

北部琉球弧の高分解能音波探査

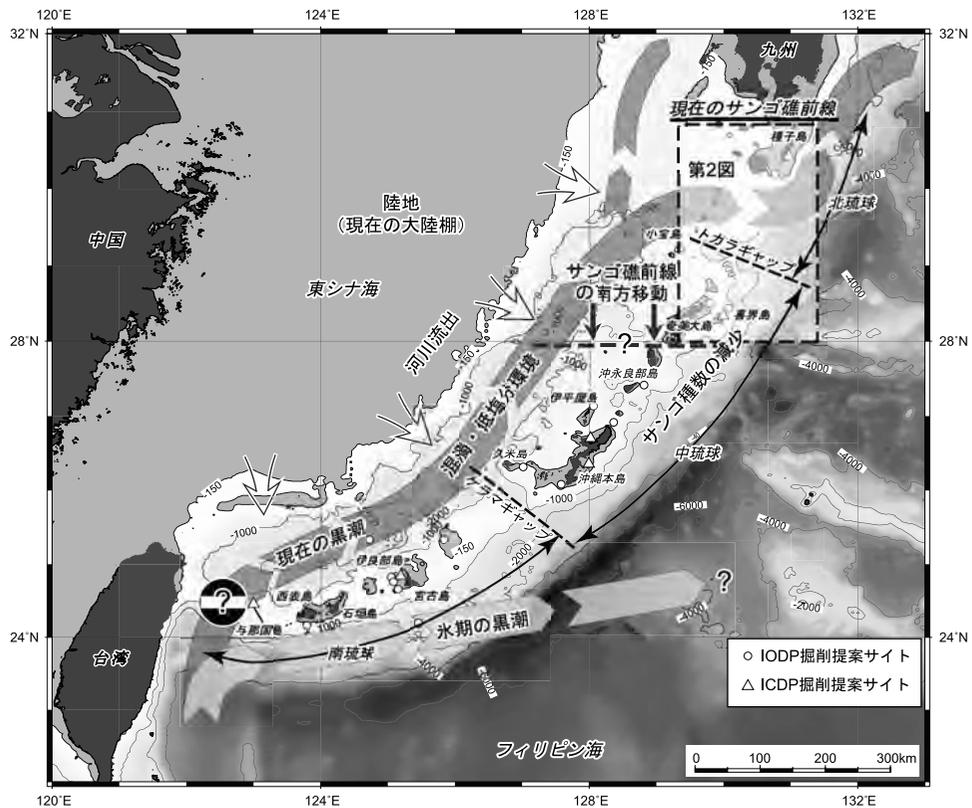
荒井 晃作¹⁾・松田 博貴²⁾・町山 栄章³⁾

1. はじめに

2005年8月に海洋研究開発機構の調査船「なつしま」を使用した高分解能音波探査が、種子島～奄美大島周辺海域で実施されました。この調査航海(NT05-14航海)では、「IODP琉球サンゴ礁掘削のためのサイトサーベイ」という課題のもと、当該海域における第四紀堆積物の分布と発達様式の解明を目的と

しました。

本調査課題を含む、琉球弧を対象としたサンゴ礁科学掘削の実施を目指す研究計画については、Iryu *et al.* (2006) によって詳しく紹介されています。COREF (coral-reef front) Project と呼称されるこの研究計画では、サンゴ礁分布の北限・南限(「サンゴ礁前線 (coral-reef front)」と呼ぶ)の移動の復元に基づく、亜熱帯域における気候および浅海環境の変動の



