

— 報 告 —

「しんかい6500」に搭載されたサブボトムプロファイラを用いた マリアナトラフ背弧拡大軸付近の表層堆積物観察

小池 悠己^{1*}, 富士原 敏也², 海野 進³, 浅田 美穂⁴, 岡田 聡⁵

マリアナトラフ背弧拡大軸17°N付近では、枕状溶岩とシート状溶岩の2種が分布しており、それぞれ拡大軸谷端、中央に分布している。これらは、溶岩噴出量の違いを示唆しているとともに、形成年代の変化も示している可能性がある。本稿では、YK08-08 Leg.1航海で行われた、「しんかい6500」に搭載したサブボトムプロファイラの観測結果を報告する。行われた3潜航（拡大軸西側斜面でのDive #1088と#1090、拡大軸東側斜面での#1089）のSBPデータと潜水船外写真を照らし合わせ、表層堆積物を観測した。その結果、#1088は、表層堆積物をほとんど認識できないことから、新しい溶岩流であることが推定できた。#1089は、堆積層厚も明瞭に観測され、堆積層中に基盤面と平行な反射面も識別できた。#1090では、各地点の目視観察で堆積物の被覆を認識できたが、SBPでは堆積層厚を識別できなかった。したがって#1089の斜面より堆積層が薄いと考えられる。これら3潜航測線下の溶岩流は#1089、#1090、#1088付近の順に形成された可能性がある。

キーワード：マリアナトラフ背弧拡大軸、表層堆積物、サブボトムプロファイラ、しんかい6500

2008年7月24日受領；2008年9月30日受理

- 1 高知大学大学院理学研究科
- 2 海洋研究開発機構地球内部変動研究センター
- 3 金沢大学自然システム学系
- 4 東京大学海洋研究所
- 5 日本海洋事業

代表執筆者：

小池 悠己
高知大学大学院理学研究科自然環境科学専攻 / JAMSTEC: IFREE1研究生
〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島2-15
+81-46-867-9313
koike@jamstec.go.jp

著作権：独立行政法人海洋研究開発機構

– Report –

Observation of sediments in a back-arc basin spreading center of the Mariana Trough using a subbottom profiler installed on the *Shinkai 6500*

Yuki Koike^{1*}, Toshiya Fujiwara², Susumu Umino³, Miho Asada⁴, Satoshi Okada⁵

Both pillow and sheet lava flows are distributed in the Mariana Trough back-arc basin axis at 17°N. These flows suggest different eruption rates, and they may indicate age variation in the lava. In this report we present observational results of sediments using a subbottom profiler (SBP) installed on the *Shinkai 6500* during the YK08-08 Leg1 cruise. Observations from three dives (#1088 and #1089 on the western slope, #1090 on the eastern slope) with the SBP with visual observations and camera photos taken by the *Shinkai 6500* were conducted to observe sediment on the lava flows. We estimate that the lava flow is new in dive #1088 because the SBP and visual observation cannot find sediment cover. In dive #1089 the sedimentary layer can be observed distinctly; moreover we can find a reflection within the sedimentary layer parallel to the basement. In dive #1090 we can find sediment cover by visual observation, but cannot determine sediment thickness by SBP observation. We consider the sediment coating in the dive #1090 survey area to be thinner than that in dive #1089. Therefore, it is possible to consider that these lava flows formed in the order #1089, #1090, and #1088.

Keywords : Mariana Trough, sediment, sub-bottom profiler, *Shinkai 6500*

Received 24 July 2008 ; accepted 30 September 2008

- 1 Department of science, Kochi university
- 2 Institute for Research on Earth Evolution(IFREE), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology(JAMSTEC)
- 3 School of natural System, Kanazawa University
- 4 Ocean Research Institute, University of Tokyo
- 5 Marine Science Department, Nippon Marine Enterprises

Corresponding author:

Yuki Koike

Kochi university / Institute for Research on Earth Evolution(IFREE), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology(JAMSTEC)

2-15, Natsushima, Yokosuka, 237-0061, Japan

+81-46-867-9313

koike@jamstec.go.jp

Copyright by Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1. はじめに

背弧海盆における海底拡大に関する研究は、背弧下ウェッジマントル内でのマントル対流、背弧と島弧で生成されるマグマが相互作用する複合系の海洋リソスフェア形成を解明するのに重要である。ウェッジマントルでは、海洋プレート沈み込みによる強制流動とマントル深部からの逆流、拡大軸での2つの上盤プレートの分離による受動的流が複合したマントル対流が起こっている。背弧海盆は弧状に拡大していることから、マントル対流のジオメトリーが時間的、空間的に変化することが考えられる。また、それらに連動して背弧海盆下のマグマソースが変化することも考えられる。

マリアナトラフの17°Nセグメントは、そのような背弧

海盆拡大の特徴が現れている場所かもしれない (Fig.1)。中部マリアナトラフの背弧海盆拡大軸谷内で行われた深海曳航サイドスキャンソナーを用いた海底調査では、17°Nのセグメントでは滑らかな海底表面を推定させる後方散乱パターンと凸凹した表面を推定させるパターンの2パターンが確認された (Deschamps et al., 2005; Asada et al., 2007)。これら滑らかなパターン、凸凹なパターンはそれぞれシート状溶岩流、枕状溶岩流と推定され、マリアナトラフは両側3cm/yrという低速拡大であるにもかかわらず、噴出率が高いことを示唆するシート状溶岩が分布している。

地震波速度構造の結果からは、17°Nセグメント拡大軸付近の約30 kmの範囲で、トラフ内の平均より約2 km地殻

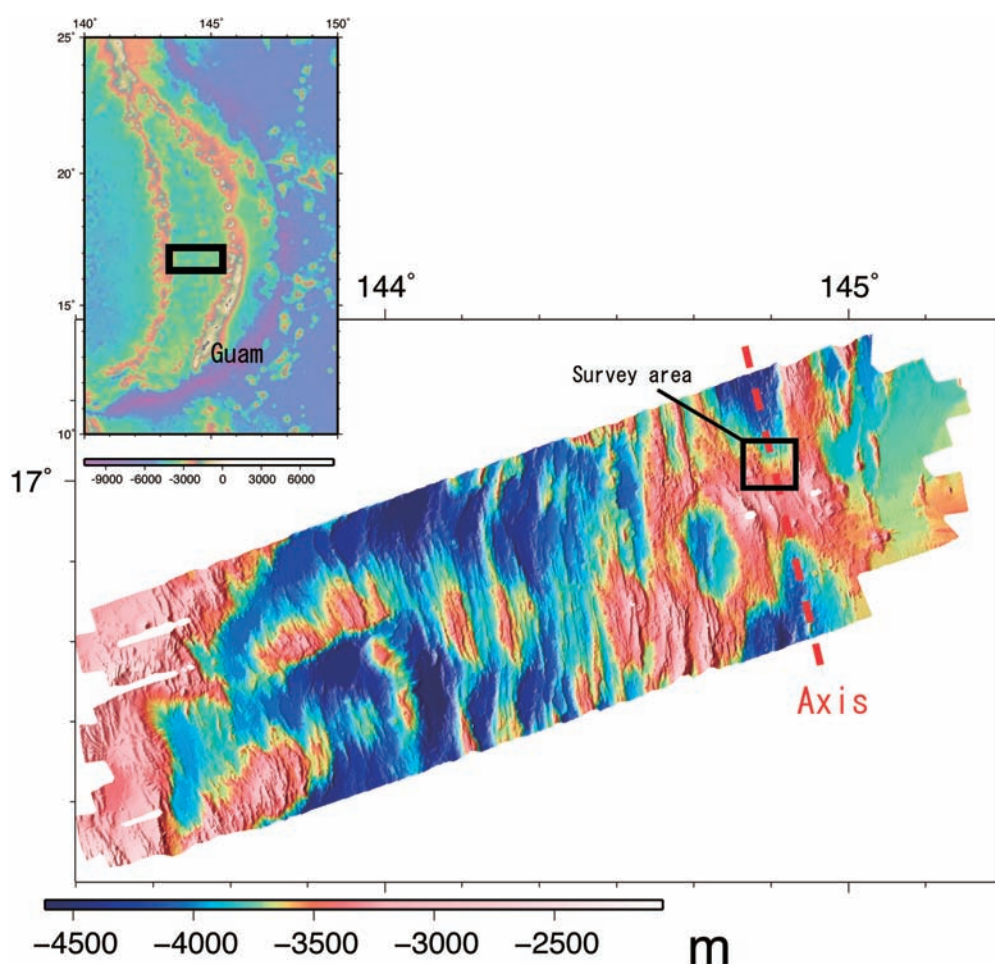


Fig. 1 Bathymetry acquired on this cruise around 144°E, 17°N.

