

沖縄の「碧い海」の下の地質調査

荒井晃作¹⁾

1. はじめに

産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、地質情報の整備の一環として海洋地質調査を行っています。地質調査所時代から約40年に渡って行われてきた海洋地質調査は、日本の主要四島(本州・北海道・九州・四国)周辺の20万分の1海洋地質図作成のための調査を2006年度に終了しました。その後、海域の地質情報の整備の主要な対象を琉球弧周辺海域とし、調査研究を進めています(ここでは、沖縄プロジェクトと呼びます)。この海域は単に地質情報の整備が十分でない海域というだけでなく、科学的にも重要な海域であり、また経済水域境界・資源をめぐっても注目を集めている海域です。沖縄プロジェクトでは、産総研による知的基盤整備の一環として海洋の地質情報を整備すべく、2008年度より琉球列島・沖縄トラフ及び東シナ海大陸棚において海洋地質調査を開始しています。まず始めに3年間かけて沖縄島周辺の調査を行いました。

沖縄島を含む琉球弧は、九州と台湾の間に位置する長さ約1,200 kmにもおよぶ島嶼の連なりであり、この島嶼の列は、フィリピン海プレートが琉球海溝に沿って沈み込むことによって形成された前弧斜面にできる高まりと言えます。琉球弧の北西側には沖縄トラフと呼ばれる活動的な背弧海盆が形成されています。琉球弧ならびに背弧海盆を形成した新生代テクトニクスに関しては、多くの研究が行われています(Sibuet *et al.*, 1998 や Park *et al.*, 1998 など)、未だ全体像が把握できていない状況です。これまでの琉球弧の地質層序や構造発達史に関する地質学的研究の多くは、海に隠されていない島嶼部の陸上調査をもとにして議論されていますが、このエリアをもっと理解するためには海域の地質調査は必須と考えます。沖縄プロジェクトでは、この様な背景を受けて計画を立てました。読者の皆さんが思い浮かべる沖縄という澄みきったサンゴ礁の周りの「碧い海」の海底下に発達する地質情報整備を計画立案した時には、何度も打ち合わせを行いプロジェクトの進め方を議論しました。その内容を地質ニュースに特集号としてまとめました(荒井・西村, 2007 など)。

本論では、2008-2010年度に沖縄島周辺海域で行ってきた海洋地質調査の成果の一部を紹介させていただきます。

2. 音を使って海底面下を調べる

産総研の海洋地質図シリーズは海底面の堆積物の様子を描いた表層堆積図と海底面下の様子を描いた海底地質図(海底地質図には重・磁力異常図もセットで作られています)の2種類を出版してきました。沖縄プロジェクトからは、利用者の利便性を良くするために、この2種類の図面をセットで出版することにしました。本論では、海底地質図のために新たに取得した反射法音波探査(以下、音波探査)の成果の一部をもとにして、沖縄島の前弧斜面域に認められる地質構造の特徴を紹介させていただきます。

