

# 南部東太平洋海膨の拡大軸を横断する 海底圧力・測距の長期観測

藤本 博巳\*1

1997年7月に行われた「よこすか/しんかい6500」の航海において、南緯18度25.5分付近の南部東太平洋海膨の拡大軸を横断する海底圧力・海底測距の長期観測を開始した。3台の測器を谷の中央と両側の壁の上に設置し、水晶圧力計による相対的な圧力変動から鉛直変動を検出し、3台の測距装置により相互の水平距離の変化を検出することを目指している。潜航後、音響通信により装置の作動を確認した。98年9月には自己浮上させて回収する予定である。測器の設置点の南側800-900mに熱水地帯があるので、熱水活動と海底地殻変動や潮汐に伴う圧力変動との関係についても調べる予定である。

キーワード：南部東太平洋海膨，拡大軸，海底圧力観測，海底測距，海底地殻変動，熱水活動

## Long-term ocean bottom pressure measurement and acoustic ranging across the spreading axis of the southern East Pacific Rise

Hiromi FUJIMOTO\*2

We started long-term seafloor pressure measurement and acoustic ranging across the spreading axis of the southern East Pacific Rise at 18°25.5'S during a "Yokosuka/Shinkai 6500" cruise in July 1997. With three instruments deployed on the axis and on the hills on both sides we plan to monitor relative vertical crustal movements from relative variations among the three pressure gauges and relative horizontal movement from acoustic ranging among the three instruments. The health of the instruments was confirmed after the deployments through acoustic telemetry. We plan to retrieve them in September 1998 by using acoustic releasers. As a hydrothermal vent field is located 800-900 m southward, we hope to examine the activities in relation to the seafloor crustal movements and ocean tides.

**Keywords** : southern East Pacific Rise, spreading axis, seafloor pressure measurement, seafloor acoustic ranging, seafloor crustal movement, hydrothermal activity

\* 1 東京大学海洋研究所

\* 2 Ocean Research Institute, University of Tokyo

## 1. はじめに

GPSの観測等から分かるようにプレートの大部分は一定速度で運動しているが、沈み込み帯の地震やアイランドの拡大運動の観測データは、プレート境界の変動は間欠的であることを示している。しかし高速拡大系ではリソスフェアも地殻も薄く、ある程度連続的に拡大している可能性はある。一方、東太平洋海膨の水平方向の変動帯の幅は20 km以上ある (Carbotte et al., 1997) ので、中軸谷付近の変形は、たとえあっても小さいという推定も成り立つ。南部東太平洋海膨は地球上で最も高速に拡大している中央海嶺である。したがってここは、海底の火山活動と熱・物質フラックスの放出活動が地球上で最も活発な海嶺であり、海嶺活動の長期モニタリングに最適の場所である。そこで1997年7月に行われた「よこすか/しんかい6500」の航海において、南緯18度25.5分付近の南部東太平洋海膨の拡大軸を横断する海底圧力・測距の長期観測を開始した。図1に示すように、地磁気異常の観測から、この付近の両側拡大速度は年間14 cm程度であると推定されている。

海嶺軸を横断する測線に沿って相対的な圧力変動と距離変動を長期モニタリングし、熱水活動や水温変化・潮汐等との関連を明らかにするために海底圧力測距計3台を開発し、まず相模湾において海底観測試験を行った。また海底設置用フレームを用いて3台の装置を1潜航で設置するための陸上試験も行った。測器の概要とその試験、海嶺軸を横断する測線上への設置等について、簡単にまとめた。

## 2. 海底圧力測距計

今回開発した海底圧力測距計は、海嶺軸を横断する測線に沿った相対的な圧力変動と距離変動の長期モニタリングを目的としている。圧力センサーはParoscientific社製の水晶圧力計である。水平測距には、5次のm系列信号を用いた相関処理により精密音響測距を行う装置と温度補正用の精密な水晶温度計を用いている (藤本, 1995)。横方向の測距を行うために、音響素子は海底から3m程度の高さに保持する必要がある。1回の潜航により3台の装置を展開しなければならないという制約から、測器を小型化する必要もある。そこで、これまで用いていたフレームはやめて、約2mの長さの支柱を採用した。当然、低層流によりある程度は傾くので、その補正をするために、分解能約0.1度の姿勢計 (方位計と2成分の傾斜計) を用いている。電池及び記録装置は、20分間隔の測定で13ヶ月以上の観測が可能となっている。