The inset shows the Mariana Trough. The black square in the inset indicates the study area. The bathymetry data are gridded at 0.05-minute intervals. The black square on the map shows the dive survey area. The red dotted line indicates the approximate location of the spreading axis.

図1 本航海で取得した144°E, 17°N付近の海底地形

上図：マリアナ諸島全体を示し、黒角部分は本航海で得られた海底地形（下図）。etopo2から作成
下図：黒角部分が潜航ポイント周辺を示す（Fig.4参照）。0.05分間隔でグリッドデータを作成

が厚くなっていることがわかった (Takahashi et al., 2007; 2008). 厚い地殻の存在は、過分にマグマが供給されていることを示す。17°Nセグメントは、そのため溶岩噴出率が高いと整合的に解釈をすることができる。そして地殻厚異常の範囲は、およそ1 myrの期間 ($30 \text{ km} \div 3 \text{ cm/yr} = 1 \text{ myr}$) だけ、マグマ生産量が増大したものと解釈することができるかもしれない。またサイドスキャンソナーでの観測に見られるシート状溶岩流から枕状溶岩流への変化も、溶岩噴出率の高低を示しており、時間変化を示唆している可能性がある。

溶岩流噴出の時間的変化を知るためには、形成年代を知ることが必要である。海底年代を知る方法は、岩石の年代測定、表層堆積物中の微化石による年代推測、堆積層厚による相対年代などが挙げられる。本稿では溶岩流上に堆積した堆積層厚を観測し、その厚薄から溶岩流の新旧を推定した。絶対年代を求めることは難しいが、相対年代を求めることで局所的な溶岩流の年代を理解し、形成順序や各年代による噴出量変化がわかるかもしれない。

調査船「よこすか」YK08-08 Leg1航海 (2008年6月~7月) では、有人潜水調査船「しんかい6500」を用いて、合計6潜航が行われ、マリアナトラフ背弧拡大軸17°N付近では3潜航 (#1088, #1089, #1090) で岩石採集と目視観察、物理探査が行われた (Fig.4)。目視観測の結果については Fujiwara et al. (2008, 本号) を参照されたい。本稿では、「しんかい6500」に取り付けたサブボトムプロファイラ (SBP) から求めた堆積層厚について報告する。溶岩流形成後、年代が古いほど堆積層厚は厚くなることが考えられるため、SBPでの調査目標は堆積層厚を測り、その変化から相対的な年代を推定することである。これらは溶岩流の新旧を判別するため、重要な情報であると考えられる。

2. 手法

2.1 サブボトムプロファイラ (StrataBox)

サブボトムプロファイラは、音波を発信し、その反射の強弱を識別し海底下の層状構造を認識する装置である。本航海で使用したSBPは潜水船内のStrataBox本体と表示・収録を行うノートPC、潜水船外の深海用トランスデューサで構成されており、浅海用の地層探査機のトランスデューサを深海用のものに交換している。本体電源は電池ボックスを使用し12V、トランスデューサの使用周波数は10kHzで地質分解能は約6cm、海底面から求めることができる最大探査深度は40mである (Table.1)。深海用のトランスデューサに取り替えたことで、深海底の堆積層厚観測を可能にしたが、潜水船に取り付けるため、海底から近いと送信音圧の強さと多重反射が強く重なるため、地層との

判別が困難となることから高度2.5m以上から観測する必要がある。

2.2 YK08-08 Leg1航海におけるサブボトムプロファイラ設置と設定、計測

本航海では、「よこすか」YK05-16 Leg1航海 (Kumagai, 2005) と同様、「しんかい6500」のマニピレータ下の荷台にトランスデューサを取り付けた (Fig.2)。YK08-08 Leg1航海では、潜航直前に電池ボックスとデータ保存・モニターするノートPCを潜水船内に設置後、起動・収録テストを行い、一旦停止した。そして、潜水船が着水準備に入り、吊り上げられると同時に起動・収録を再び開始し、そのまま継続して海底の観測を行った。本来なら、海底で起動・収録を行うことが好ましいが、本航海では潜水中での不具合をなくすため、潜水船外からSBPの起動を確認できるように離船時に起動・収録を開始した。海底観測終了時 (離底時) にSBPの動作・収録を停止し、潜水船揚収後、ノートPCと電池ボックスの回収、データの吸出しと電池の交換を行った。

対象海域は堆積層が薄く、溶岩の基盤が露出していることが予想されたので、基盤からの強い反射でSBPデータ上の地下浅部の微細な構造をつぶしてしまわないよう、Range: 10mと短く、DC Gain: 15dbと小さめに設定した。

取得できたSBP生データをStrataBox付属ソフトで再生、100~200秒毎に画面キャプチャし、イベントリスト、logファイル等を用いて、船外写真とSBPデータの場所と

Table. 1. Specifications of SBP (Strata Box) installed on the *Shinkai 6500*.
Referenced from Kumagai (2005).

表1 「しんかい6500」に搭載したSBP (Strata Box) のスペック概要
Kumagai 2005を引用

Recording Depth Range	5, 10, 20, 40, 80, 150m
Resolution	6cm
Penetration	40m
Depth Accuracy	0.5%
Operation height	2.5m
Sending rate	Max 10Hz
Date File Output	ODEC format
Frequency Output	10kHz
Transmit Output Power	300W (Pulsed)
Input Power	12V DC, Nominal power 8W

(Kumagai 2005)

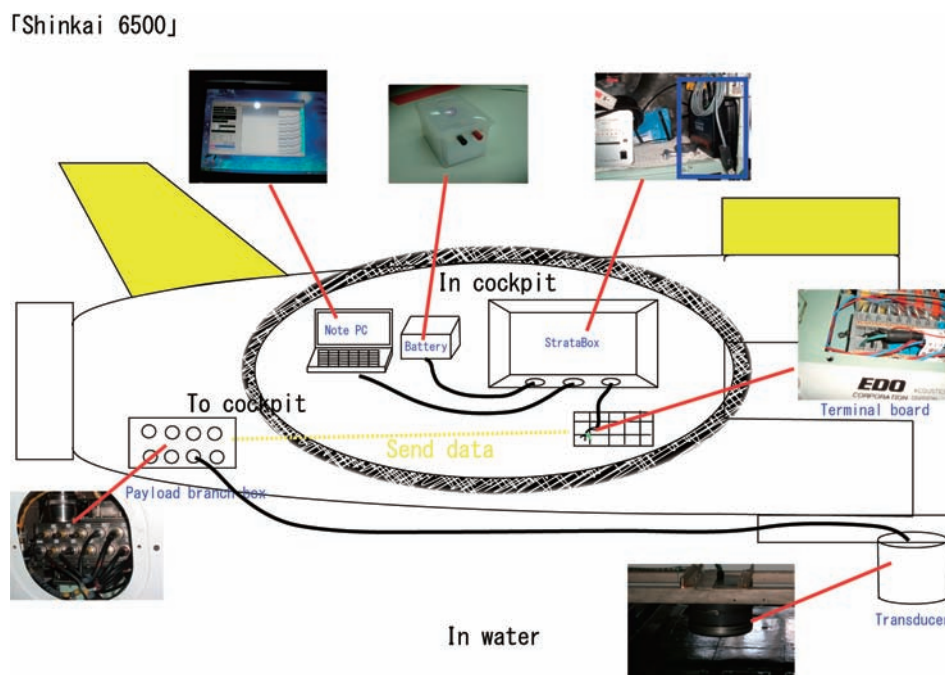


Fig. 2 Schematic figure of the SBP installed on the Shinkai 6500.

A transducer was mounted on a frame under the manipulators, and a transducer cable was connected to a payload branch box. In the cockpit, the StrataBox was connected to a terminal board, a battery, and a note book PC.

