

## 11 - 4 長期・広帯域海底地震観測の現状

### Present Status of Long-term and Broadband Ocean Bottom Seismic Observations

東京大学地震研究所 塩原 肇

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

制御震源による地下構造探査や微小地震・余震活動調査を主目的とした、短周期センサーを備える自己浮上型海底地震計は 1990 年代前半までに一応の完成の域に達し、現在多数台による高密度観測が実際に行われるようになった。しかし、長期間の地震活動の推移の連続的把握、広帯域センサーによる遠地地震記録を用いた地球深部構造の探査、といった陸上では既に実施されている観測が海域では実現されておらず、次の開発課題と考えられていた。これを解決すべく、地震研究所を中心とする機関によって、広帯域センサーによる長期海底地震観測を行う為のシステムを開発してきた。この機器開発は「海半球ネットワーク計画」の鍵でもあり、これは観測点密度の低い西太平洋域に約 1000km 間隔で広帯域地震観測点を配置し薄い海洋性地殻を透して地球内部構造を覗くことを狙った計画である。そのため、この観測システムは、恒久的な観測点としての海底孔内地震観測所、及び機動的な配置を可能とする自由落下・自己浮上型の広帯域海底地震計、の 2 方式を併用することにより、少数点での高品質なデータの継続的取得と機動的かつ効果的配置による構造解析での解像度の向上を目指している。前者は三陸沖(JT-1/2, 1999)・北西太平洋(WP-2, 2000)・沖の鳥島近海(WP-1, 2001)に計 4 点、後者は三陸沖(1999)・北西太平洋(1999, 2000, 2001)・日本海(2001)等でのべ 6 点を設置し、現在 2 点で稼働中である。加えて、やや広帯域のセンサーを用いたアレイ観測用の長期海底地震計により、フィリピン海横断測線(1999)・三陸沖(2000)・マリアナ(2001)・日本海(2001)において、それぞれ約 1 年間弱のアレイ観測を実施している(第 1 図)。

#### 観測システム

海底孔内地震観測所(第 2 図)は、ODP 航海において海底下数 100m の掘削孔を設け、孔底部に広帯域センサー(CMG-1T, Guralp)をセメントで固定し、リエントリーコーン部に置く電源及びデータロガーまでケーブルで接続する構成である。電源としては、マグネシウム棒の溶解と海水中の溶存酸素を利用する海水電池又は大容量のリチウム 1 次電池を用い、数年間の運用を可能にしている。ODP 航海時にはシステムを起動するための水中脱着コネクタによる最終的なケーブルの接続が不可能であるので、海洋科学技術センターの無人潜水艇によってデータロガーの装着とシステムの起動及びデータの回収などの作業を行っている。

自由落下・自己浮上型の広帯域海底地震計は、10 年以上に渡り改良と実績を積み重ねてきた信頼性の高い同型式の海底地震計の技術を基に開発した(第 3 図)。これまでの短周期センサーに較べて大型で重量の大きい広帯域センサー(CMG-1T)を搭載するため、能動的レベリング装置を開発しセンサーの水平を保てるようにした。データの記録には 2.5 インチの磁気ディスク装置 4 台を使用し数 10G バイトの容量を確保している。よって、3 成分のデータに Win フォーマット準拠のデータ圧縮を施すことで、1 年以上の連続記録を余裕を持って収録できる。また、長期間の海底設置による金属腐蝕への対策として、耐圧容器だけでなく全ての外装に対して、錘の電蝕切離部も含めてチタン

合金を採用している。1997年夏から1年強の期間、東太平洋海膨の拡大軸に開発途中のものを設置した試験的観測では、外装に一切の腐蝕が認められなかった。この成果の基に、耐圧容器として直径65cmのチタン球を採用し、センサーとレコーダーに加えて電源であるリチウム1次電池を収納している。回収時の錘切り離しに使う音響トランスポンダーはデータ通信機能を備えており、海面・深海底間でのレコーダー等との通信・制御が可能である。

#### 取得したデータ

これまで実施した観測では、長期間の海底設置においても本質的な障害は発生せず、長期海底観測の技術・経験の蓄積が大いに得られた。北西太平洋のWP-2観測点では、孔内観測データが連続3ヶ月、先行して実施した海底面観測のものが2観測期間のべ約1年分取得されている。また、フィリピン海横断測線では約7ヶ月間のデータが8点で、三陸沖のアレイでは約9ヶ月間のデータが5点で得られている。現在は、WP-2での海底・孔内並行観測が2001年8月から、マリアナ及び日本海でのアレイ観測が2001年10月からそれぞれ1年間のデータ取得中であり、またWP-1のシステム起動を2002年3月に実施している。