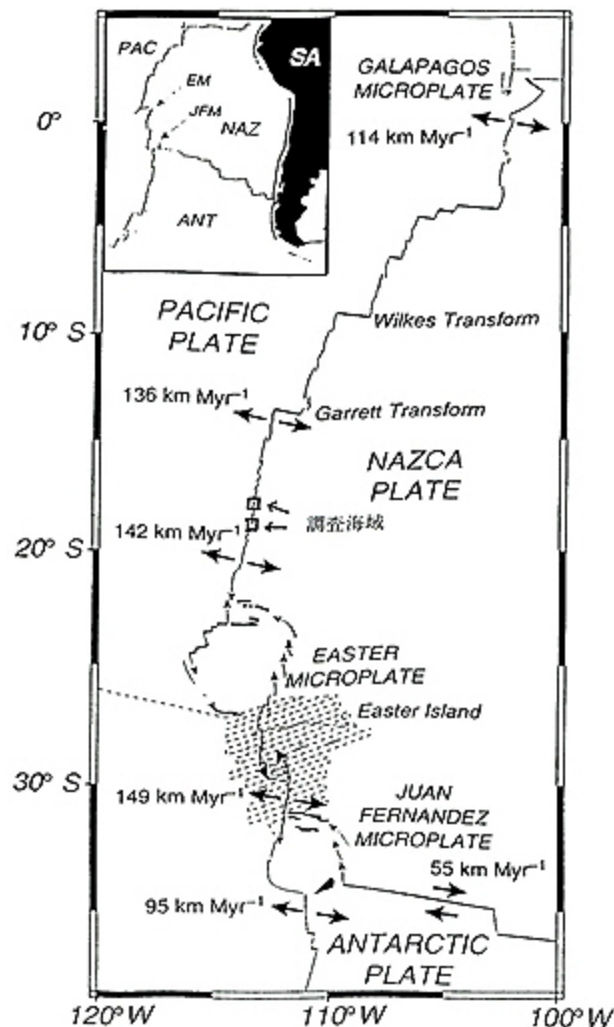


図1 東太平洋海膨南部のテクトニクスの概要を示す図 (Hey et al., 1995) と調査海域

Fig. 1 A map showing the tectonic setting in the southern East Pacific Rise (Hey et al., 1995) and the survey area.

圧力計以外のセンサーと、データ収録部、電池等は、外径50 cmのチタン合金製耐圧殻内に格納してある。耐圧殻は6,000 mの水深まで利用できるように、7,200 m水深に相当する耐圧試験済みである。観測に適した地形に設置するために、設置は潜水調査船を用いて行うが、回収時には、モータードライブ方式の音響切り離し装置を用いて、支柱と重りを切り離して自己浮上させる。この切り離し装置もチタン合金製の耐圧容器を用いている。またモータードライブ方式のため測器を調整後切り離し試験を行うことができるので、信頼性に優れている。潜水調査船で設置するので、その音響通信等により音響切り離しが作動しないように、あらかじめ設定された期間は音響切り離しを禁止する機能を付加した。また各測器は簡単な音響通信機能を備えており、観測データの一部を船上に回収することができる。

### 3. 海底設置試験

東京大学海洋研究所の研究船淡青丸のKT-97-4次航海(97年4月19日-4月25日東京港)において、測器3台に短期計測用の電池を装備して持ち込み、2台の装置を相模湾の水深約1,400mの海底に設置し、圧力計・測距計による海底視測を行った。残りの1台を舷側から吊りおろして、海底の2台との測距を計画していたが、海況不良のため、実行できなかった。音響切り離しの禁止時間を33時間に設定し、5日後の24日に切り離しコマンドを送り無事2台の装置を回収した。圧力、測距、装置の姿勢角ともに20分毎に計測され、正常にデータ収録

が行われていることを確認した。図2はその間に1台の圧力計で視測された圧力変動と、2台の圧力計の差圧を示している。短周期の温度変動に起因すると考えられる短周期の変動を除けば、圧力差の視測による相対的な鉛直変動の視測は約2cmの分解能を持っていることが分かる。その後同じ型式の圧力計を相模湾の海底に約200日間設置した。得られた視測データは、圧力差のドリフトは直線状であり、容易に補正できることを示している。