図2 しんかい6500によるSBP観測概念図

トランスデューサは潜水船外のマニピレータ下に荷台をつけ設置し、トランスデューサケーブルを「しんかい」ペイロード分岐箱に接続した。船内では、StrataBox本体と「しんかい」ターミナルボード、電池ボックス、ノートPCを接続した。

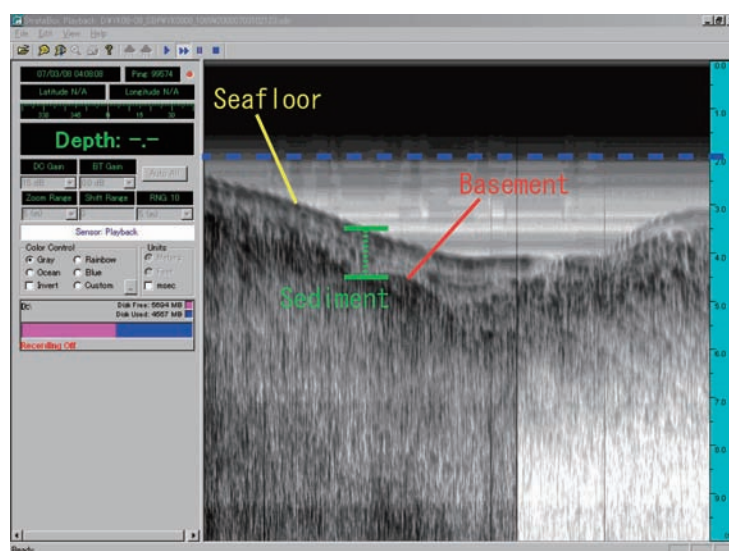


Fig. 3 Example of SBP data

The full range of the vertical axis is 10 m, tick marks represent 0.5 m. The full range of the horizontal axis indicates time of approximately one minute. Time is indicated in UTC, thus 10 hours can be added to translate to Guam time. As indicated by the blue dashed line, it is impossible to find reflections from geological structures at a depth of less than 2 m. A one-meter-thick sedimentary layer is found at this site.

図3 SBPデータ表示例

縦軸は1メモリ0.5m間隔で10m表示しており、横軸は約1分間のデータを示す。時間はUTで表示されており、+10時間でグアム時間となる。青破線で示すように、2m以浅は海底面の識別が不可能であることがわかる。この地点では約1mの堆積層が識別できる。

時刻を合わせ、堆積層の厚さをStrataBoxで表示されているメモリから読み取り、3潜航の堆積層厚分布の推定を行った (Fig.3).

3. 結果・考察

#1088では、拡大軸谷中央から西へ向かう測線を取った (Figs.4,5). 潜水船外カメラでの写真では、表層堆積物に覆われておらず、基盤を目視できた地点が多く (Fig.6b), SBPデータは基盤による強い反射 (Fig.6a 13:38) を示していた. またSBPデータから海底面が識別できない地点も多数あり (Fig.6c), 堆積層厚分布は確認することができなかった (Fig.9, Table.2). 本潜航の測線下では、表層堆積物はSBPデータから識別できず、写真でもほとんど認識されなかったことから、非常に新しい溶岩流である可能性が高い.

#1089は、拡大軸谷東側斜面を南下し、火山性海丘を東から西へ横断する測線 (Figs 4,5) をとり、堆積層厚分布が唯一明瞭に推定することができた潜航である (Fig.9, Table.2). 潜航開始地点付近では堆積層を見ることはできなかった (Fig.7a 12:16) が、南下するにしたがって、拡大軸谷東側斜面では堆積層が識別された (Fig.7b). 測線上の潜航開始地点の南側から火山性海丘の東側では、試料サンプリングポイント付近では明瞭なSBPデータが取れなかったが、堆積層が1m以上あり (Fig.7a 14:27), 海丘頂上付近では、堆積層は薄くなっていた (Fig.7a 14:57). 行われた3潜航中、最も堆積層が明瞭であった潜航であり、堆積層中に平行なもう一つの反射面を見ることもできた (Fig.7c).

#1090では、潜航開始地点から拡大軸中央付近を南下し、そして拡大軸谷西側斜面を東から西に向かう測線を取った (Figs.4,5). 各地点の目視観察で堆積物を認識できる地点が多数あるが、SBPデータでは層厚が識別できなかった. これは複雑地形の影響でSBPデータが明瞭ではないことが原因と考えられる. また、起伏の大きい溶岩基盤の多方面反射でSBPデータの散乱や回折がみられた (Fig.8b). Fig.8cでは、船外写真からなだらかな地形と表層堆積物が認識できたが、SBPデータでは基盤面-海底面境界が明瞭ではなく、SBPでは識別できないと判断した. SBPデータから数値による堆積層厚分布を推定することはできなかった (Fig.9, Table2).

各潜航を行った場所の海底は、最も堆積層が厚かった#1089, 目視観察では確認できたが、SBPでは層厚が識別できなかった#1090, 溶岩の基盤が目視観察できるほど堆積物が少なかった#1088の順に形成されたことが推定される. 北マリアナトラフでは、堆積速度は $\sim 2\text{cm/kyr}$ と推定されている (海洋研究開発機構・金松敏也博士私信). 17°N マリアナトラフも類似する堆積速度と仮定すれば、

0.5 $\sim$ 2mの堆積層厚を識別できた#1089は約10万年前に形成され、0.5m以下の堆積層厚が識別できた#1090は約2.5万年前に形成、堆積層を認識できなかった地点が多かった#1088は2.5万年前より新しく形成されたことが推定される. マリアナトラフの海底拡大速度は片側約 1.5cm/yr であることから、単純に拡大軸中心からの距離により年代を換算すると0 $\sim$ 40万年前に形成された海底と考えられるが、潜航で識別できた堆積層から推定する海底はそれより若い. Neo-volcanic Zoneは広く、拡大軸谷内の範囲で溶岩噴火が起これと考えられる. #1089でみられた2重の堆積層 (Fig.7c) は、時間間隔を置いて軸谷内で起こる割れ目噴火により、半遠洋性堆積層上に火山碎屑物が堆積したことを示唆しているかもしれない. 採取した岩石サンプルのK-ArやAr-Ar放射年代測定には年代が新しすぎる可能性があり、堆積物サンプル中の微化石は、現世化石であることを示すのみで、詳細な年代変化の把握はSBPが有力な情報である. 本航海の3潜航でこれだけの情報が得られたが、より多くの測線を得て、広範囲で深海堆積層厚データを収集し、解析することで、拡大軸谷内での噴火イベントの有無や相対的な海底形成順序、海洋地殻形成過程を詳細に知ることができるだろう.

本航海でのSBP観測から、行われた3潜航の測線下での表層堆積物の観測は成功し、その有無が推測できた. しかし、SBPデータと船外写真が明瞭ではない地点が多数確認された. この主な原因は2つ挙げられる.

1つめは、目視観察とSBP観測の最適な観測環境の違いである. Figs.6a,7a,8aなどでみられるように、写真で海底が明瞭であった場合、SBPデータでは海底面を識別が困難であり、SBPデータから海底面が識別しやすい場合、写真では海底が明瞭ではないことがある (Fig.7a 14:34). これは目視観察では船体 $\sim$ 海底の高度1 $\sim$ 2mが適していることに対し、SBPでは高度2.5m以上での観測が適しているためである. そのため、高度0mとなる試料サンプリング中は、海底面を識別できないが、サンプリングポイント間を移動する際のSBPデータでは海底面の推測が可能であり、物理探査を主な目的とせずとも、SBPデータから堆積層厚の識別が可能である.