第1図 琉球弧における氷期と現在のサンゴ礁の分布と海洋条件の変化に関する概念図 (Iryu *et al.*, 2006 に加筆)。

1) 産総研 地質情報研究部門
2) 熊本大学 理学部
3) 海洋研究開発機構 高知コア研究所

キーワード: 高分解能音波探査, 北部琉球弧, 第四紀, サンゴ礁, 堆積体

詳細な復元と、様々な時間スケールの環境変動に対するサンゴ礁生態系の応答の解明を目的としています。サンゴ礁性堆積物は高精度・高分解能の古環境推定に極めて有用ですが、なかでもサンゴ礁前線付近に位置するものは、熱帯低緯度のサンゴ礁分布中心域のものに比べ、環境の変化に対してより敏感に応答し、成立・発達・消滅を繰り返していたと推定されるからです。ここにサンゴ礁前線が着目される理由があります。

現在の沖縄周辺海域においてサンゴ礁の発達できる北限は、北緯30度より少し北の種子島付近です。しかし、寒冷化した氷期には、黒潮の流路が現在とは異なっていたことなどにより、サンゴ礁はもっと南側にしか発達できなかったのではないかと考えられます(第1図)。サンゴ礁が発達できる北限はどこにあったのか? COREF Projectの事前研究としてこの点を明らかにすべく奄美大島～種子島周辺海域が調査されました。科学的な成果については別途公表する予定ですので、本稿ではArai *et al.