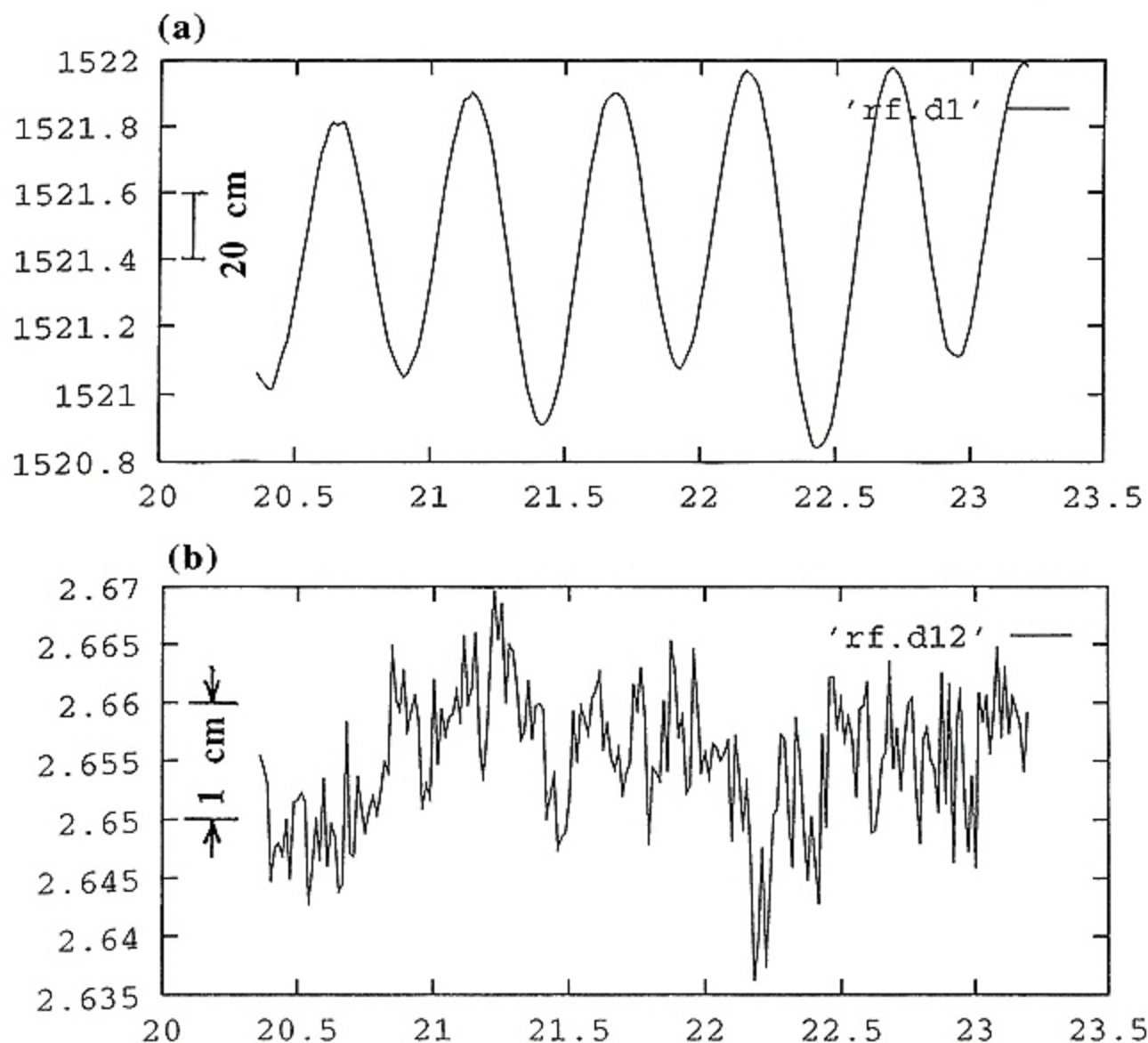


図2 (a) 相模湾海底における1台の海底圧力測距計の圧力視測データ  
(b) 2台の測器の視測データから得られた相対的な圧力変動

Fig. 2 (a) Pressure variation observed by an OBPR (Ocean Bottom Pressure/Range meter) on the seafloor of Sagami Bay.  
(b) Differential pressure variation obtained from the data of the two OBPRs.