WP-2観測点では、孔内観測とほぼ直上の海底面での同時の比較観測データが得られている。孔内観測での雑音レベルは期待通りに10秒より長周期側で充分低く、その時間変化が殆ど見られない特徴がある。海底面観測では上下動成分については孔内観測と大きな違いは無いが、水平動成分では長周期側も含めて10倍以上も雑音レベルが上がるのが周期的に見られる。これは潮汐による流れの変化や揺らぎで地震計自体の傾斜変化を起こしているのが主たる原因と考えられる。

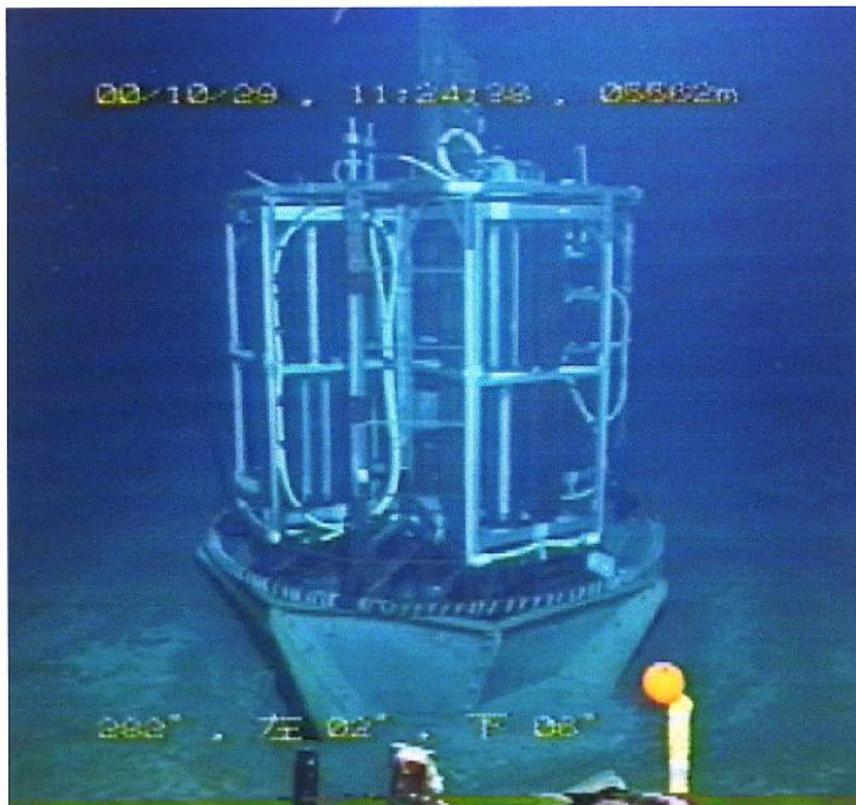
#### 今後の課題

すでに示したように、自由落下で海底面に設置される現在の広帯域海底地震計では雑音レベルの高さと変動の問題が存在する。しかし、機動性のある海底地震観測能力を確保するには、使用できる船舶の自由度が大きいため、自由落下・自己浮上型の海底地震計の方式の継続的発展は必須と言える。この雑音レベルを低減する対策としては、センサー部を海底堆積層に埋め込むことで底層流による影響を避ければ良いことが、すでに報告されている。よって、自由落下時/後に何らかの手段でセンサーを入れた耐圧容器を海底面へ押し込む方式の海底地震計を今後開発する方針である。もし、無人潜水艇の利用が容易であれば、この方式の海底地震計の開発はより簡略化されることが期待される。また、この埋設センサー型海底地震計の技術を用いれば、海底強震計による震源域直上での観測、ゆっくり地震の検出などが可能になると考えられる。

これまで示してきた観測システムはオフライン方式のものであるが、海底ケーブルと接続したオンライン方式の地震観測例として、ハワイ・カリフォルニア途中のH2O観測点(ハワイ大学他)、十勝沖での海底面設置広帯域地震計接続実験(海洋科学技術センター)がある。前述の孔内地震観測所については、海底ケーブルに接続して電源の供給を受けるオンライン方式の観測システムへ移行し、リアルタイムでデータを取得することも考えられる。

