により、慶留間島等に分布する緑色岩中の脈状岩は、アプライトではなく砂岩であることが明らかとなった。

脈状の砂岩層が最も大規模に露出するのは慶留間島北東海岸で、高さ約50mの露頭中に確認できたものは8条、層厚は薄いもので約10cm、最も厚いものは約2mであった（図4）。一般の走向はN70～80°W、傾斜が10～20°SWであった。規模は小さいが、同様の脈状砂岩層が阿嘉島（図5 B）、屋嘉比島（図5 D）、砂白島（図5 C,F）でも確認された。脈状砂岩の大部分は、岩床状で緑色岩の層理と平行である。両者がともに低角断層で切られて砂岩が緑色岩へ食い込んでいたり（図4 DE）、砂岩の脈が突然途切れる部分（図4 F）が観察された。慶留間島東側や阿嘉島西側の後原海岸、阿嘉島南の砂白島の脈状砂岩の周辺には、枕状溶岩の形状を残す緑色岩が確認された（図6）。砂白島には緑色岩と脈状砂岩の両方が切られた露頭が観察された（図5 F、図7 E）。

- (1) 塊状砂岩（片状砂岩） 標本番号 OPM-R-00904
・ サンプル番号：AKAS 1 ・ 採取地：阿嘉島南部
・ 構成鉱物：石英、斜長石、カリ長石、白雲母、黒雲母、ジルコン

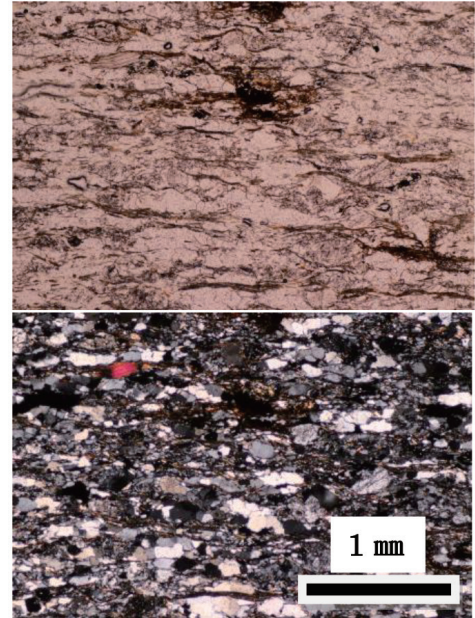


図3 A 塊状砂岩の薄片写真と構成鉱物
（上：オープンニコル、下：クロスニコル）

- (2) 脈状砂岩 標本番号 OPM-R-00902
・ サンプル番号：GRM3 ・ 採取地：慶留間島北東
・ 構成鉱物：石英、斜長石、カリ長石、黒雲母、白雲母、緑帘石、ジルコン



図3 B 脈状砂岩の薄片写真と構成鉱物
（上：オープンニコル、下：クロスニコル）



A：露頭全体写真（南側）



B：露頭全体写真（北側）



C：中央部



D：左写真中央右下の拡大写真



E：北側下部1（GRM3）



F：中央部



G：北側下部2



H：北側下部3（2の写真の拡大）

図4 慶留間島東側の砂岩と緑色岩の産状



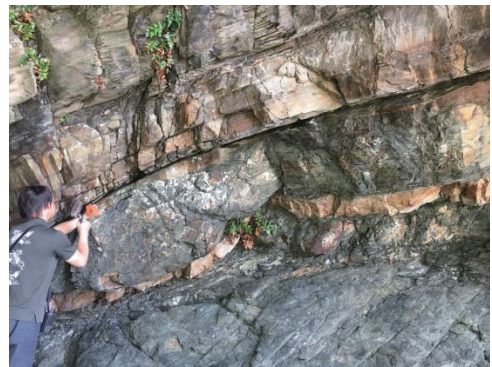
A：阿嘉島南東部の塊状砂岩



B：阿嘉島後原海岸



C：砂白島西部の脈状砂岩



D：屋嘉比島南部の脈状砂岩



E：砂白島の塊状砂岩



F：砂白島西部の脈状砂岩

図5 砂岩と緑色岩の産状



慶留間島東側（写真右側部分）



砂白島西部（写真中央右の部分）

図6 脈状砂岩の下位に観察される枕状溶岩の形態を残す緑色岩

4. 碎屑性ジルコンのU-Pb年代測定法

慶良間層の緑色岩中の脈状砂岩、および塊状砂岩層から採取した5つの試料（図2・3）からジルコンを分離し、琉球大学理学部に設置されているレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計（LA-ICP-MS）を用いて、碎屑性ジルコンのU-Pb同位体年代測定を行った。本稿では予察的な結果を述べる。