2つめは対象海域の底質、地形など海底の地質環境である. 本航海では、SBPデータでは堆積層が識別されない地点でも写真やプッシュコアでの表層堆積物採取から表層堆積物の厚さが0.2 $\sim$ 0.3mほどであると報告され、StrataBox スペックの解像度である6cmオーダーの微細構造を識別できず、0.5m以下の堆積層厚では詳細な数値による識別は困難であった. そのため、本航海では0.5m以下、0.5m $\sim$ 1m、1m以上と三つに分けた. しかし、本航海で行った観測と

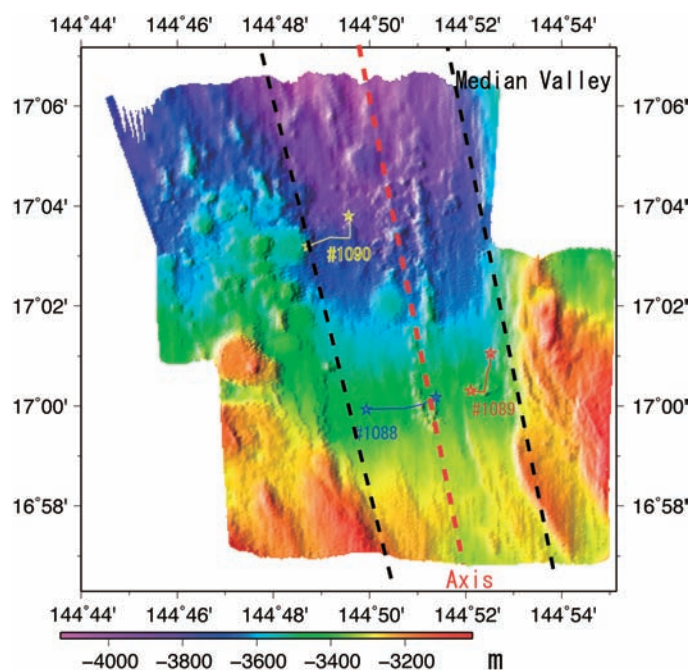


Fig. 4 Bathymetry gridded at 50 m intervals and three dive tracks on the YK08-08 Leg 1 cruise
The blue, red, and yellow lines show dive tracks, and stars indicate landing and leaving points. Black dotted lines delineate the median valley.

図4 YK08-08 Leg1航海で行った3潜航の測線と周辺海底地形
50m間隔でグリッドデータを作成。各潜航の測線，星は離着底ポイントを示す。

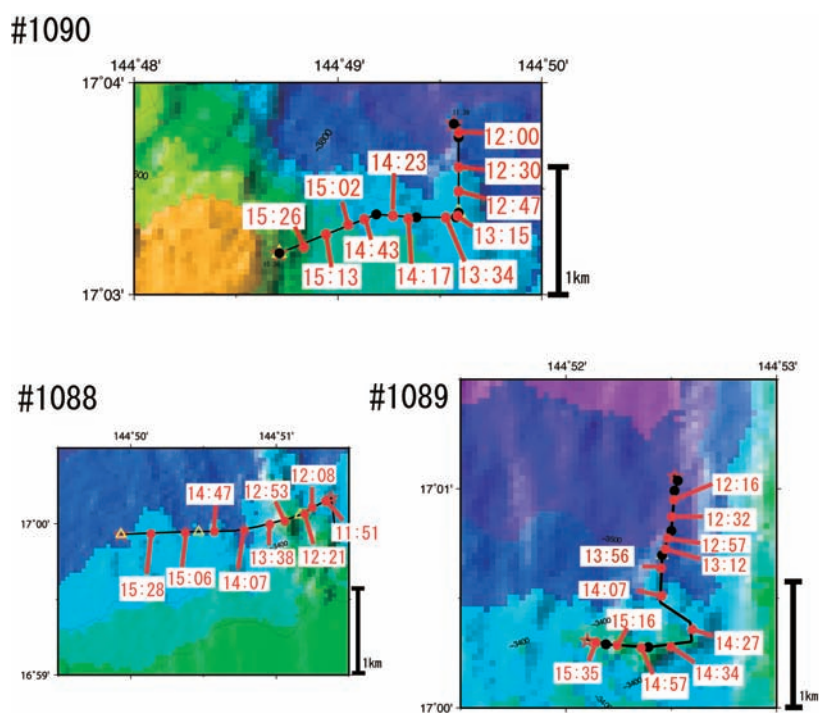


Fig. 5 Each dive track and observation point.

Red numbers indicate observation points of the subbottom profiler's data and time (Guam time) of the seafloor photos. Black circles and yellow triangles indicate rock and sediment sampling points respectively.

図5 各潜航の測線と解析地点
赤字はサブボトムプロファイラの各データと海底写真の時間を示す（グアム時間）。黒丸は岩石，黄色三角はプッシュコアの採取地点を示し，赤星は離着底地点を示す。

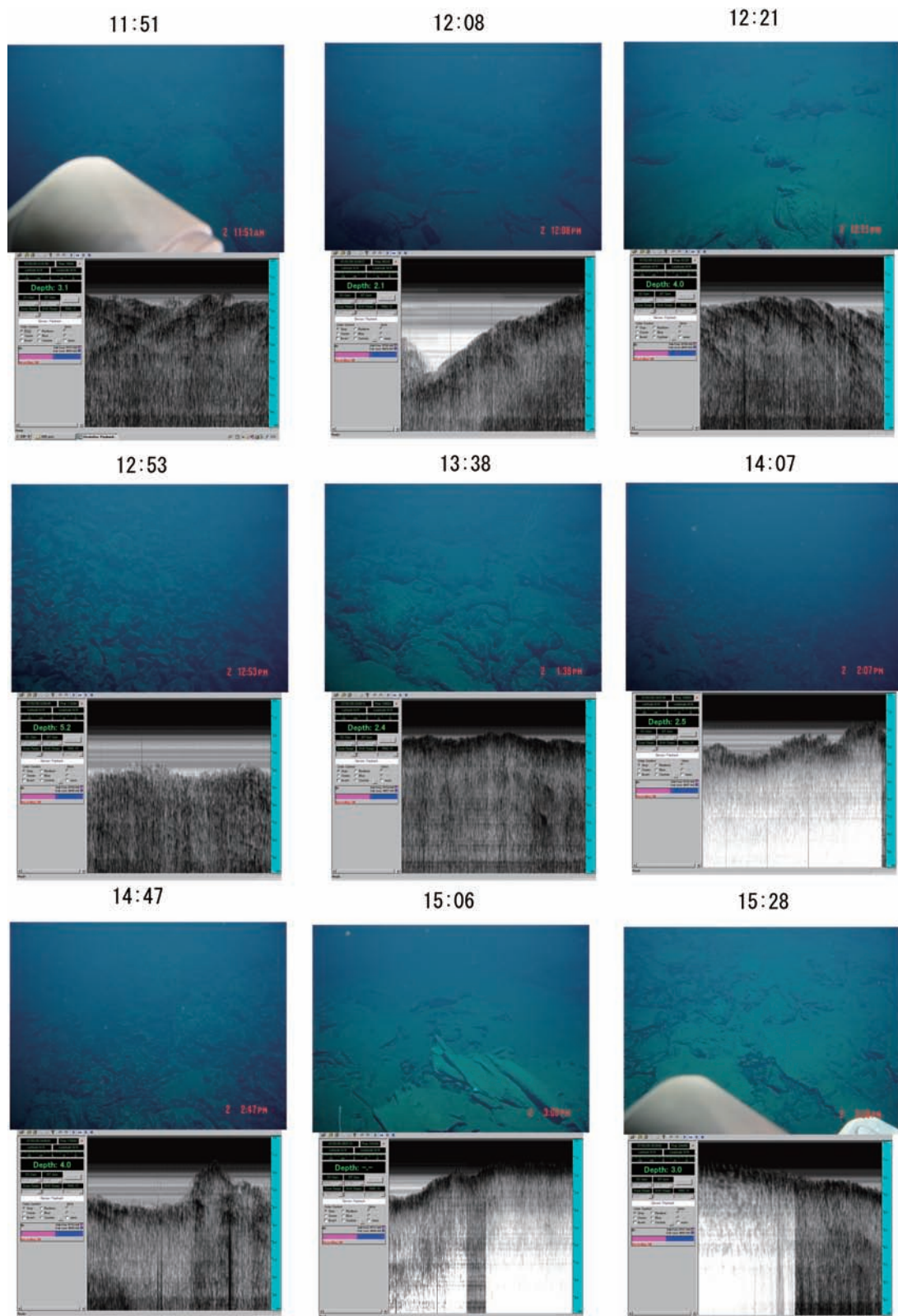


Fig. 6a SBP raw data and outside camera photos on dive #1088

The numbers indicate time. The times of the outside camera photos and the SBP data correspond to each other.