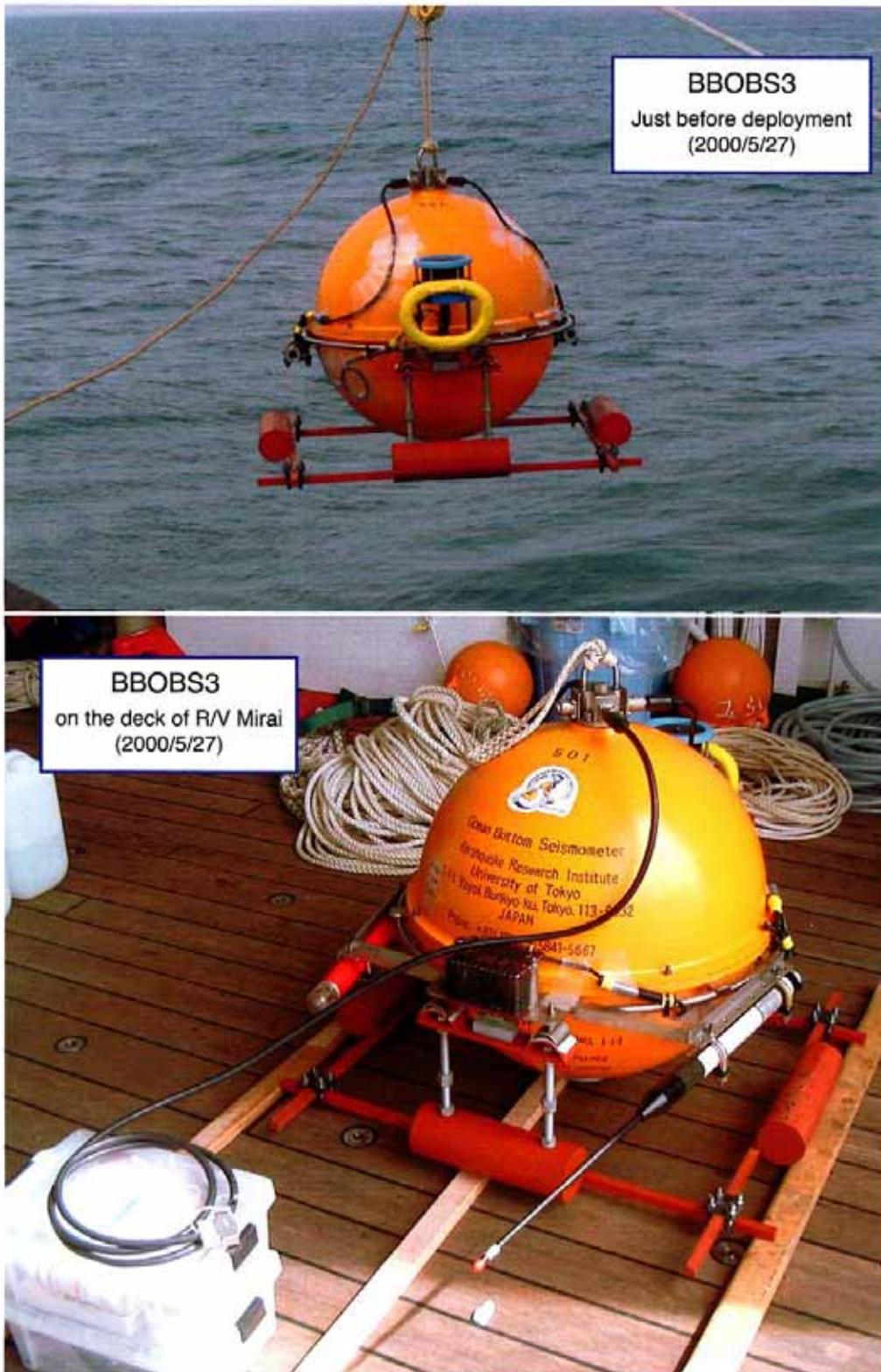
これらの長期観測が可能な広帯域海底地震計の開発成果は、地球深部構造の研究にとどまらず、日本周辺海域に設置することにより、地震発生にいたる地殻活動の解明に今後大いに活躍することが期待される。





第 2 図 2000 年 8 月に北西太平洋に設置した WP-2 海底孔内地震観測所の海底部。同年 10 月の ROV 「かいこう」によるシステム起動時の映像。

Fig.2 The sea floor unit of the WP-2 oceanfloor borehole seismic observatory, deployed in Aug. 2000. This picture was taken by a ROV, KAIKO (Jamstec), during the system initiation in Oct. 2000.



第3図 自由落下・自己浮上方式広帯域海底地震計の外観。耐圧容器は直径 65cm のチタン球で、80kg の錘を含めて設置時の空中重量は約 230kg である。

Fig.3 The broadband OBS, free-fall deployment and self pop-up recovery type. It has a titanium pressure case (D=65cm), and the weight is about 230kg with the anchor of 80kg.