

## 12 - 1 第 189 回地震予知連絡会重点検討課題「海域のモニタリング技術の動向」概要 Summary of the intensive discussion subject for “State-of-the-art technology for geophysical monitoring on the sea floor”

東京大学地震研究所  
Earthquake Research Institute, University of Tokyo  
篠原雅尚  
Masanao Shinohara

### 1. はじめに

現在、プレート境界では、通常の地震の他に、多様なすべり現象が発見されている。しかしながら、現象が発生している場所の直上にあたる海域におけるデータはほとんどないことから、その発生状況を正確に把握することが難しい状況となっている。プレート境界では、アスペリティにおける大地震の発生以外にも、非地震性すべりが発生している。特にアスペリティ付近で発生する滑り現象の詳細を明らかにすることは、地震発生予測研究において、重要なデータとなる。海溝型地震のアスペリティは、海域下となっており、詳細を把握するためには、その直上である海底において、地震及び地殻変動観測を実施し、常時モニタリングを行うことが重要である。しかしながら、これまでは、海底におけるモニタリングは技術的に困難であり、いくつかの例を除き、ほとんど行われてこなかった。そのために、活動の詳細が把握できないばかりではなく、地震発生予測に向けたモデル化、およびそれに基づくシミュレーション構築の障害となっている。

近年、1年以上の連続観測可能な長期観測型海底地震計（OBS）を用いた繰り返し観測によるモニタリングや、海底ケーブルを用いたリアルタイム観測の高度化、さらには、GPS 音響結合（GPS/A）方式による海底地殻変動モニタリングなど、海域における各種モニタリングが可能となりつつある。プレート境界における諸現象のモニタリングに関しては、これまでも重要検討課題として地震予知連絡会において取り上げられ、情報交換や議論が行われてきた。そこで、これらの議論を受けて、今後行われるであろう予測シミュレーションをも視野に入れて、これまで実施不可能であった海域におけるモニタリング技術の動向の把握、およびその高度化に向けた検討を行った。

### 2. 議論の概要

今回は、まず、海域における地震モニタリング観測について、4名の研究者に発表を頂き、最新の研究成果・技術動向を解説頂いた。その後、今後重要度が増すと考えられる海域における地殻変動モニタリング観測について最新の研究成果・技術動向を、4名の研究者に発表頂いた。その後、全体討論を行った。各研究者による発表の概要は以下の通りである。

#### 2 - 1. 長期観測型 OBS を用いた繰り返し観測によるモニタリング

東京大学地震研究所山田知朗氏に、1年間海底で連続観測可能な海底地震計の繰り返し観測によるモニタリングについて、手法とこれまでに得られている成果について、解説いただいた。海底において1年間連続観測可能な海底地震計の開発により、繰り返し観測などの新しい観測手法が可能となった。その結果、千島海溝・日本海溝沿いの根室沖から房総沖まで、連続的にほぼ均質に、正確な地震活動を明らかにし、東北日本弧前弧域におけるプレート境界の3次元形状が求められた。

また、茨城沖において、繰り返し長期観測より、M7の地震を観測し、正確な本震震源位置を求めることができた。地震活動が低調なため調査観測が難しかった、東南海・南海地震想定震源域および周辺、特に紀伊半島沖における地震活動の詳細を明らかにできた。これにより、想定震源域境界域付近における地震活動の地域差が明らかとなった。

## 2-2. 気象庁の海底ケーブル観測システム

気象庁長谷川洋平氏から、気象庁が観測を行っている海底ケーブル観測システムについて、解説があった。新設された東海・東南海沖の海底ケーブル観測システムからのデータを用いることで、南海トラフ付近で発生する地震の震源決定精度が向上することが報告された。また、房総沖に設置されている海底ケーブル観測システムからのデータを用いることで、房総半島南方域の海域で沈み込む太平洋プレートに、フィリピン海プレートが接触している領域での精度向上が見られる。これらから、海域における地震活動の正確な理解に、海底ケーブル観測システムが有効であることが示された。

## 2-3. 地震・津波観測監視システム (DONET) によるモニタリング

海洋研究開発機構有吉慶介氏より、紀伊半島沖に設置されている地震・津波観測監視システム (DONET) について、報告があった。海洋研究開発機構では、2006年より紀伊半島沖熊野灘に多点多種の地震計、水圧計を稠密に展開する海底観測システム、地震・津波観測監視システム (DONET) を構築している。DONETには、圧力センサシステムとして、水晶水圧計、ハイドロフォン、微差圧計、精密温度計から構成され、海中音波から、津波、海底地殻変動までの幅広い現象を観測対象とする。これまでに予定している20観測点のうち8観測点の設置が完了した(2011年1月末現在)。2011年1月18日に熊野灘で発生した地震 (M3.8) では、震源がDONET観測点近傍のため、陸上観測点に比べて地震波の到達時刻が約5～10秒早く到達することが確認された。2010年12月21日に父島近海で発生した地震 (M7.4) では、地震発生の約1時間半後に明瞭な津波の信号が水晶水圧計に記録され、海岸の検潮所よりも約20分早く津波を検知した。

## 2-4. 新たに開発したインライン式海底地震観測システム

東京大学地震研究所篠原雅尚からは、東京大学地震研究所で新たに開発されたインライン式海底地震観測システムについて、報告した。新規に開発したケーブル式海底地震観測システムは、インターネット技術を用いた通信回線の冗長化による観測の信頼性の向上、最新半導体技術を用いた地震計部の小型化などが特徴である。データは、光ファイバーを用いて伝送され、1本のケーブルに複数の地震計が直列に接続できる (インライン式)。システムは、2つの陸揚げ局と伝送路の2重のリング構成と最新のICT技術の利用により、システムとして高い信頼性を実現している。センサーには、日本航空電子の小型サーボ型加速度3台を用いて、直交3成分の観測を行う。2010年8月に、新潟県岩船郡粟島浦村 (粟島) の南方海域に、開発されたケーブル式海底地震観測システムが設置され、順調にデータが収集されていることを報告した。