LAはESI社製のNWR-FEMTO、ICP-MSはThermo-Fisher Scientific社製のX-series 2である。レーザー照射径は30 μm 、スポット分析モード、フルエンスは1 J/cm²、5 Hz、Heガス雰囲気（流量 0.8 L/min）である。測定は最初の約25秒間をガスブランクとし、シャッターを開けてレーザーを20秒間照射した。得られたcsvデータをデータ解析ソフトIolite 3.7 (Paton et al., 2011) を用いて解析した。バックグラウンド範囲やデータ積算範囲の設定、バックグラウンドの差し引き、同位体分別の補正などを行った。標準試料ジルコン91500 (²³⁸U-²⁰⁶Pb 年代=1062.4 $\pm$ 0.4 Ma; Wiedenbeck et al., 1995) をスタンダードとした。また2つの標準試料ジルコンGJ-1 (²⁰⁶Pb/²³⁸U TIMS年代=599.8 $\pm$ 4.8 (n=8, 2s) Ma; Jackson et al., 2004)) とPrešoviceジルコン (²⁰⁶Pb/²³⁸U ID-TIMS年代=337.13 $\pm$ 0.37 Ma; Sláma et al., 2008)) を未知試料として分析し、測定の正確度を評価した。本研究でのGJ-1の²⁰⁶Pb/²³⁸U年代は595.1 Ma (n=21, 2SE=3.24)、Plešoviceの²⁰⁶Pb/²³⁸U年代は332.0 Ma (n=21, 2SE=1.6) であった。これらの値は文献値とよい一致を示す。Tera-Wasserburg図、Kernel Density Estimate (KDE) 図を用いた解析は、IsoplotR (Vermeesch, 2018) を用いた。

微量元素分析も同じLA-ICP-MSシステムを用いて行った。NIST-610標準ガラスをスタンダードとし、Siを内標準元素に用いてマトリクス補正を行った。

5. 結果と考察

脈状砂岩の中には、その下位に枕状溶岩の形状を残す緑色岩と接する部分が複数観察された（図6）。枕状溶岩は、玄武岩質溶岩が海底下に噴出した際に形成されることから、脈状砂岩の堆積環境は、緑色岩の源となる玄武岩の噴出場と同じ環境であり、か

つ砂の供給源に近い大陸近くの海溝付近と想定される。また脈状砂岩と緑色岩が互層していることから、両者の堆積時期はほぼ同時期と考えられる。脈状砂岩の産状（図7）は、細く引き伸ばされたり、ぶつ切りになったりと、変形の仕方は多様である。これらは緑色岩と砂岩が互層し堆積した地質体が、その後の変形をうけて生じたブーディング構造と考えられる。薄い砂岩層の先端が尖っているのは（図7A）、薄い層は引き伸ばされやすいためと考えられる。一方、厚い砂岩層はぶつ切りになっているものが多い（図7BD）。これは厚い砂岩層ほど引き伸ばされにくく、引き伸ばされた際に破断した痕跡と推測される。

砂岩の堆積年代の推定には、最も若いジルコン粒子年代と最も若いクラスター年代を用いる（志村ら、2017, 2020）。試料GRM0では、67粒子の測定から59粒子を解析に使用した。約2500~110Maの値を示し（図8）、300~100 Maに大きな年代の分布が認められ、全体の57.6%を占める。また、KDE図（図9）では300~100 Maに3つのピークがみられ、それぞれ116,168,231 Maである。本試料から得られた最も若いジルコン粒子の年代は、109.3 $\pm$ 2.7 Maである。最も若いクラスターは、約115~110 Maの年代を示す3粒子のジルコンで構成されており、それらの年代の加重平均値（YC σ 1）は112.8 $\pm$ 2.9 Maであった。他の地点から採取した砂岩中の碎屑性ジルコンの年代測定結果も類似した結果を示し、最も若いクラスター年代はおおよそ110~120Maである。地層の堆積年代は最も若いクラスター年代よりも一般に若い。したがって、砂岩の堆積年代は少なくとも110~120 Ma以降であると考えられる。また100Maよりも若いジルコンは認められなかった。このことから、砂岩の堆積年代は100Ma頃の可能性が高い。この年代は、これまでに指摘されてきた名護層や慶良間層の堆積年代と調和的である（知念ほか、2004）。