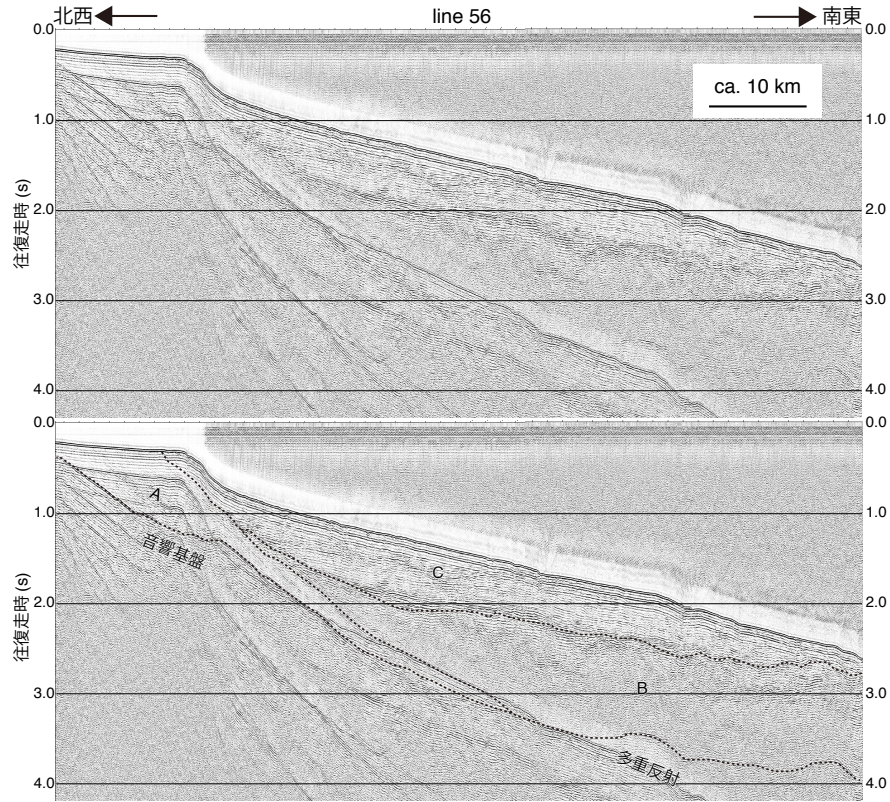
音波探査は、海底面下の地層の様子を調べる基本的な方法の一つになります。調査船は予め設定した測線上を一定速度で航走し、エアガンと呼ばれる圧縮空気を用いた人工音源を、電磁弁でコントロールすることによって一定の間隔で発振を繰り返します。海底面や海底面下の地層面から屈折・反射して戻ってくる音をストリーマケーブルと呼ばれる受波装置で受け取ります。これによって実際には見ることのできない海底面下の地層の重なり方を調べることができます(第1図)。地層の重なり方が分かると、地層境界や地層の変形(褶曲構造や断層)の分布や形状、ずれの大きさを知ることができます。産総研で行う音波探査は、島弧や海溝軸の方向に直交する測線を2マイル間隔(約3.7 km)、その測線と直交する方向の測線を4マイル間隔(約7.4 km)で設定して(第2図)、高密度のデータの取得を行っています。この画一的なグリッド状の海洋地質調査を実施することによって、これまで分かっていた地質構造以外に存在する、活動的な構造の分布を見落とさないように努めています。

3. 沖縄島の地質構造と層序

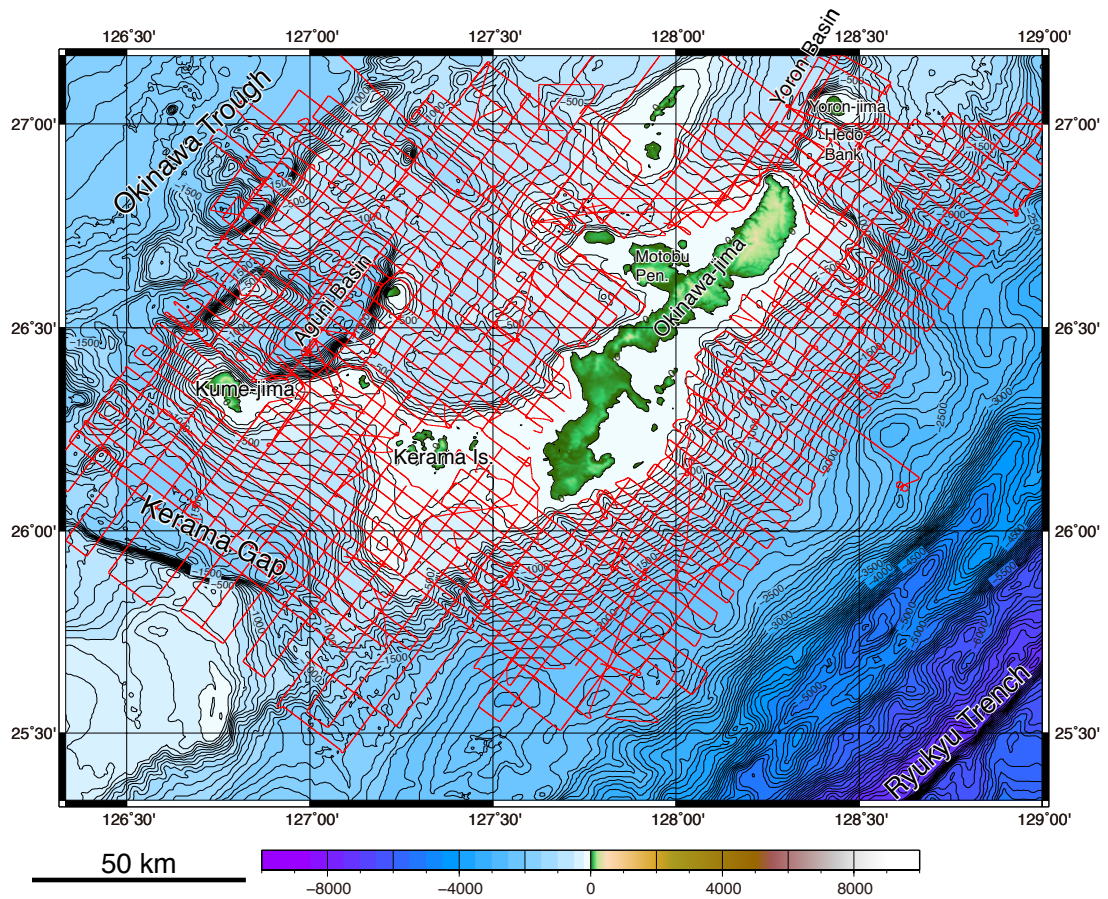
まず、沖縄島南東沖の地質構造について概略を述べたいと思います。第1図は沖縄島北部の南東斜面の前弧斜面