#### 4. 海底設置用フレームとその陸上試験

3台の装置を1潜航で設置するために海底設置用フレームを作成した。船上で組み立て、海中に投入後、着底するまでは測器がフレームからはずれることがなく、しかも潜水調査船で簡単にその測器を取り外せる必要がある。「しんかい 6500」の運航チームとの予備的な打ち合わせにおいて、この作業をどのように進めるかが問題となっていたので、測器吊り下げ用のワイヤの長さ等を最終的に調整し、このフレームに3台の測器を取り付ける陸上試験を97年6月6日に行った。作業手順における問題を解決するとともに、その手順をビデオ撮影し、運航チームにあらかじめ検討してもらうことが目的である。

最初にまず浮力試験を行った。先の海底設置試験では、10日間程度の観測に必要な電池を利用したので重量も少なかったが、実際の観測では13ヶ月用の電池を用いるので、確認が必要であった。近くの岸壁で海水中に浮かせて、浮力と浮上時の姿勢をチェックした。基本的にはよいという結果が得られたが、吊り下げ用のパイプをさらに軽量化することにした。

次にフレームに3台の圧力測距装置を吊り下げる作業を行った。予めフレームを組み立てておき、大型のクレーンでそのフレームを吊り、図3(a)に示すようにユニーク車のクレーンで測器を1台づつ吊り上げ、フレームから吊り下げた。船上では、フレームを適当な場所に固定することが問題になるが、基本的にはこの手順で作業ができるという目処がたった。後述するように、船上では少し異なる方法で組み上げるようになったが、陸上における試験はその方法を考えるたたき台にはなった。

#### 5. 「しんかい 6500」による海底設置

東太平洋海膨南部(S-EPR: Southern East Pacific Rise)における熱・物質フラックスの計測と海嶺活動の長期モニタリングを目的とする海洋科学技術センターの「よこすか/しんかい 6500」の航海が、97年夏に2レグにわたって実施された。圧力測距計は、地質調査所の浦辺徹郎博士を研究主任とする第1レグで海嶺上に設置された。7月10日にタヒチのパペーテを出港し、7月17日から8月6日まで現場海域で3週間の観測作業を行い、8月13日にチリのバルパライソに入港するまでの5週間の航海であった。この海域は、通常はこの季節にはあまり海況はよくないのであるが、この年は大規模なエルニーニョが発生したためか、概して海況はよく、15回の潜航を全て実施することができた。

東太平洋海膨南部は超高速拡大海嶺である。一般に高速の拡大系では、リソスフェアが薄いため正断層地形が発達せず、マグマから生成された地殻がまわりよりも温度が高く密度も低いので、逆に海嶺軸は地形的な高まりを示す。このことは東太平洋海膨南部にもあてはまるが、興味深いことに、その海嶺の一部では拡大軸に小規模な谷地形が発達している。97年のEPR航海では、このような谷地形がある部分(RM28 サイト)と、ない部分(RM24 サイト)に長期観測システムが設置された。ともに熱水活動が見られるが、RM24 サイトでは断層が少なく、比較的新しい熱水活動が多く見られるという典型的な東太平洋海膨型の熱水活動が観測されている。図4に示すRM28サイトでは逆に断層が多く、図中の星印の場所に比較的古い、高温のブラックスモーカーの活動が観測されている。この場所ではテクトニックな活動が比較的盛んであろうと推定されており、この図に示すように多くの計測器が設置された。短期観測用の海底地震計(OBS)4台は航海終了前に回収されたが、長期観測用の海底地震計(LTOBS)2台、測距計(SeaFAR)2台、温度計測用係留系(SMAT)、マルチモニタリングシステム(Manatee)、流速計(CM)などとともに圧力測距計(OBPR: Ocean Bottom Pressure/Range Meter)3台が長期観測を続けている。

圧力測距計3台は、日本で耐圧殻内の組み立て調整を完了して「よこすか」に積み込み、パペーテにおいてそれらを取り出して再チェックし、切り離し部分とビーコン、フラッシャーを取り付けた(図3(b))。船が現場海域に着いた7月17日に、潜水調査船の測位用音響トランスポンダ3台を設置後、圧力測距計3台をまとめて海底に投下した。運航チームは、クレーン1台で作業ができるように、測器をフレームに固定する方法を再検討した。フレームの下部を分解しておき、クレーンで吊ったフレームの上部に測器3台を吊り下げた後で全体を少し吊り上げ、フレームの下部を取り付ける方法を採用した。その後で、それぞれの測器に厚い円盤状の重りを取り付けた。図3(c)で分かるようにこの日は幸い海況がよかったが、多くの揺れ止めを取って慎重に作業を進め、無事投入できた。運航チームの協力により、このフレームに潜水調査船用の音響切り離し装置とブイが取り付けられ、海底の投下位置を決定するとともに、圧力測距計3台を海底に設置後に重りを切り離して回収できる係留システムとして投入された。