A：先端が尖った薄い脈状砂岩（白丸部分）
慶留間島東側



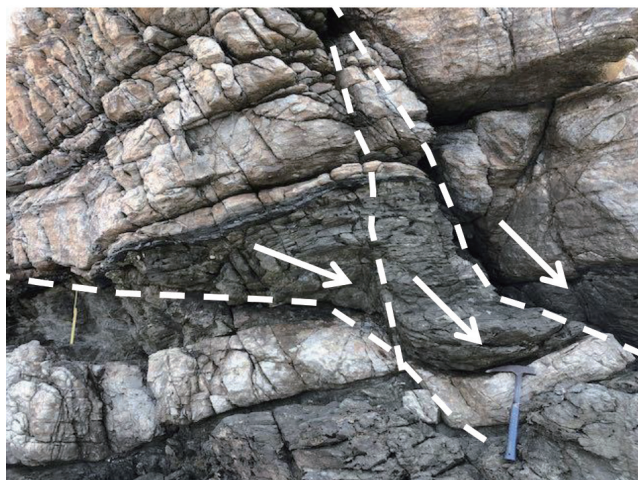
B：ぶつ切りになった厚い脈状砂岩
慶留間島東側



C：1 引き伸ばされたあと、2 変形を受けた
慶留間島東側



D：破断するときにぶつ切りになった部分
慶留間島東側



E：緑色岩と砂岩が同時に変形を受けた部分
砂白島



F：砂岩レンズと級化層理を示す砂岩層
砂白島

図7 脈状砂岩に見られる様々なブーディン構造

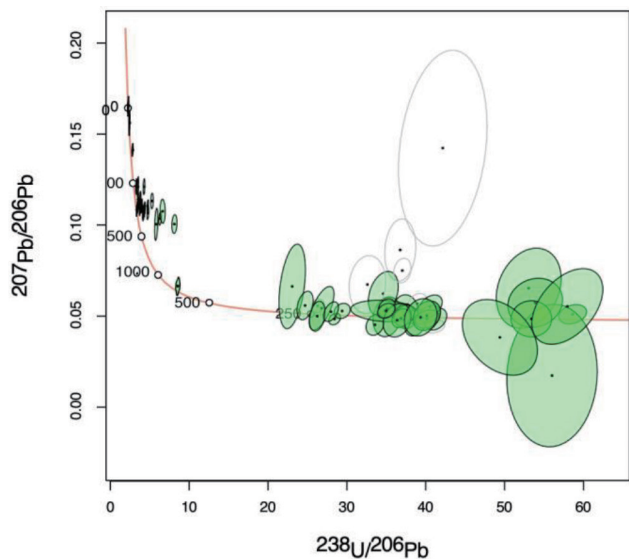


図8 GRM0のTera-Wasserburg 図

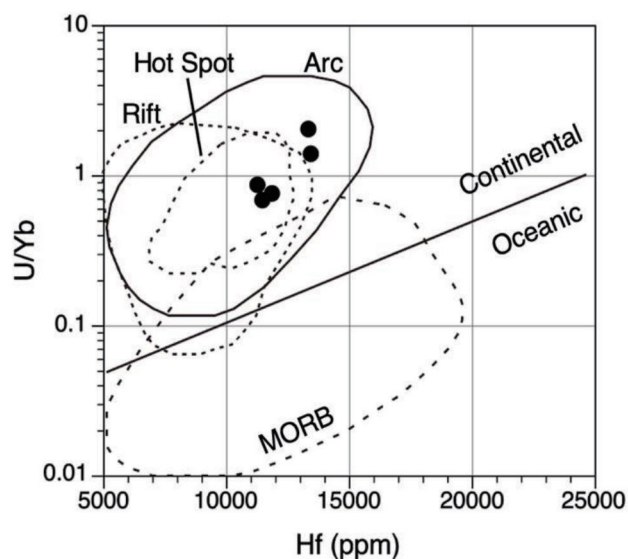


図10 GRM0中の100-300 Maジルコンの微量元素組成の特徴.