図 6a Dive#1088の各時刻のSBP生データと船外カメラ写真

黒字はデータの時刻を示しており、潜水船外側カメラ写真とSBPデータ（Fig.3参照）はそれぞれ同時刻のデータに対応している。

同様の装置、システム（DAI-PACK）を用いた「よこすか」YK04-07 NIRAI-KANAI Leg1航海での東太平洋海嶺（EPR）off-axis海底溶岩流の観測では、堆積層は20cm, 40cm, 1mと詳細に識別することができている（Umino, 2004; Kisimoto et al., 2004; Geshi et al., 2007）。このように解析の異なった理由は、SBP観測では層厚と分解能、底質、地形によりデータ解像度が変化するためと考えられる。マリアナトラフ拡大軸谷内とEPRのoff-axisの堆積層はともに半遠洋性堆積物であり、最厚約2mと類似している。マリアナトラフは非常に新しい海底であるため堆積層中に水が多く含まれ、堆積層が非常に軟らかく、堆積層上面からの反射が弱い可能性があるが、両海域で最も異なり、大きな影響を及ぼしているのは地形であることが予想される。EPRは比

較的平坦な深海斜面を約12万年で堆積物が一様に覆う海底であり、調査されたoff-axis海底溶岩流は緩やかに噴出し、形成されたことが考えられる。このことから推測するにEPRの基盤地形はマリアナトラフと比べ、起伏が小さい可能性がある。一方、マリアナトラフ拡大軸谷内は0.5m以下の堆積層がある各地点では、枕状溶岩、jumbled-wrinkled溶岩などの起伏の激しい基盤が露出しており、複雑な微細地形の、直下ではないサイドの露岩からの多方面からの強反射や散乱・回折が重なり合い、基盤—堆積層境界面が不明瞭となっているのではないだろうか。これらのことから起伏の程度により解像度が変化してしまうことが予想され、議論する際には、基盤地形の起伏の有無を考慮しなければならないと思われる。

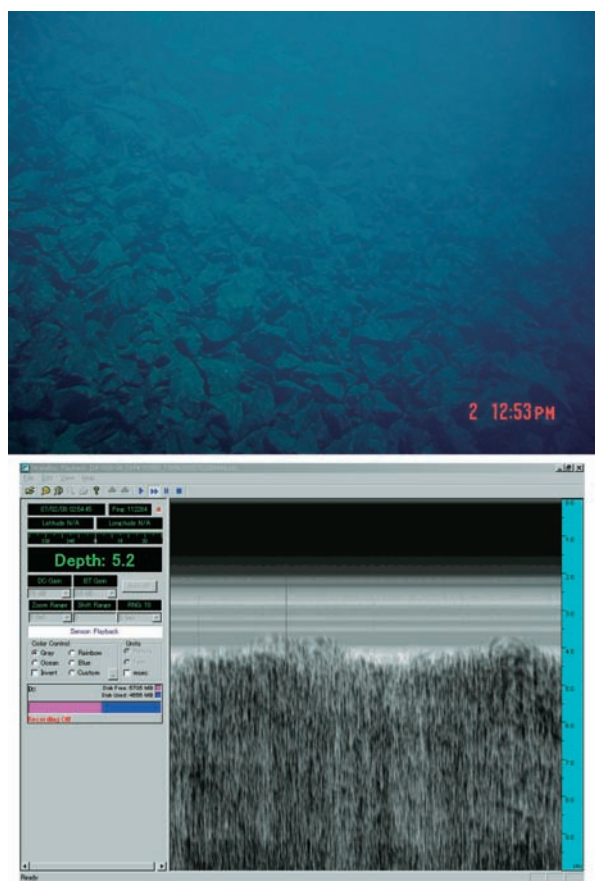


Fig. 6b Zoom figure at 12:53 on dive #1088.

We can find the basement at the seafloor both by visual observation and observation of SBP data, but the SBP data is not clear. This is caused by reflection scattering due to the influence of seafloor topography covered with the brecciated lava flow seen in the photo.

図 6b Dive#1088の12時53分地点拡大図
目視でも基盤が認識でき、SBPデータから海底面を識別できるが、若干ぼやけている。これは写真でみられるような海底の微細地形の影響と考えられる。

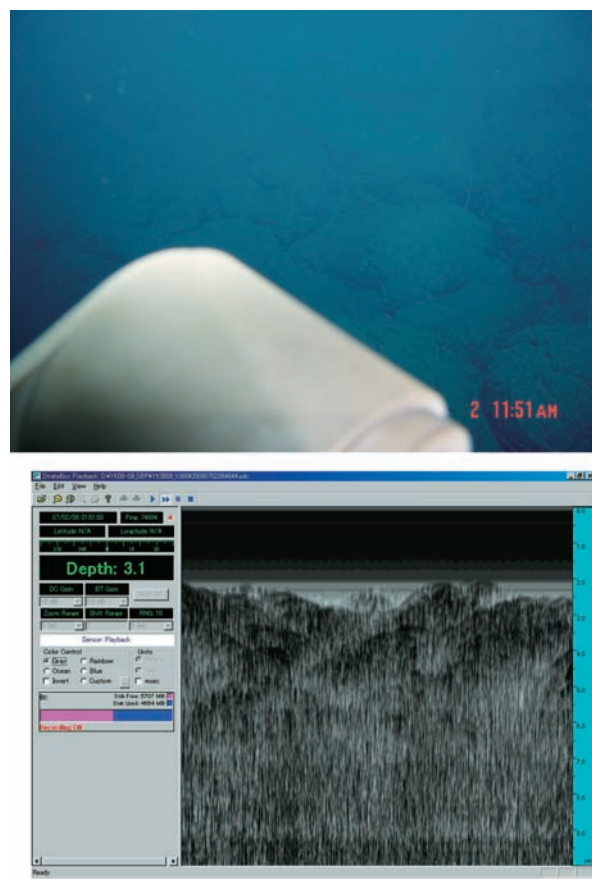


Fig. 6c Zoom figure at 11:51 on dive #1088.

Although the seafloor is not clear in this photo, the morphology is exposed pillow lavas. SBP data is scattered and diffracted by the rough seafloor.