* (2006)に基づき調査概要を簡単に報告します。そして、産総研で沖縄海域の地質調査を開始するにあたって、今回の調査を踏まえた高分解能音波探査の必要性と問題点、そしてその応用と今後の展望について、まとめたいと思います。

2. 調査方法

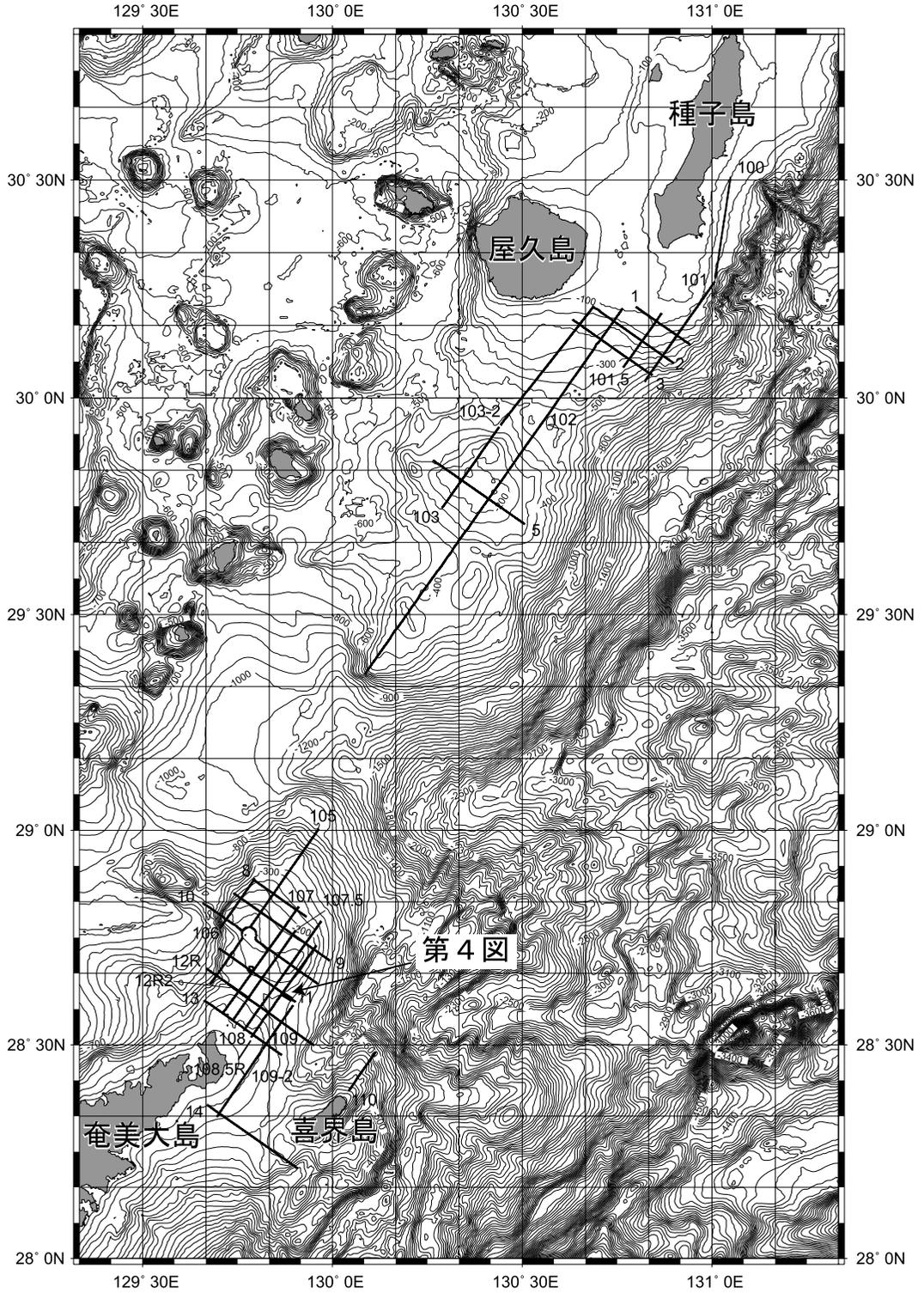
NT05-14航海では、第2図に示す種子島南方～奄美大島北方海域で、全28測線、総測線長783.8kmのシングルチャンネル音波探査(SCS)断面が取得されました。また同時に、全測線においてSEABAT8160(マルチビーム音響測深機)による海底地形データを取得しました。高分解能音波探査システムは、海洋研究開発機構の地球深部探査センター(CDEX)が所有するものを使用しました。音源は米国BOLT社製のクラスターガン(Bolt 2800LLX Cluster Gun: 20立方インチを2連結)を用いました(第3図)。このガンは、圧縮空気を貯めるチャンバーが小型のため音源の威力は小さいのですが、高い周波数の音波を発振することができます。現在、産総研の海洋地質調査で使用している米国SEISMIC SYSTEMS社製GI-355型(ジェネレーター250立方インチ:インジェクター105立方インチ)のGIガン(岡村ほか, 1998)やBOLT社製のBOLT