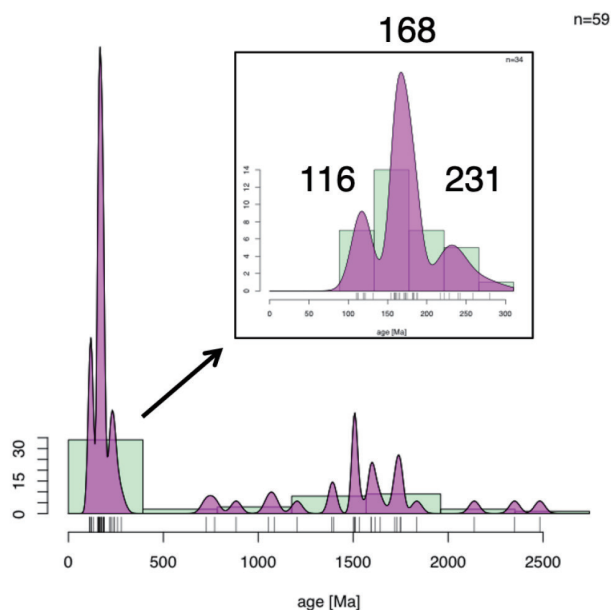


図9 GRM0のカーネル密度推定

100～300Maの年代を示したジルコンについて、その微量元素組成をテクトニック・セッティングに関する地球化学的判別図（図10）にプロットしてみた（Padilla et al., 2016）。本研究のジルコンは、大陸性、特に島弧に産出するジルコンの組成と類似している。

これらの年代と微量元素の特徴は、慶良間層の後背地では 100Ma 頃に珪長質マグマが多量に生成され、これらの火成岩体から侵食された堆積物が大陸縁辺の海底に供給されていたことを示す。ユーラシア大陸東縁部や日本列島では、白亜紀花崗岩類が広範囲に分布することが知られており（例えば、Zhang et al., 2010; Gu et al., 2013; Wu et al., 2017; Zhao et al., 2017など）、紀伊半島の四万十帯の碎屑性ジルコン年代には 300～100Maの中に3つのピークがある。

また慶良間層の緑色岩は一部に枕状溶岩の産状を残し（図6）、化学組成は中央海嶺玄武岩の特徴を示す（知念ほか, 2004; 宮城ほか, 2013）。以上の事実から、琉球列島を含むユーラシア大陸東縁部では、100Ma 頃に起こったとされるクラ-太平洋中央海嶺の沈み込みが、当時のマグマ生成と慶良間諸島の付加体の形成に大きな影響を及ぼしたと考えられる。

以上をまとめると、慶良間諸島の成り立ちは次のように考えることができる。約1億年前、クラ-太平洋中央海嶺が沈み込む当時の大陸縁辺（図11：平1990）の海底では、砂泥の堆積とともに玄武岩質溶岩が噴出した。砂の起源は大陸の珪長質火成岩体であり、それが侵食され砂となり、運搬され、海洋拡大軸近傍で噴出した枕状溶岩の上に堆積した。玄武岩は後に変質して緑色岩となった。その後大陸が

らの分離とプレートの沈み込みに伴う地殻変動によって、緑色岩・砂岩・泥質岩の地層は激しい変形作用を被った。この一連の造構運動で薄い砂岩にはブーディン構造が発達し脈状砂岩が形成されたと考えられる。そして、次第に現在のような慶良間諸島の基盤となる岩石が形成されていった。

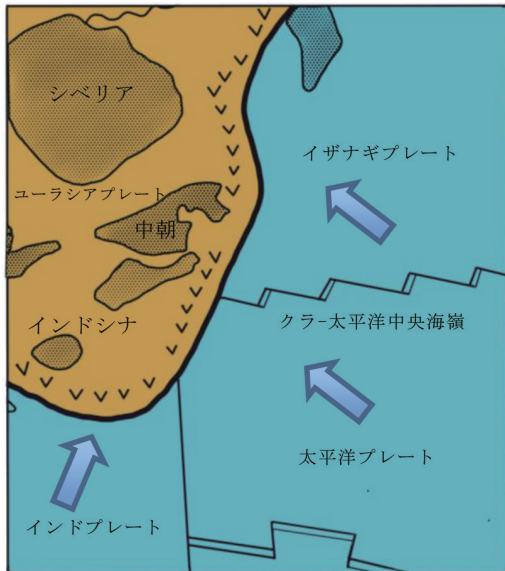


図11 白亜紀9000万年前のアジア平 (1990) の図を改変

その後の200万年前以降の慶良間諸島の成り立ちについては、木崎 (1992)、沖縄県教育委員会 (2006) が次のように説明している。慶良間諸島の島々は、沖縄島から久米島あたりまで続く高い山地の中心にあり、その後の地殻変動に伴って次第に海底下へ沈降し、現在のようなリアス海岸をもつ多島海の島々が形成された (図12, 木崎1992)。