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

キーワード：海洋地質図、海底地質、沖縄、琉球弧、反射法音波探査、地質層序、地質構造、テクトニクス



第1図 海洋地質図作成のための16チャンネル音波探査断面
 沖縄島北部の前弧斜面上部の北西-南東方向の断面。A, B, Cは区分したグループを示す。



第2図 沖縄島周辺の地質調査を行った調査測線

上部において典型的な音波探査断面です。ここで分かるのは、連続的に堆積していない面(不整合面)が存在していることです。その上位の地層は下位の地層にぶつかるように堆積していることが分かります。このような不整合面とその連続する面を追跡して、地層をいくつかのグループに分けます。沖縄島南部周辺海域に発達する地層は大まかには5つのグループに分けられ、それらの地質層序を確立しました(荒井ほか, 2018)。

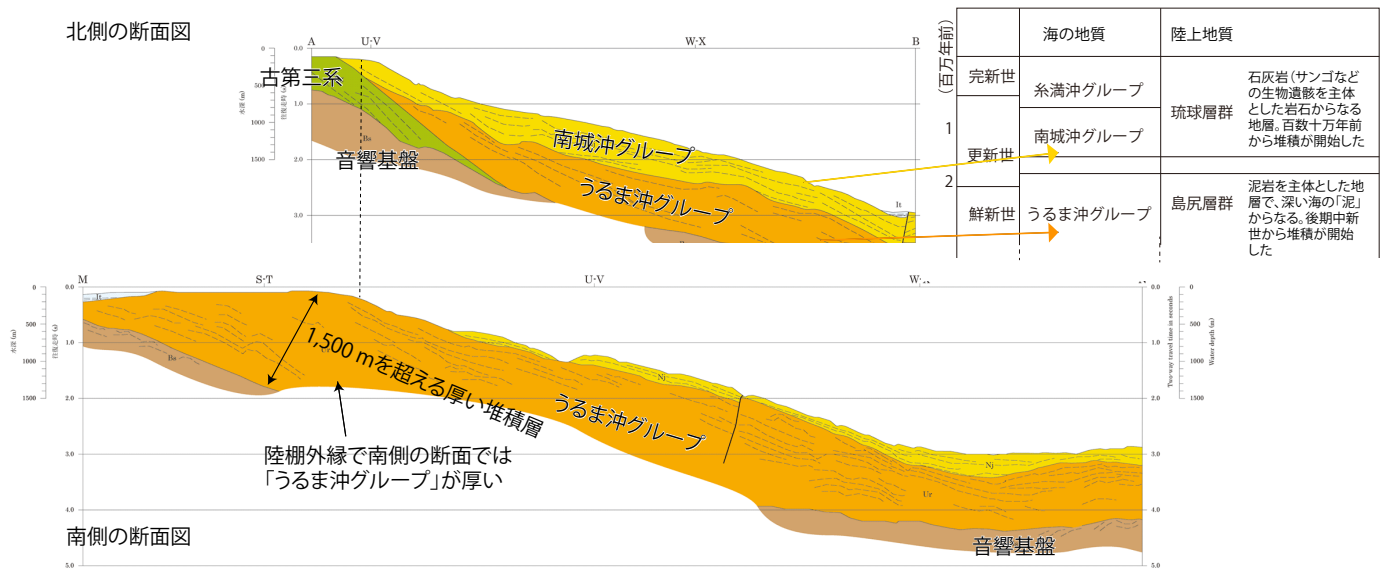
同時に、沖縄島周辺の地質構造を音波探査断面から検討しました。地層の食い違いを示すような明瞭な断層はこの断面図ではあまり認められません。また、圧縮されて曲がったような地層の変形(褶曲構造)も見つかりませんでした。私たちの調査は海溝軸に近い深い海底面下は見えていませんので、前弧斜面上部の地質構造の議論にとどまりますが、島弧からの海溝に向かう方向の斜面において、フィリピン海プレートの沈み込みに伴って圧縮された地層は存在していないと考えられます。むしろ、前弧斜面上部においては、多数の島弧を切る断層運動が陸に近い浅海域にも発達していることが明らかになりました(Arai et al., 2018)。これらの断層の活動は津波を発生させる可能性もあるので、今後、より詳細な断層の分布や活動度を明らかにする必要があります。