1900Cエアガン(120立方インチ)等よりも1桁程度高い周波数の音源になります。ストリーマケーブルはSeamap社製のシングルチャンネルケーブル及びS.I.G社製のシングルチャンネルケーブルを使用しました。ストリーマケーブルは水深約2m、ガンは約1.5mの深さを維持しながら、約2.5～5ノットの速力で曳航し、ショット間隔は4秒間隔(約5.1～10.2m間隔)に設定して調査を実施しました。データの収録はサンプリング間隔0.5msでサンプリング長は3秒でした。受信データはデジタル探鉱器でSEG-Y形式にて収録し、その後、信号処理ソフトを用いて解析を行いました。

3. 奄美海脚の音波探査断面

第4図に本調査で得られた音波探査断面の一例を示します。全測線において当初目的にある表層堆積物、特に琉球石灰岩を含む第四紀堆積物に関して、比較的良好な高解像度記録が得られました。種子島東方海域では、一部を除き、表層堆積物はきわめて乏しく、強反射面で特徴づけられる音響基盤が直接露出していることがわかりました。

奄美大島北方の奄美海脚では、東西二軸に分かれる音響基盤の高まりが存在しています。その間を新しいやや傾斜した反射面を持つ地層が覆い、さらにそれらをより新しい堆積物が薄く覆っています。本地域の表層部を覆う薄い比較的明瞭な反射面を持つ堆積物は、奄美大島北側の島棚ならびに奄美海脚両側の島棚斜面で比較的に厚く、北西側では往復走時で0.4秒(地中の音速を1,500m/sと仮定すると、厚さ約300m)に達しています。北東側の緩やかな北傾斜を示す部分では、その層厚は最大0.1秒(約75mに相当)に達しています。またこれらの堆積物中には、乱雑な反射を示す小規模なマウンド状堆積体(第4図)が認められることがわかりました。マウンド状堆積体は奄美海脚東側の島棚縁の水深100～140m付近、奄美大島北側の島棚と沖合側のバンクの間、ならびに喜界島南西沖に存在しています。堆積体は厚さ約15m、幅は400m程度の規模であることが記録からわかります。今後、もう少し解析していく必要がありますが、この様なマウンド状の堆積体は、最終氷期およびそれ以前に発達したサンゴ礁あるいは粗粒堆積物からなるバンクである可能性が考えられます。



第2図 NT05-14航海の調査測線図.



第3図 NT05-14航海で使用したクラスターガン。

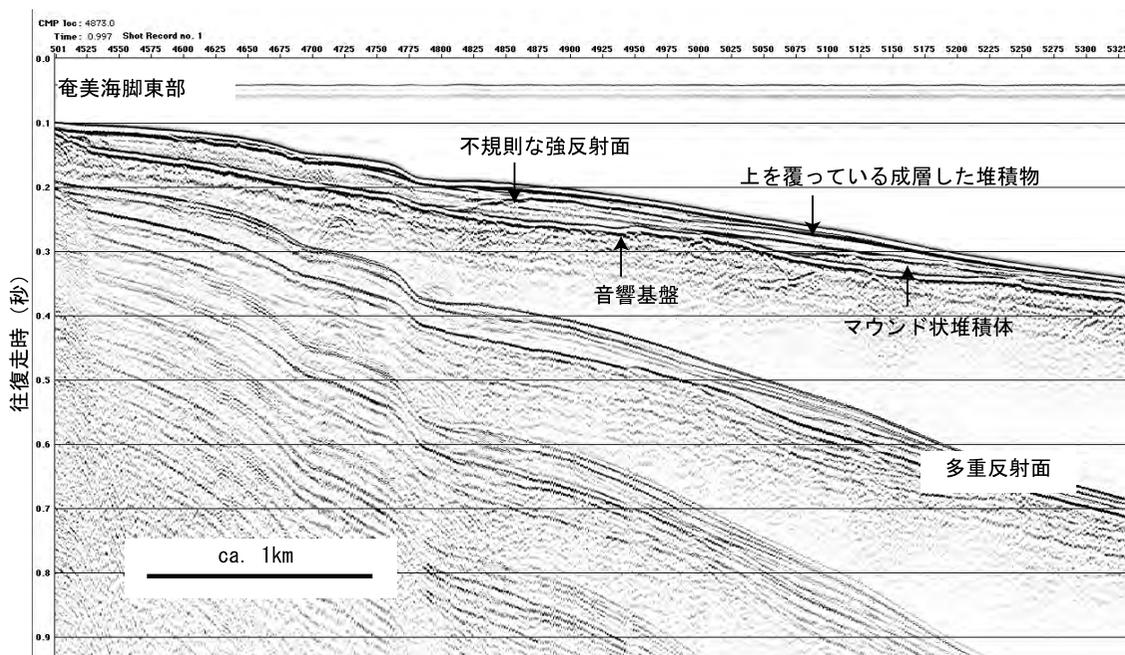
4. 高分解能音波探査

本稿で論じる「高分解能音波探査」とは、今回の北半球弧で使用したクラスターガンの卓越周波数である数100Hz～数千Hzの程度の調査のことです。先に述べましたが、産総研の海洋地質調査で使用しているGIガンの卓越周波数は数10Hz～100数十Hzです。例えば、音源50Hzの水中の1波長は30mになりますので、このガンを使った調査の垂直分解能は