設置作業は「よこすか」のマルチナロービーム観測により得られた図4の地形図に基づいて行った。谷の中央

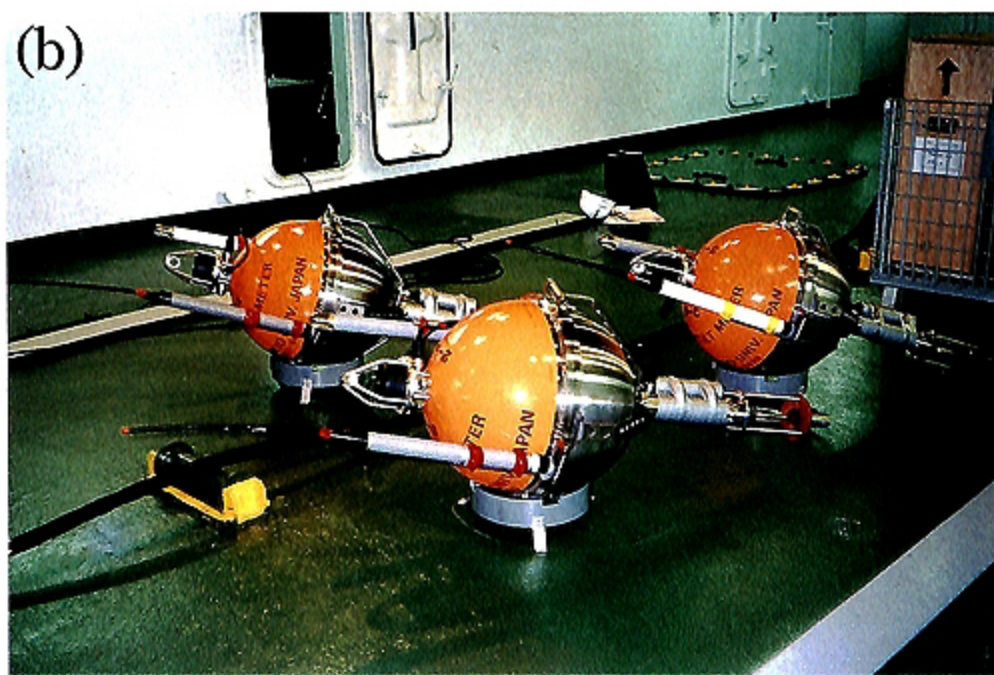
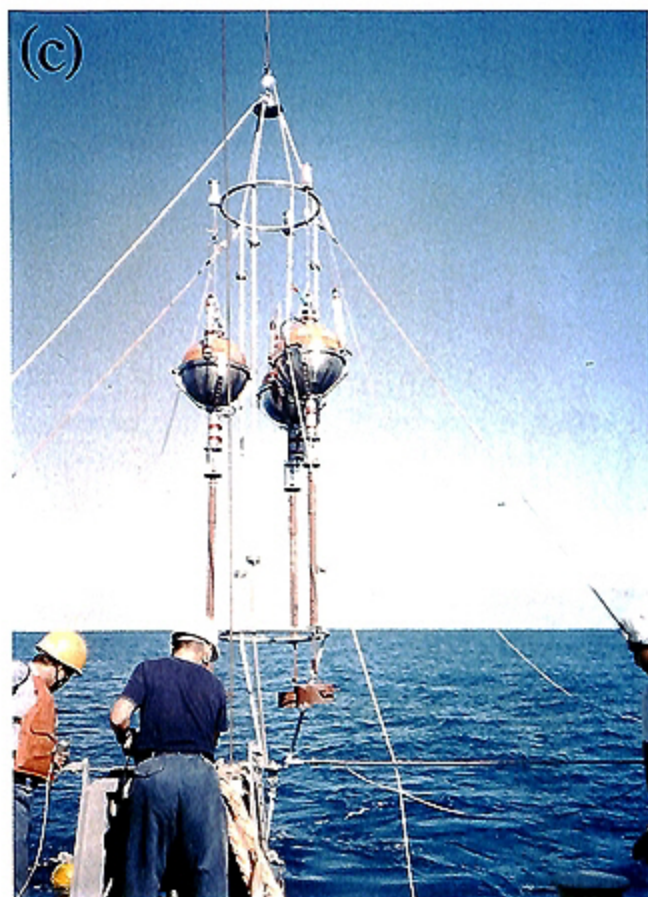