4. 沖縄島周辺海域の発達メカニズム

さて、地質層序の詳細は荒井ほか(2018)に詳しく述べられています。ここで第3図中のオレンジ色で示され

る「うるま沖グループ」に関して議論します。うるま沖グループは成層した堆積層です。沖縄島南方沖では非常に厚く1,500 mを超える堆積層が大規模に発達していることが分かりました(第3図の下図)。これは本地質図と隣接した沖縄島北部周辺海域(荒井ほか, 2015)との大きな相違点と言えます。沖縄島北部周辺海域では、第3図の上図の様な模式断面で特徴づけられます。うるま沖グループは、沖縄島北部沖の方では堆積していますが、陸に近い浅いエリアにはこの地層が認められません。うるま沖グループの堆積層は、石灰質ナンノ化石年代解析によって(例えば、田中, 2009)、沖縄島南部陸域に分布する島尻層群に相当することが分かりました(荒井ほか, 2018)。

沖縄島の北部と南部は陸上の地質層序も相違点が認められることは知られていました(中江ほか, 2010)。ここで、後期中新世以降の沖縄島北部と南部に何が起こっていたのかを議論します。まず、沖縄島周辺海域に認められる基盤岩(音響基盤)の分布を見ます。ここで言う音響基盤は、音響的に強い反射面が連続的に見えて、それ以下の地層がよく見えない層準より下の地層とします。音響基盤が海底面の浅いところに露出しているエリアは、沖縄島残波岬の南から慶良間諸島の方に続いていることが分かりました。沖縄島北部では音響基盤の露出は辺戸岬から鹿児島県与論島の方に続きます。このことは、当時に形成された島弧の並びは、沖縄島南部では現在とは違っていたことを示しています。この島弧の並びの違いが、沖縄島南部陸域を含む広い範囲で厚い堆積層を生じさせたと考えられました。すなわち、フィリピン海プレートの沈み込みや沖縄トラフ