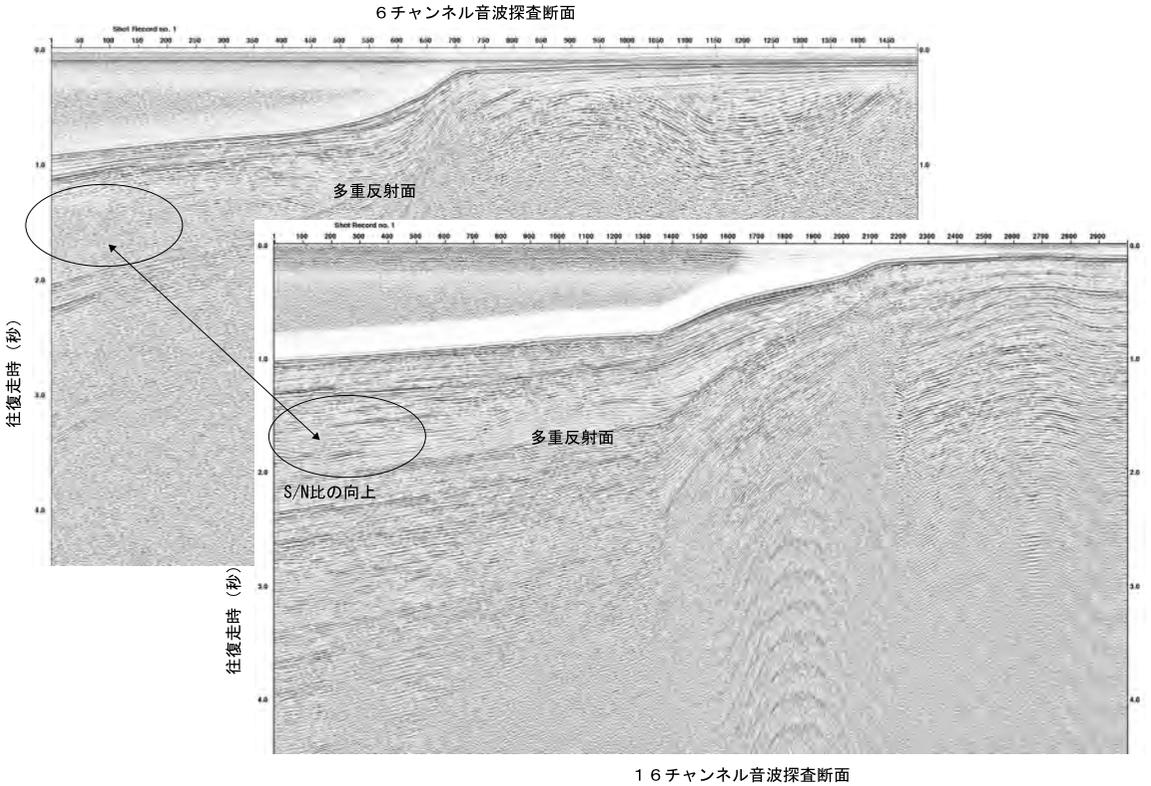
数十mであると考えられ、それより細かい構造は観察できません。一方、500Hzの音源を使えば、1波長は3mになります。奄美海脚上で、厚さ15m程のマウンドが観察できたのは、高分解能音波探査を行ったために可能になったと言えます。しかし、単純に周波数が高ければ良いというわけではありません。例えば、ユニブームやソノプローブ、あるいはサブボトムプロファイラーは数100Hz～10kHz以上の高い周波数の音波を発振できますが、逆に音源のエネルギーが低いため透過深度が制限されてしまいます。特に沖縄海域の島棚～斜面上は、生物骨格を主体とした粗い炭酸塩堆積物が主体であるため、エネルギーの減衰が大きいと言えます。このため透過深度と解像度の両方を検討して、調査目的に沿った調査観測機器を準備する必要があります。