図3 (a) 圧力測距計3台同時設置用陸上組立試験。(b)「よこすか」の甲板上に並んだ圧力測距計。(c)「よこすか」船上でフレームに固定される3台の圧力測距計。

Fig. 3 (a) A snap shot of a trial for simultaneous delymet of three OBPRs. (b) Three OBPRs on the deck of the "Yokosuka". (c) Three OBPRs being deployed in a frame from the "Yokosuka".

付近に投入したが、北西方向の流れがあったらしくて、谷の中央より100m余り西側に着底したことが分かった。そこで次に圧力測距計との距離を測定してみると、1台だけ約20m深い位置にあることが分かった。1台の測器はフレームからはずれて、海底に落下したらしいと判断した。

翌日、この海域最初の潜航である「しんかい 6500」

第375潜航で着底地点に潜航したところ、フレームの係留系は西側の急崖の下部に着底しており、予想通り1台の測器は海底に落ちていることが分かった。図4では分からなかった急崖があり、流れのために運悪くその崖の下部付近に着底したために、なんらかのはずみに1台の測器が落下したようである。そこでまず海底にある測器を掴み上げて西側の高台に設置した (OBPR-3A)。その

Instruments in S-EPR RM28 Site: MODE'97 Leg 1

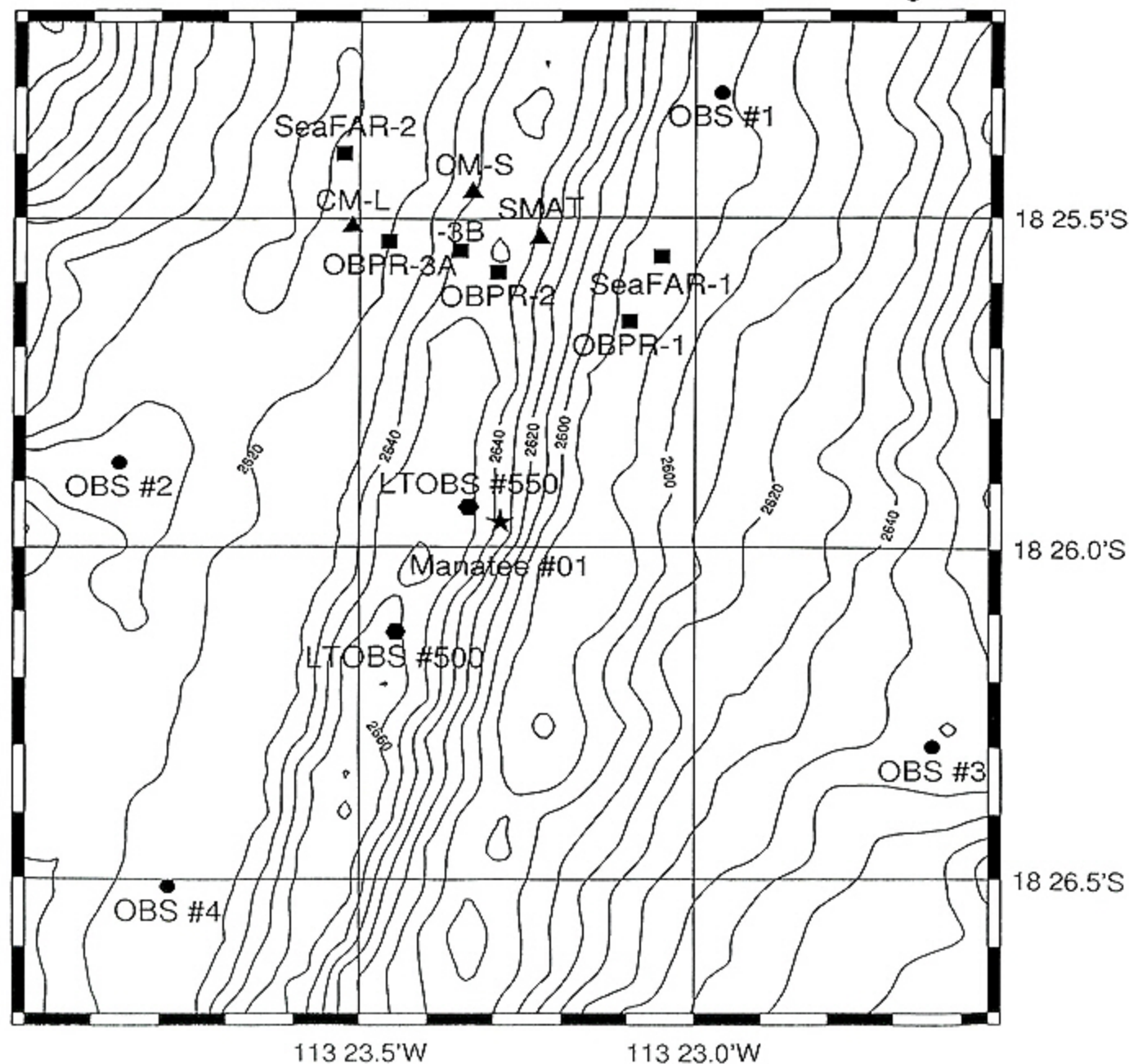


図4 RM28 サイトに設置された計測器  
Fig. 4 Instruments deployed in RM28 Site.

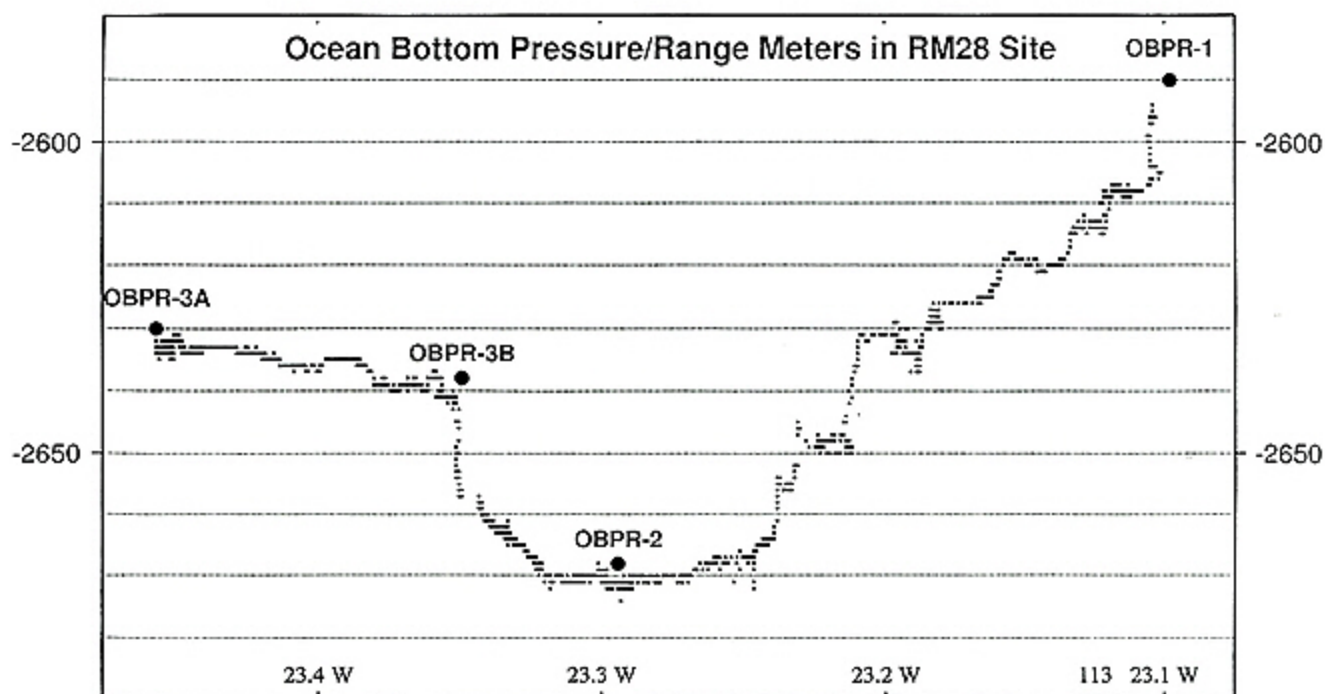


図5 RM28サイトにおける東太平洋海膨拡大軸の地形断面図と海底圧力測距計の設置位置

Fig. 5 Cross section of the spreading axis of the East Pacific Rise in RM28 Site and location of the OBPRs (Ocean Bottom Pressure/Range meter).