第3図 沖縄島北部と南部における模式断面図

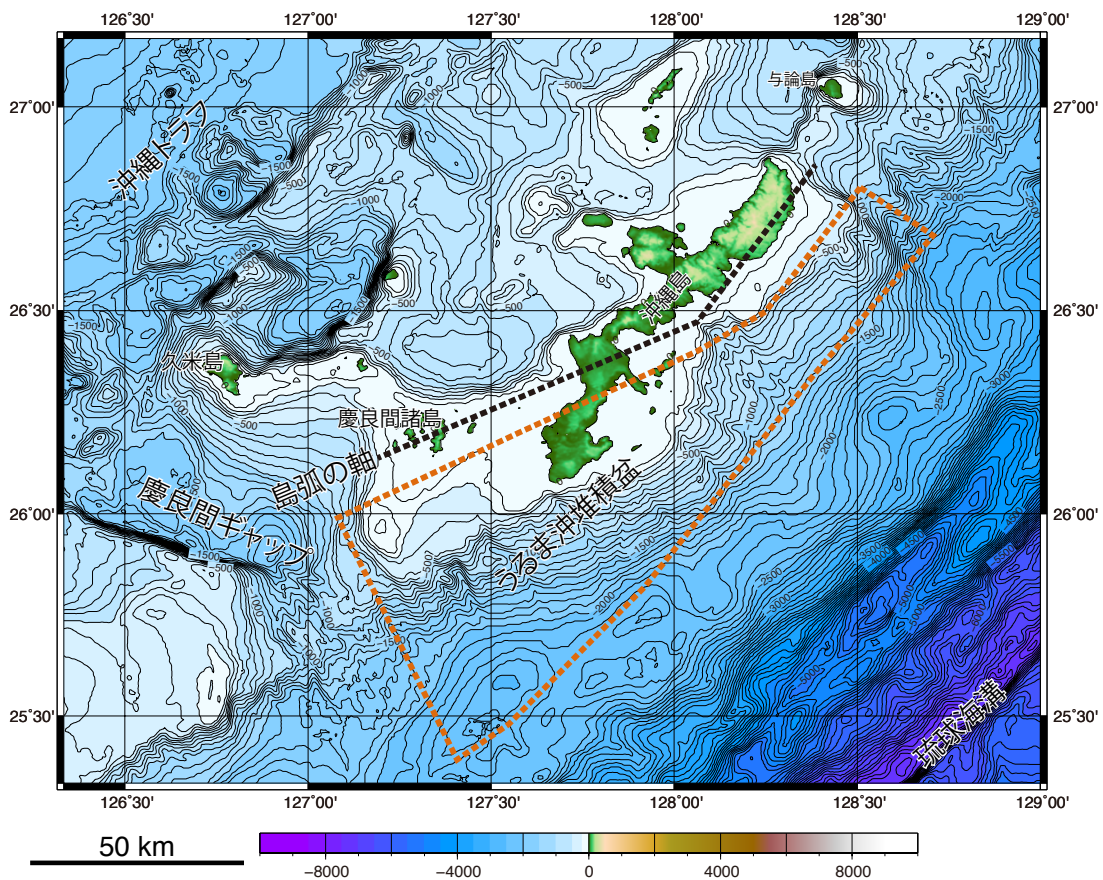
のリフティングの活動に伴う、後期中新世以降に生じた琉球弧の構造的な変形が起こり、プレート沈み込み境界の上盤側のプレート上の斜面域に形成される凹地状の地形(前弧海盆と呼びます)に、厚い堆積物をためる環境が形成されたと考えられます。第4図に後期中新世以降の島弧の軸の位置と厚い堆積層のたまった位置を示します。前弧海盆の位置は沖縄島の南部とその周辺海域に広がっていたと考えています。

これらの現象を模式的に図化しました(第5図)。上の図が、後期中新世以降で琉球層群に相当する地層が堆積開始する前の時代の沖縄島周辺の模式的な断面です。前弧海盆は、沖縄島南部の島弧の前縁部に形成され、現在の沈み込み境界で堆積物がたまる場所を形成します。一方、島の北部ではこの様な環境にはなりません。うま沖グループ(陸域の島尻層群相当層)の「堆積の場」の形成史において、この前弧海盆が重要な役割を果たしていたはずですが、その後、現在に至るプロセスで南部が隆起して今の沖縄島の配列になります。堆積の場は解消され、厚くたまった堆積物は広く陸上に露出したと考えています。

沖縄島南部や宮古島などの陸上で分布する島尻層群は水溶性天然ガスの賦存域である可能性が高く、注目されている地層です。水溶性天然ガスが賦存する可能性が指摘されている厚い堆積物の発達メカニズムが、海洋調査から明らかにされました。

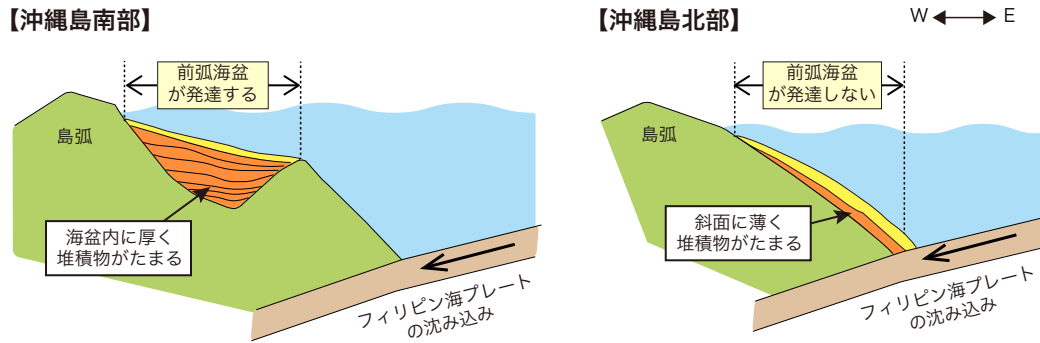
5. おわりに

ここまで述べてきたように、蒼い海の下の地質層序学的な解析から、後期中新世以降の沖縄島の発達史の理解が一段進みました。このあと、どの様に現在の海に変わってきたのかは、また別の機会に書きたいと思います。前弧海盆ができて、そこに泥が厚くたまった歴史から、サンゴ礁が形成される現在の蒼い海に至る歴史は大変興味深いところです。最後になりますが、沖縄プロジェクトは2008年度にスタートして、中琉球の調査を北に進み奄美大島周辺の調査を行いました。その後、調査エリアを南琉球に変え、2019年度は石垣島・西表島周辺の調査を行っています。今後これらの地質情報の整備を進めていく予定です。