5. 今後の課題と展望

沖縄周辺海域の海洋地質調査の実施にあたっては、地質構造の解析をする上で、従来の透過深度を有するGIガンを用いた音波探査を行う必要があります。特に島の周辺の褶曲や活断層を調べるためには、海底面下の地層の累重様式を精査する必要があ



第4図 奄美海脚の高分解能音波探査の音波探査断面。第2図に位置を示す。

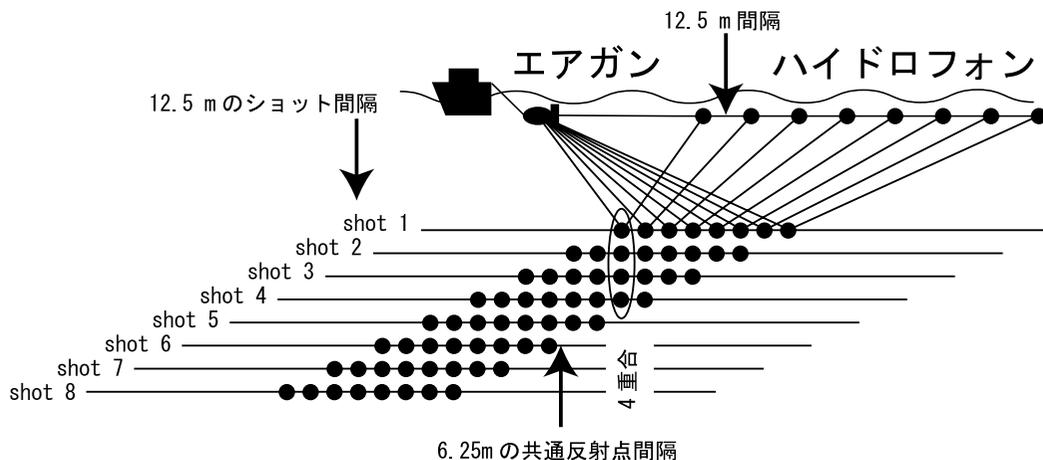


第5図 16ch マルチチャンネル音波探査断面と6ch マルチチャンネル音波探査断面の比較. GH06航海の記録.

ります。しかし、奄美大島北側と同様に、多くの島々周辺海域（浅海の島棚～深海斜面上）では、薄い第四紀の堆積物に覆われています。陸上で琉球石灰岩と呼ばれる（兼子，2007：本特集号など）石灰質の第四系の発達様式を正確に知るためには、高分解能音波探査が必須となることは上述の通りです。

ここで、少し新しい手法を提案しておこうと思います。NT05-14航海の高分解能音波探査に関しては、探査深度が限定されることによって、基盤の構造運動の様子が良くわかりませんでした。また、垂直方向のみでなく水平方向の分解能も向上するために、調査能率を落とさざるを得ませんでした。今後「20万分の1」地質図を作成するためには、もう少し効率よく調査を実施する必要があります。そこで、マルチチャンネルのストリーマケーブルを組み合わせることで、上記の問題点はある程度解決されると考えています。荒井ほか(2005)は、48chのデジタルストリーマケーブルを紹介し、その高速曳航の可能性を論じました。実際にGH06航海において、2セクション(16チャンネル)

のストリーマケーブルを8ノットで曳航し良好な記録を得ることができました(辻野ほか，2007)。マルチチャンネルの音波探査データは重合処理などの信号処理を行うことで、シグナル/ノイズ比(S/N比)を向上できます。例えば、第5図にGH06航海で収録した16チャンネルの音波探査と6チャンネルの音波探査のデータを比較します。両方の測線は約4.8マイル(約8.8km)離れていますが、地質的には似たような堆積体が発達しています。16チャンネルの断面の方が、より深い地層まで見えていることがわかります。さらに、S/N比が良いので、地層の反射面がより明確に見えます。また、産総研の所有しているデジタルストリーマケーブルは12.5m間隔で1つのチャンネルになっています。例えば、12.5m間隔でガンを発振した場合でも、データ取得間隔は6.25m間隔となり(第6図)、水平方向の分解能もNT05-14のシングルチャンネルに匹敵する探査が可能になるはずで、この場合は、GH06航海で使用したものの半分の8チャンネルのケーブルを曳航したとしても、4重合の信号処理ができることも第



第6図 マルチチャンネル音波探査(8チャンネル)の概念図. ショット間隔が12.5mでハイドロフォンの間隔も12.5mの場合には, 同じ共通反射点の記録を4回取れる. また, 共通反射点の間隔は6.25mになる.