後再びフレームに戻り、2本のマニピレータにより2台の測器を掴み上げ、1台（OBPR-2）を谷の中央に、残りの1台（OBPR-1）を東側の斜面を登りきったテラス状のところに設置した。その後、SeaFAR-1を見つけた後に、OBPR-2とOBPR-3Aのビデオ撮影をして、潜航調査を終えた。設置作業は成功したと思われたが、あとで潜水艇の深度と海底からの高度のデータを解析すると図5に示す結果が得られ、OBPR-3AとOBPR-2の間の測距はできないことが判明した。1潜航で3台設置しなければいけないということで、時間を節約するために海底観察を省略して西側のOBPR-3Aを設置したのがいけなかった。

幸い海況に恵まれ、予定した12回の潜航調査が完了したので、補足の潜航調査が行われることになった。西側のOBPR-3Aを西側の高台の東端OBPR-3Bに移動する作業が認められ、第388潜航で実施した。再設置後の3台の測器の位置を図5に示した。この再設置作業の後、音響通信により再度測器の動作確認を行った。

## 6. まとめ

圧力測距計3台をまとめて海底に投下することは、多くの人手を要するたいへんな作業であった。その後の潜

航調査で判明したことであるが、海底に設置した装置は、ROV-Homerという小型の位置決め装置があれば簡単に発見できたのである。このことが事前に分かておれば、それぞれの測器にROV-Homerを付けて、3台別々に海底に設置することもできた。このように後から考えると反省点はいくつかあったが、関係者の協力により、地球上で最も高速に拡大している東太平洋海膨南部の拡大軸を横断する測線に沿って海底圧力測距計3台を設置できたことは成功と言えよう。設置後に動作確認もできた。

これらの測器は、科学技術庁科学技術振興調整費により米国の研究船アトランティスと潜水調査船アルビンを傭船し、98年9月の航海において回収されることになっている。測器の設置点の南側800-900mに熱水活動域があり、熱水活動や地震活動などの観測が行われている。この南部東太平洋海膨では熱水活動の周期がかなり短いという報告もあるので、海底地殻変動と地震活動や熱水活動との関係や、潮汐に伴う圧力変動と熱水活動の関係等について観測データが得られることを期待している。

## 謝 辞

圧力測距計の開発では、海洋電子（株）の村上英幸氏に負うところが大きい。「しんかい6500」による設置作

業は、井田司令はじめ、今井副司令、橋本航法管制長、パイロットの赤澤氏、佐々木氏ほかの運航チームの協力なくしては出来なかった。圧力測距計3台は、科学技術庁科学技術振興調整費「海嶺におけるエネルギー・物質フラックスの解明に関する国際共同研究」に関する研究の一部を海洋科学技術センターから東京大学海洋研究所に委託された研究により開発したものであり、地質調査所の浦辺徹郎氏と山崎俊嗣氏、海洋科学技術センターの満澤巨彦氏には大変世話になった。東太平洋海膨における測器の設置を行った航海は、その科学技術振興調整費により経費の一部を負担することにより実現した。これらの関係者に感謝の意を表したい。

#### 参考文献

- Carbotte, A. M., J. C. Mutter, and L. Xu (1997) : Contribution of volcanism and tectonism to axial and flank morphology of the southern East Pacific Rise, 17°10'-17°40'S, from a study of layer 2A geometry, *J. Geophys. Res.*, 102(B5), 10165-0184.
- Hey, R.N., P.D. Johnson, F. Martinez, J. Korenaga, M. L. Somes, Q. J. Huggett, T. P. LeBas, R. I. Rusby, and D. F. Naar (1995) : Plate boundary reorganization at a large-offset, rapidly propagating rift, *Nature*, 378, 167-170.
- 藤本博巳 (1995) : 海底精密音響測距-水平方向の海底地殻変動観測, *海洋調査技術*, 7(2), 1-9.

(原稿受理：1998年7月16日)