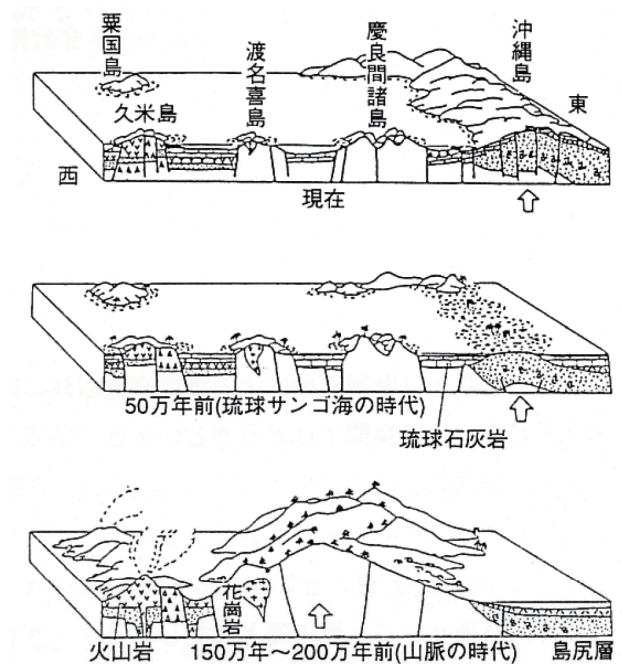


図12 慶良間諸島の沈降のプロセス 木崎 (1992)

6. 結論

- (1) 慶良間諸島の主な地質は砂岩、緑色岩、黒色千枚岩・粘板岩からなる。
- (2) 砂岩の産状は塊状と脈状の2種が存在する。
- (3) 脈状に産する砂岩は慶留間島、阿嘉島西側の後原海岸と阿嘉島南の砂白島、屋嘉比島の西側から南の海岸に分布する。
- (4) 慶良間諸島の砂岩は片状砂岩と呼ばれ、脈状の砂岩はより緻密で結晶質である。
- (5) 脈状砂岩の形成時期は、接する緑色岩との関係から緑色岩の原岩（玄武岩質溶岩等）の堆積とほぼ同時期と考えられる。
- (6) 碎屑性ジルコンの年代測定の予察的な結果をみると、110 Maくらいの堆積年代である。これは、知念ほか(2004)で推測された年代とほぼ一致する。
- (7) 緑色岩（枕状溶岩）と砂岩が互層した地質体は、緑色岩の噴出環境下で、砂質堆積物の供給があったことを示しており、そのような場所は陸に近い場所、海溝付近が想定される。
- (8) 緑色岩と砂岩が共存する事実と、先行研究によって明らかにされた緑色岩の組成は、海溝付近で中央海嶺玄武岩の活動があったことを示唆している。

(9) 脈状砂岩が細く引き伸ばされたり、ぶつ切りになったりと、多様な変形の仕方は、緑色岩と砂岩が互層し堆積した地質体が、その後の変形を受けて生じたブーディン構造と考えられる。

7. おわりに

今後は年代測定データの解析など詳細な研究が必要である。本調査域の露頭は、枕状溶岩の産状、砂岩とともに存在する「現地性緑色岩」の証拠、様々なスケール（オーダー）の変形構造が観察され、地質学的に大変重要である。将来は解釈のスケッチを含む案内板を立てるなどして、気軽に地質が学べる場としてはどうだろうか。

8. 謝辞

本研究の野外調査や試料の採取にあたり、環境省慶良間自然保護官事務所の皆様をはじめ、阿嘉島さんごゆんたく館の村石健一氏、座間味村教育委員会の垣花佑氏ほか、慶良間諸島の多くの皆様に便宜を図っていただきました。また分析試料の採取や調査には知念正昭氏、宮城直樹氏にご協力いただきました。顕微鏡下での鉱物同定には神谷厚昭氏と琉球大学名誉教授の故木崎甲子郎氏にご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

なお本稿の碎屑性ジルコンの年代測定および微量元素分析は、琉球大学理学部物質地球科学科地学系の仲村渠聖也の卒業研究に基づく。

9. 引用文献

知念正昭・新城竜一・加藤祐三. 2004 琉球列島四万十帯中の現地性緑色岩の産状と化学組成. 岩石鉱物科学, 33, 208-220.
Flint, D. E. 1954 Mineral resources of the Ryukyu Retto. Geol. Surv. Branch, Intell Div. Emg. HQ, USAF, Far East, 125p.
Gu, H. O., Xiao, Y., Santosh, M., Li, W. Y., Yang, X., Pack, A., Hou, Z. 2013 Spatial and temporal distribution of Mesozoic adakitic rocks along the Tan-Lu fault, Eastern China: constraints on the initiation of lithospheric thinning. Lithos, 177, 352-365.
橋本光男. 1978 奄美大島より慶良間諸島に至る地域