図 6c Dive#1088の11時51分地点拡大図
海底の様子が写真からは認識困難である。SBPデータは散乱し、海底面は不明瞭である。

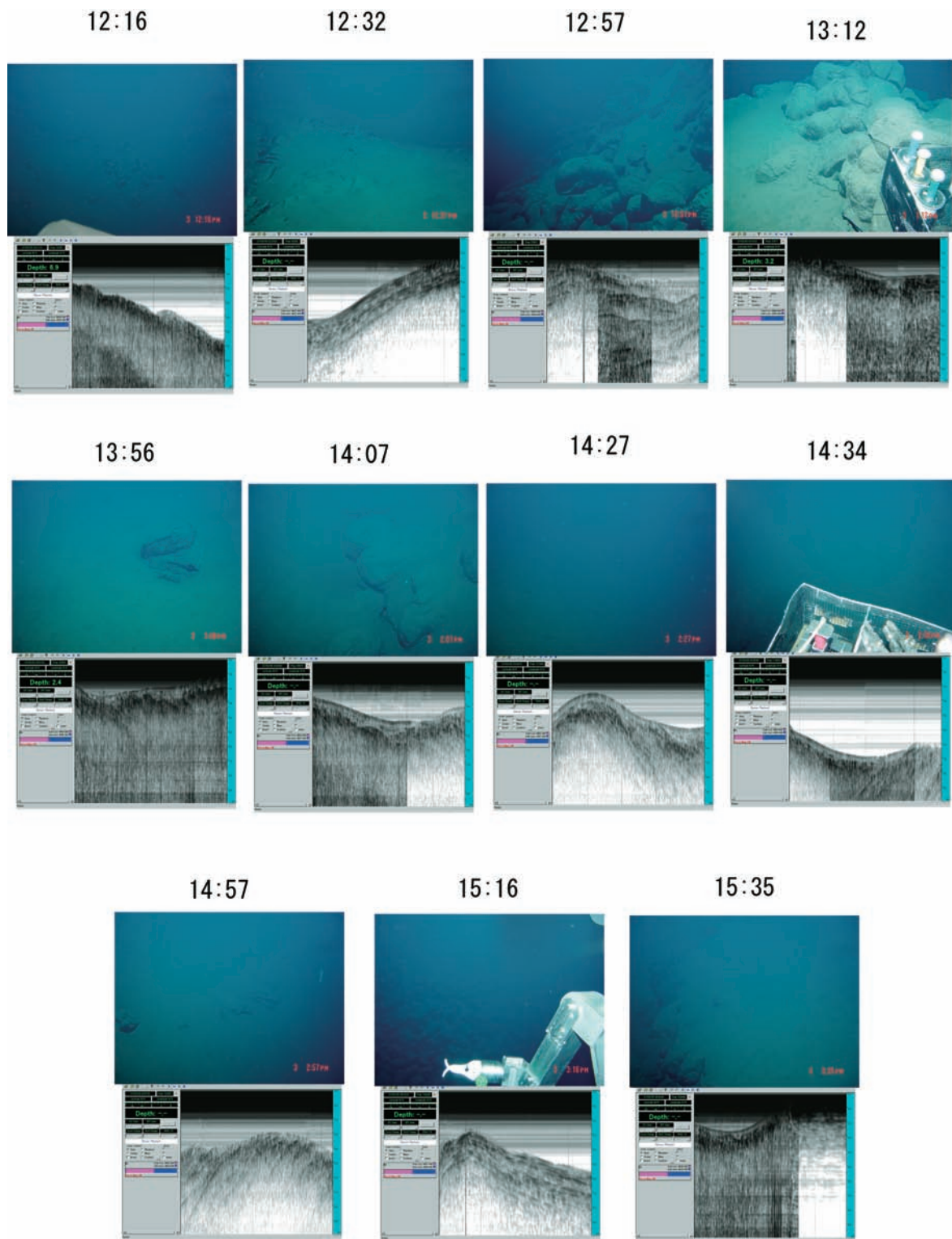


Fig. 7a SBP raw data and outside camera photos on dive #1089.

The numbers indicate time. The times of the outside camera photos and the SBP data correspond to each other.

図 7a Dive#1089の各時刻のSBP生データと船外カメラ写真

黒字はデータの時刻を示しており、潜水船外側カメラ写真とSBPデータ（Fig.3参照）はそれぞれ同時刻のデータに対応している。

今後の課題として、海底付近の観測ではある程度の地形の起伏の存在は避けられないため、今後起伏に強い対策が望まれる。トランスデューサの送受信波に指向性を付け、多方面からの反射を制限することができればよいだろうか。潜水船でのSBPトランスデューサ設置場所や設置方法を変えてみることで、観測不能ゾーン2.5mを小さくすることができるかもしれない。波形をより細かく調べる解析手法の確立なども課題だろう。

しかしながらSBP観測は、目視観測を補って潜水船観測の範囲を拡げ、堆積層の定量的な分析から詳細な海底年代分布の把握、ひいては海洋地殻形成過程の詳細な研究に非常に大きな効力を発揮するものと思われる。経験を積んでいくことで、深海堆積層厚は地球科学に大きく貢献することができると思われる。

4. まとめ

調査船「よこすか」YK08-08 Leg.1航海では、有人潜水調査船「しんかい6500」を用いて、マリアナトラフ背弧拡大軸17°N付近での各潜航#1088,1089,1090において、岩石・堆積物採取と目視観察、海底地磁気測定、サブボトムプロファイラによる堆積層厚測定を行った。サブボトムプロファイラのデータと潜水船外写真を照らし合わせ、その地点での海底の堆積物の有無を観測した。その結果、拡大軸中央から西側斜面に向かった#1088では、ほぼ堆積層が確認できなかった。拡大軸東側斜面を調査した#1089では、0.5~2mの堆積層が確認できた。拡大軸西側斜面の#1090は、表層堆積物が写真では確認できたがSBPデータには反映されなかった。本潜航では、サンプリングポイントでのデータの欠如、サンプリングに重点をおいた観測環境であった

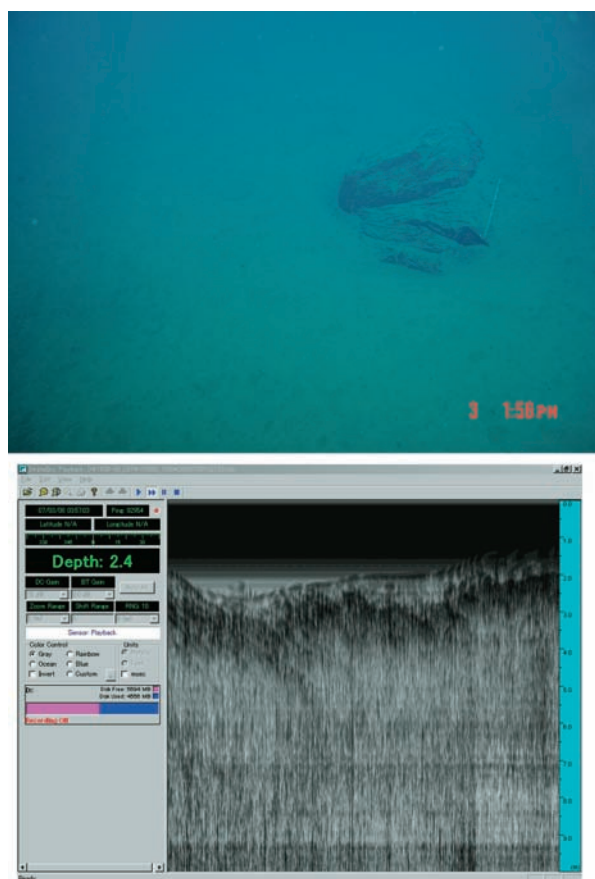


Fig. 7b Zoom figure at 13:56 on dive #1089.

We can see a heavily sedimented seafloor in the photo. The SBP data indicate a sedimentary layer of 1m in thickness. The basement beneath the sedimentary layer has complex topography, seemings to consist of pillow-like lavas.

図 7b Dive#1089の13時56分地点拡大図
写真で堆積物を認識でき、SBPデータでも識別できる。堆積層厚は約1m。基盤面は複雑地形であるようにみえる。

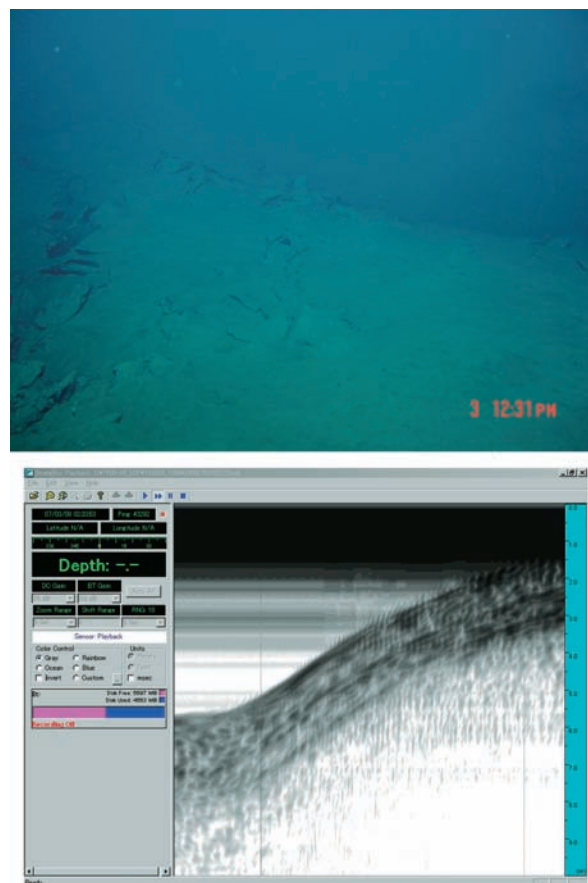


Fig. 7c Zoom figure at 12:32 on dive #1089.

The sedimentation is obvious both in the photo and in the SBP data. The sedimentary layer has a double-layered structure. The sediment thickness of the layer is 2m.