## 2-5. 海上保安庁のGPS/A観測システムとその結果

海上保安庁佐藤まりこ氏から、海上保安庁における海底地殻変動観測について、解説がなされた。海上保安庁では、太平洋側海域に18点のGPS/A観測システム海底局を設置しており、GPS/A

A方式による海底地殻変動観測の現状として、これまでに定常的な地殻変動、地震に伴う地殻変動を検出できていることが報告された。各観測点の観測頻度は、1年に3回であり、観測精度としては、位置は2乗平均誤差が2～3cm、5年程度の長期観測を行った場合には、速度では1年あたり1cmが得られている。また、解析方法として重心推定法の適用により、局位置の推定精度が向上すること、特に、高さ成分の精度の向上が顕著で、今後、上下変動の検出の可能性もあることが報告された。

#### 2-6. 名古屋大学のGPS/A観測システムとその成果

名古屋大学田所敬一氏から、名古屋大学で実施されている海底地殻変動観測について、報告があった。まず、名古屋大学で行われている海底地殻変動観測の原理と方法について、説明があった後、紀伊半島南東沖に4点、駿河湾に4点の観測点が設置されていることが紹介された。その後、これらの観測点で、M7クラスである2004年紀伊半島南東沖の地震、また、M6クラスである2009年駿河湾の地震で地震時の地殻変動が検出されたことが報告された。一方、プレート収束に伴う定常的な地殻変動も検出されていることが説明された。今後としては、精度向上のために、海中音速構造の空間変化（傾斜構造）の推定が重要であり、それに向けたブイを使った観測実験が紹介された。

#### 2-7. AUVと海底ケーブルを用いたGPS/A海底地殻変動観測システム

東京大学生産研究所望月将志氏により、最新の海底地殻変動観測技術について、説明がなされた。まず、地殻変動という時定数の長い現象を捉えるためには、それに応じた長期対応の観測体制を整備していく必要があり、必然的に観測システムにも、データ取得の効率化、省力化といった長期観測に対応した要件が求められることが説明された。現行システムが観測プラットフォームとして観測船を利用しているのに対し、新しいシステムでは自律航行型の海中ロボット（AUV: Autonomous Underwater Vehicle）を利用し、観測点近傍に設置した海底基地を基点にして、小型化した計測システムを搭載したAUVが、自動航行によって測線をたどり、観測を実施するシステムに関する技術開発について、報告があった。さらに測地基準となる海底音響基準局を、電源の確保に困らない海底ケーブル接続型のものとすれば、観測基準点の恒久化を実現し、長期観測への対応を図れることが報告された。

#### 2-8. GPS/A観測、海底上下変動観測と海底測距観測

東北大学藤本博己氏より、今後の海底地殻変動観測、特にGPS/A観測の高度化、精密水圧計による海底上下変動観測、海底測距観測について、報告があった。キャンペーン観測の継続による地殻変動の検出に関する課題としては、音速場のモデル化の試み（理論・観測）や小型観測ブイの開発が必要であることが示された。また、今後の方向として、“三角測量”から“GEONET”的な観測（高精度、多点、連続セリアルタイム）を行う重要性が説明された。また、リアルタイム観測システムとして、係留ブイを用いたGPS/A観測の技術的な問題点が議論された。海底上下変動観測については、GPS/A観測では、海洋の平均音速変化との区別が課題であること、海底圧力観測では、海底圧力計（OBP）を用いることにより、分解能は1mm程度であり、温度の影響はほぼ補正できるが、センサーのドリフトが重要な課題であることが示された。最後に現在開発中の海底測距観測について報告があり、短基線の海底間音響測距装置を開発し、4ヶ月余りの観測の結果、基線長1km弱の場合、2乗平均誤差1cm程度の繰り返し測定精度が得られていることが報告された。

### 3. まとめ

海域のモニタリング技術では、地震観測としては、自己浮上式海底地震計のデータ収録期間の長期化、海底ケーブル式観測システムの技術革新による低コスト化などにより、多点での長期のモニタリングが可能になりつつある。特に、海底ケーブルを用いる観測システムでは、従来のシステムから、多点多項目での観測システムへと移行している。海底ケーブル観測システムは、リアルタイムで多点多項目の観測が可能と言うことで、地震観測だけでなく、地殻変動観測にも有用であり、海底観測のインフラという観点で必要不可欠である。津波や地震の即時システムとしての役割もあり、今後の海域モニタリング観測の主流になると考えられる。一方、海底における地殻変動の観測では、GPS/A方式の精度が数cmとなった。今後、さらなる精度の向上と共に、多数の観測点での観測が期待される。一方、海底上下変動も、精密水圧計による観測によりモニタリングが可能である。これらから、海底の地殻変動観測（水平方向及び上下方向移動量の観測）モニタリングは、ほぼ実用化したと言える。海底における傾斜・歪み観測については、全体討論で議論があり、海底掘削孔を用いた先駆的な観測研究が行われているが、今後の技術開発が期待される。海域モニタリングは、観測技術の進展と共に進んでおり、これまでの各種観測が可能となった背景には、様々な分野の技術革新が大きく寄与している。今後、海洋工学などの技術的分野とのさらなる連携が、ますます重要である。