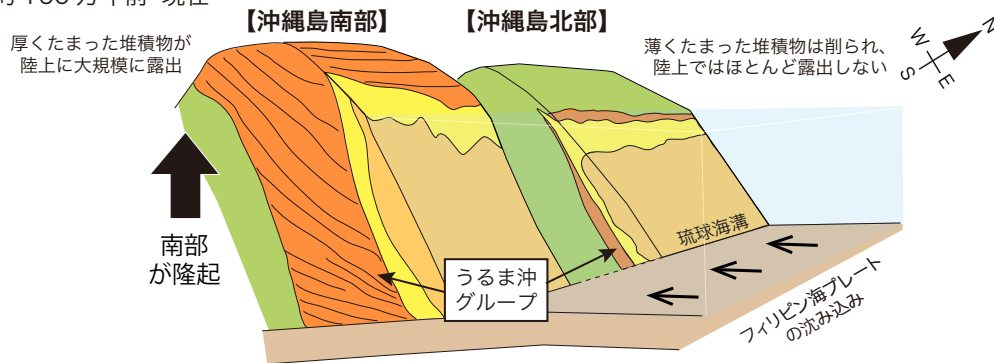


第4図 後期中新世以降の沖縄周辺の堆積盆の分布域

A：約500-600万年前~約160万年前



B：約160万年前~現在



第5図 後期中新世以降の沖縄周辺海域の発達史の模式図

謝辞：本研究は産業技術総合研究所が進める海洋地質プロジェクトの一環として実施されたGH08～10航海に取得したデータをもとにしています。プロジェクトに参加・協力を頂きました皆様、特に第2白嶺丸によるGH08～10航海の乗船研究者には、様々なご協力を頂きました。航海を安全に進めて頂いた二見洋船長を始めとする「第2白嶺丸」乗組員には献身的なご協力を頂きました。

文献

荒井晃作・西村 昭 (2007) 沖縄海域の調査に向けて—特集号のはじめに—, 地質ニュース, no. 633, 10.
 荒井晃作・佐藤智之・井上卓彦 (2015) 沖縄島北部周辺海域海底地質図. 海洋地質図, no. 85 (DVD), 産総研地質調査総合センター.
 荒井晃作・井上卓彦・佐藤智之 (2018) 沖縄島南部周辺海域海底地質図. 海洋地質図, no. 90 (CD), 産総研地質調査総合センター.
 Arai, K., Inoue, T. and Sato, T. (2018) High-density surveys conducted to reveal active deformations of the upper forearc slope along the Ryukyu Trench, western Pacific, Japan. *Progress in Earth and Planet. Sci.*

doi:10.1186/s40645-018-0199-0

中江 訓・兼子尚知・宮崎一博・大野哲二・駒澤正夫 (2010) 20万分の1地質図幅「与論島及び那覇」, 産総研地質調査総合センター.
 Park, J.-O., Tokuyama, H., Shinohara M., Suyehiro, K. and Taita, A. (1998) Seismic record of tectonic evolution and backarc rifting in the southern Ryukyu island arc system. *Tectonophysics*, 294, 21-42.
 Sibuet, J.-C., Deffontaines, B., Hsu, S.K., Thareau, N., LeFormal, J.P., Liu, C.S. and ACT Party (1998) Okinawa trough backarc basin: Early tectonic and magnetic evolution. *J. Geophys. Res.*, 103, 30245-30267.
 田中裕一郎 (2009) 沖縄本島東方沖で採取された海底堆積物の石灰質ナノ化石による年代分析. 荒井晃作 (編), 「沖縄周辺海域の海洋地質学的研究」平成20年度研究概要報告書—沖縄島東方沖海域—, 産総研地質調査総合センター速報, no. 46, 93-95.

ARAI Kohsaku (2019) Marine geology under the clear tropical water vicinity of the Okinawa Island.

(受付：2019年1月15日)