6図からわかります. 具体的には, 3秒間隔でのショットを繰り返すとすれば, 約8ショットでの調査が可能になるという数字になります.

本稿は, 開始が予定されている沖縄海域の地質調査に向けて, 高分解能音波探査に特化してまとめました. 比較的浅い海域で薄い地層を観察するには高分解能音波探査は必要不可欠ですが, フィリピン海プレートの沈み込みに伴う活動的な構造運動を観察するには十分とは言えません. 既存のシステムの改良・機能向上を行った同時観測も必要です. ここでは, 新たな可能性の一部を示したに過ぎません. 今後, 高分解能音波探査を実施することによって, これまで知り得なかった過去のサンゴ礁の発達開始時期やその発達過程などの浅海域の歴史を紐解く鍵が得られることと期待されます.

謝辞: 独立行政法人海洋研究開発機構の調査船「なつしま」によるNT05-14航海を実施するにあたり, 海洋研究開発機構研究支援部(現海洋工学センター)の皆さん, 斎藤房夫船長はじめ乗組員の皆さんから多大な助力をいただきました. また, 観測にあたり, 熊本大学大学院自然科学研究科の柴田章太郎・水上治樹・水永泰介諸氏, および日本海洋事業株式会社の清水 賢氏をはじめ観測支援員の皆さんには, 24時間観測を遂行いただきました. NT05-14航海研究提案者である, 東北大学の井龍康文助教授, 石油天然ガス・金属鉱物資源機構の辻 喜弘博士には, 高分解

能音波探査の実施の機会を与えていただきました. また, 海洋研究開発機構地球深部探査センターには高分解能音波探査システムをお借りしました. ここに記して感謝いたします.

文 献

- Arai, K., Matsuda, H., Machiyama, H., Iryu, Y. and Tsuji, Y. (2006) : High resolution seismic survey on the northern Ryukyu Island Arc., 17th International Sedimentological Congress abstract, P-031.
- 荒井晃作・辻野 匠・岡村行信 (2005) : 48chデジタルストリーマープルによる根室沖および日高沖の音波探査. 「千島弧-東北日本弧会合部の海洋地質学的研究」平成16年度研究概要報告書-根室沖・日高沖海域-, 産総研地質調査総合センター速報, no. 33, 42-50.
- Iryu, Y., Matsuda, H., Machiyama, H., Piller, W.E., Quinn, T.M. and Mutti, M. (2006) : Introductory perspective on the COREF Project, Island Arc, 15, 393-406.
- 兼子尚知 (2007) : 沖縄島および琉球弧の新生界層序, 地質ニュース, no.633, 22-30.
- 岡村行信・荒井晃作・倉本真一・村上文敏 (1998) : 伊豆半島周辺-東海沖海域の海洋地質構造, 「東海沖海域の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究」平成9年度研究概要報告書, 地質調査所, 14-35.
- 辻野 匠・荒井晃作・井上卓彦 (2007) : 日高舟状海盆海域の音波探査, 「千島弧-東北日本弧会合部の海洋地質学的研究」平成18年度研究概要報告書-日高沖海域-, 産総研地質調査総合センター速報, 39, 24-44.

Arai Kohsaku, MATSUDA Hiroki and MACHIYAMA Hideaki (2007) : High resolution Seismic Survey on the northern Ryukyu Arc.

<受付: 2007年2月14日>