の緑色岩. 琉球列島の地質学研究, 第3巻, 19-22
Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L., Belousova, E. A. 2004 The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. Chem. Geol., 211, 47-69.
鹿島愛彦・高橋治郎. 1978 琉球弧、慶良間列島の地質. 琉球列島の地質学研究, 第3巻, 31-38.
木崎甲子郎編著. 1985 琉球弧の地質誌. 沖縄タイムス社
木崎甲子郎・山本聡. 1985 琉球弧の地質誌. ⅢB-11. 慶良間諸島, 沖縄タイムス社
木崎甲子郎. 1992 みどりいし. (3) 1-2
Konishi, K., Ishibashi, T., Tsuruyama, K. 1973 Find of nummulites orthoquartzitic pebbles from the Eocene turbidites in Shimajiri belt. Okinawa. Sci. Rep. Kanazawa Univ. 18, 43-53.
宮城直樹・馬場壮太郎・新城竜一. 2013 沖縄島および周辺諸島に分布する先新第三系基盤岩類の全岩化学組成と碎屑性ザクロ石化学組成. 地質学雑誌, 119, 665-678.
沖縄県教育委員会. 2006 沖縄県史図説編 県土のすがた
Padilla, A. J., Miller, C. F., Carley, T. L., Economos, R. C., Schmitt, A. K., Coble, M. A., Wooden, J. L., Fisher, C. M., Vervoort, J. D., Hanchar, J. M. 2016 Elucidating the magmatic history of the Austurhorn silicic intrusive complex (southeast Iceland) using zircon elemental and isotopic geochemistry and geochronology. Contrib. Mineral. Petrol., 171, 69.
Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J., Hergt, J. 2011 Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. J. Anal. At. Spectrom., 26, 2508-2518.
志村侑亮・常盤哲也・竹内 誠・山本鋼志. 2017 紀伊半島中央部に分布する四万十帯白亜系麦谷層の地質と碎屑性ジルコンU-Pb年代. 地質学雑誌, 123, 925-937.
志村侑亮・竹内 誠・常盤哲也・太田明里. 2020 紀伊半島中央部に分布する四万十帯白亜系東川コンプレックスから得られた碎屑性ジルコンU-Pb年

- 代. 地質学雑誌. 126, 223-230.
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D. J., Crowley, J. L., Gerdes, A., Hanchar, J. M., Horstwood, M. S. A., Morris, G. A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M. N., Whitehouse, M. J. 2008 Plešovice zircon - A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chem. Geol.*, 249, 1-35.
- 平朝彦. 1990 日本列島の誕生. 岩波新書
- Taira, A., Okada, H., Whitaker, J. H., Smith, A. J. 1982 The Shimanto Belt of Japan: Cretaceous-lower Miocene active-margin sedimentation. Geological Society, London, Special Publications. Vol. 10, 5-26.
- 宇佐美賢・宮城宏之. 2017 阿嘉島、慶留間島の地質とジオツアー. 沖縄県立博物館・美術館 博物館紀要, No.10, pp. 1-6.
- Vermeesch, P. 2018 IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. *Geosci. Frontiers*, 9, 1479-1493.
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J. C., Spiegel, W. 1995 Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Newslett.*, 19, 1-23.
- Wu, J. T.-J., Jahn, B., Nechaev, V., Chashchin, A., Popov, V., Yokoyama, K., Tsutsumi, Y. 2017 Geochemical characteristics and petrogenesis of adakites in the Sikhote-Alin area, Russian Far East. *J. Asian Earth Sci.*, 145, 512-529.
- 座間味村史. 1989 座間味村史編集委員会
- Zhao, P., Jahn, B., Xu, B. 2017 Elemental and Sr-Nd isotopic geochemistry of Cretaceous to Early Paleogene granites and volcanic rocks in the Sikhote-Alin Orogenic Belt (Russian Far East) : implications for the regional tectonic evolution. *J. Asian Earth Sci.*, 146, 383-401.
- Zhang, J., Zhao, Z., Zheng, Y., Dai, M., 2010. Postcollisional magmatism: geochemical constraints on the petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Sulu orogen, China. *Lithos* 119, 512-536.