図 7c Dive#1089の12時32分地点拡大図
写真、SBPデータともに堆積層がみられる。堆積層が2重になっている。堆積層厚は約2m。

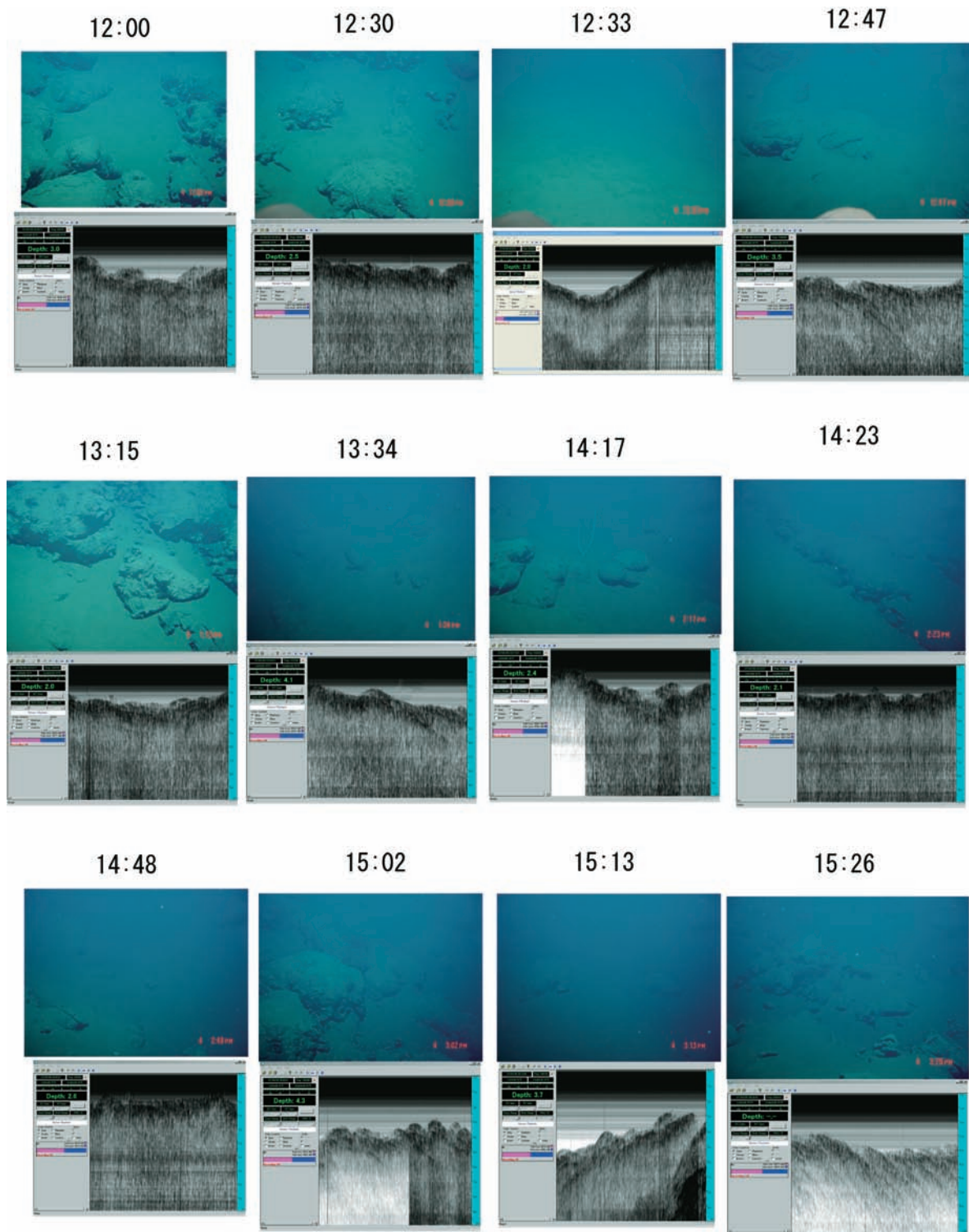


Fig. 8a SBP raw data and outside camera photos on dive #1090.

The numbers indicate time. The times of the outside camera photos and the SBP data correspond to each other.

図 8a Dive#1090の各時刻のSBP生データと船外カメラ写真

黒字はデータの時刻を示しており、潜水船外側カメラ写真とSBPデータ（Fig.3参照）はそれぞれ同時刻のデータに対応している。

Table. 2. Observation of sediment using SBP data and photos on each dive.

This chart indicates existence or nonexistence of sediment from observation of SBP data and visual observations. If the sedimentary layer thickness can be estimated, the value is shown. Symbols indicate: ○: sediment found △: sediment found but unclear ×: sediment not found

表2 各潜航のSBPと写真による表層堆積物の有無

SBPと船外写真で観察できた表層堆積物の有無を示す。SBPデータから堆積層厚を推定できた場合は数値を示す。

○：確認できる △：わずかに堆積物が確認できる ×：確認できない

1) #1088

Time(hh:mm)	SBP(m)	Photo
11:51	×	×
12:08	×	△
12:21	×	△
12:53	×	×
13:38	×	×
14:07	×	×
14:47	×	×
15:06	×	△
15:28	×	×

2) #1089

Time(hh:mm)	SBP(m)	Photo
12:16	×	△
12:32	2	○
12:57	×	△
13:12	0.5	○
13:56	1	○
14:07	1	○
14:27	1	○
14:34	0.5	○
14:57	△	○
15:16	×	×
15:35	0.5	○

3) #1090

Time(hh:mm)	SBP(m)	Photo
12:00	×	△
12:30	×	△
12:33	×	○
12:47	×	△
13:15	×	△
13:34	×	△
14:17	×	△
14:23	×	△
14:48	×	△
15:02	×	△
15:13	×	○
15:26	×	△

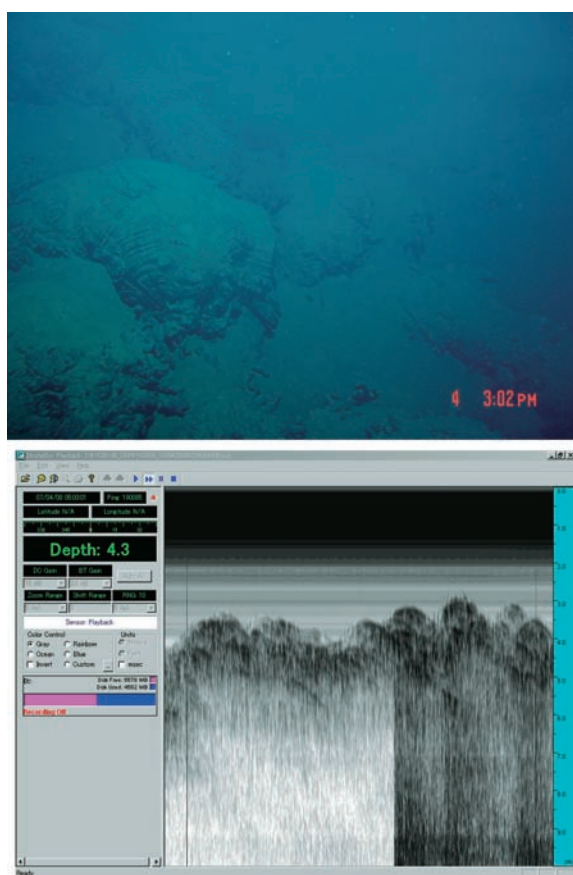


Fig. 8b Zoom figure at 15:02 on dive #1090.

Although the seafloor is not clear in this photo, the morphology is exposed pillow lavas. SBP data are scattered and diffracted by the rough seafloor.

図8b Dive#1090の15時02分地点拡大図

SBPデータが散乱し、海底面が不明瞭である。堆積厚も識別できなかった。

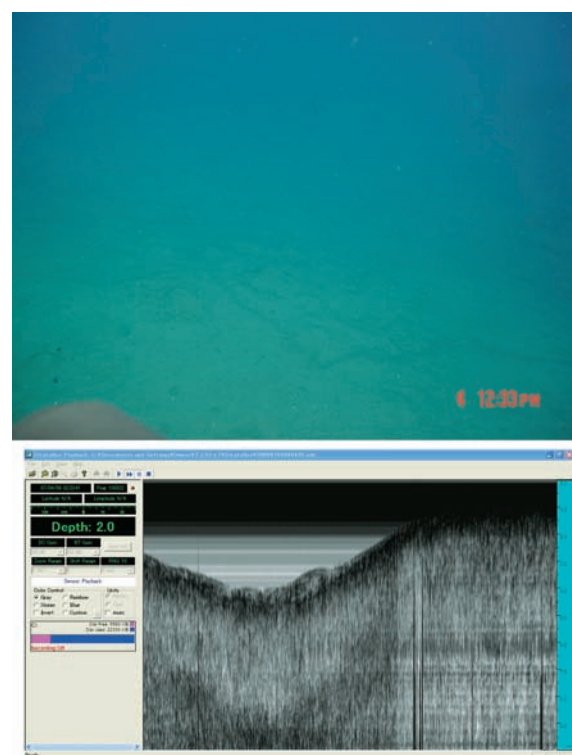


Fig. 8c Zoom figure at 12:33 on dive #1090.

The seafloor seems to be covered with thick sediment in the photo, but the thickness of the sedimentary layer is unclear in the SBP data. Its thickness is probably too thin to be identified.

図8c Dive#1090の12時33分地点拡大図

写真では堆積物を認識できるが、SBPデータから堆積層を識別することはできなかった。

ことを除き、表層堆積層が明瞭ではなかった主な原因は、堆積層の厚さと地形による影響である。本海域は、新しい海底であるため堆積層が薄く、軟らかいことが考えられ、起伏が大きい地形が広く分布するために起こる多方面反射により識別が困難であったと考えられる。それでも、試料サンプリングが主な目的である3潜航から得られたSBPデータから堆積層厚が識別でき、溶岩流の新旧を判別できたことはマリアナトラフ背弧拡大軸の溶岩噴出率の局所的な変化を解明する助力となると考えられる。

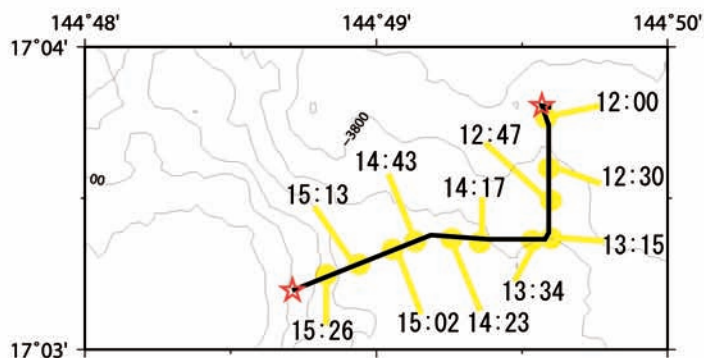
これら3潜航を行った海底は、潜航調査の測線の範囲内では、#1089、#1090、#1088の順に形成された可能性がある。堆積速度を $\sim 2\text{cm/kyr}$ と仮定すれば、 $0.5\sim 2\text{m}$ の堆積層厚を識別できた#1089周辺の溶岩流は約10万年前に形成され、 0.5m 以下の堆積層厚であった#1090は約2.5万年前に形成、堆積層を認識できなかった地点が多かった#1088は

2.5万年前より新しく形成されたことが推定される。また、#1089の観測では、堆積層厚は2重堆積構造をした地点もみられ、今後コアリングなどの詳細な調査により海底での噴火イベントの存在を明らかにできるかもしれない。

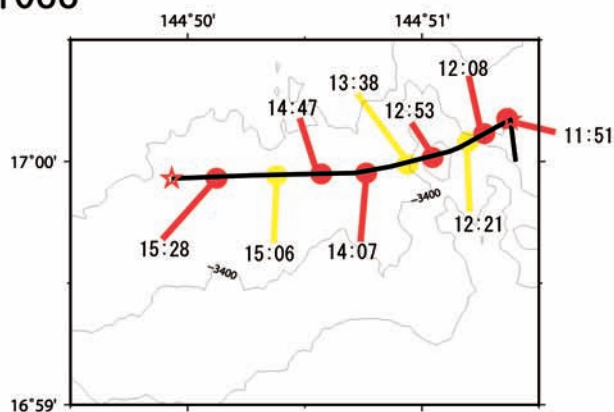
謝辞

調査航海を通じて、「よこすか」乗組員や「しんかい6500」運航チーム、日本海洋事業の観測技術員には、調査航海を実施にあたり、多大なる支援をいただいた。岸本清行博士ならびに匿名の査読者には、論文を改良する有益なコメントをいただいた。本研究には、科学研究費補助金・基盤研究（C）（代表：富士原敏也、課題番号：20540417）、独立行政法人海洋研究開発機構地球内部変動研究センター運営交付金の一部を使用した。

#1090



#1088



#1089

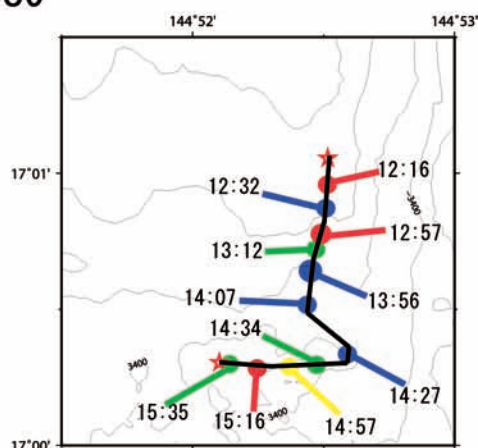


Fig. 9 Sedimentary layer distribution on each dive

Red circle: Sedimentary layer cannot be found; yellow circle: sedimentary layer cannot be determined from SBP data, but can be found in photos; green circle: sedimentary layer thickness is about 0.5m ; blue circle: sedimentary layer thickness is more than 1m ; red stars: landing and leaving points.

図9 各潜航の堆積層厚分布

赤：堆積層を確認できない 黄：SBPでは確認できないが、写真では確認できる 緑：約 0.5m 青： 1m 以上 赤星：離着底地点

参考文献

- Asada, M., A. Deschamps, T. Fujiwara, and Y. Nakamura (2007), Submarine lava flow emplacement and faulting in the axial valley of two morphologically distinct spreading segments of the Mariana back-arc basin from Wadatsumi side-scan sonar image, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 8(4), Q04001, 10.1029/2006GC001418.
- Deschamps, A., T. Fujiwara, M. Asada, L. Montési, and P. Gente (2005), Faulting and volcanism in the axial valley of the slow spreading center of the Mariana back-arc basin from Wadatsumi side-scan sonar images, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 6(5), Q05006, 10.1029/2004GC000881.
- Fujiwara, T., S. Umino, M. Asada, Y. Koike, T. Kanamatsu, K. Kimoto and S. Okada (2008), A submersible study of the Mariana Trough back-arc spreading center at 17°N, *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, 8, 61-73.
- Geshi, N., S. Umino, H. Kumagai, J. M. Sinton, S. M. White, K. Kishimoto, and T. M. Hilde (2007), Discrete plumbing systems and heterogeneous magma sources of a 24 km³ off-axis lava field on the western flank of East Pacific Rise, 14°S, *Earth Planet. Sci. Lett.* 258, 61-72.
- Kisimoto, K., S. Umino, N. Geshi, T. W. Hilde, H. Kumagai, J. Sinton, and S. M. White (2004), Largest off-axis lava flow field from the southern East Pacific Rise at 14°N, : Preliminary, results of the NIRAI-KANAI cruise leg, YK04-07 “Yokosuka/Shinkai Shinkai 6500” dives, *AGU, 85(47), Fall Meet. Suppl.*, abstract V53A-0612.
- Kumagai, H., ed. (2005), Preliminary cruise report YK05-16 Leg 1 “Yokosuka/Shinkai 6500” URANIWA expedition.
- Takahashi, N., S. Kodaira, S. L. Klemperer, Y. Tatsumi, Y. Kaneda, and K. Suyehiro (2007), Crustal structure and evolution of the Mariana intra-oceanic island arc, *Geology*. 35, 203-206.
- Takahashi, N., S. Kodaira, Y. Tatsumi, Y. Kaneda, and K. Suyehiro (2008), Structure and growth of the Izu-Bonin-Mariana arc crust: 1. Seismic constraint on crust and mantle structure of the Mariana arc-back-arc system, *J. Geophys. Res.*, 113, B01104, doi:10.1029/2007JB005120.
- Umino, S., ed. (2004), Preliminary report YK04-07 “Yokosuka/Shinkai 6500” NIRAI-KANAI 1, Geological and petrological study of large off-axis lava fields along the southern East Pacific Rise at 8°S-19°S.