海半球観測研究センター 教授　塩原　肇

ー先端的海域固体地球観測ー

主たる連携教官 篠原雅尚教授・望月公廣准教授・一瀬建日助教

海域固体地球観測とは？

地球表面の2/3を占める海域は地球内部の状態や活動を知るために重要な場所ですが、厚い海水層が存在するため、海底での各種の観測には開拓的要素が現在でも数多く残っています。そのため、この分野での研究は、新たな知見を得ることを狙うために必須な先進的観測機器開発・実際の海域での大規模観測・解析手法の開発など、総合的な視点での一貫した研究を自ら行える、現在では稀少な分野です。

当研究室では、陸から遠く離れた海底で陸上の広帯域地震観測点と同等な観測を1年以上行える**広帯域海底地震計**を開発し、それを実際に多数使った観測研究を進めています。更に、陸上で行っている観測を海底でも実現させるという考えの下で、世界中でも最も先端的な各種海底観測の実用的機器開発も行っています。特に、今年度からは**「光量子技術」**に基づく最新型の重力・加速度センサーの国内での独自開発を、海底での単独観測に向けて開始します。

これらの観測・研究では、マントル構造といった地球深部の研究だけではなく、日本周辺で繰り返し発生する大地震の発生の場や詳細な事前・事後の過程を知ることも狙っています。そして、これまでの海底観測技術では見えなかった現象を、最新の広帯域地震**・測地学的手法**により、地震発生の「その場」で調べることにより、地震発生予測の基礎研究にも大きく寄与すると考えられます。

2010年以降、最新鋭の広帯域海底地震計を用いて、広大な大洋域での「普通のマントル」とは何かという課題を解明する、大規模観測研究を**国際協力**により継続して実施しています。

写真1　設置（投入）前の次世代型広帯域海底地震計（BBOBS-NX）。オレンジ色の球型耐圧容器がデータ記録部、下にある3つの筒が繋がったものが3成分を分離した広帯域センサー部となります。設置する際には両者を一旦固定し海面から投入し、着底後に潜水艇で分離展開作業を行います。

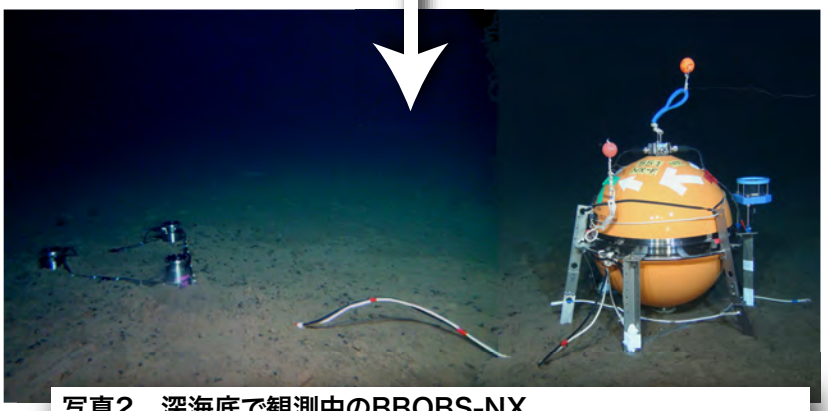

写真2　深海底で観測中のBBOBS-NX
（無人潜水艇「かいこう7000Ⅱ」で撮影）
左側にあるのが、3成分を分離した広帯域センサー部で海底面に潜っています。これにより、陸上観測並の地震記録が初めて取れるようになりました。また、センサーが安定しており、海底面での傾斜変動を同時に計測できることも分かってきました。

写真3　BBOBS-NXを潜水艇に頼らず、自律動作可能にしたNX-2Gシステムの長期試験機。2017～2018年に日本海溝近くで設置、無事に回収され、想定していた動作をすることが実際に確認できました。

左のNX-2Gに取り付けた深海ビデオカメラの自撮り動画3本へのリンク

具体的な研究活動項目

広大で未踏な海洋域での地震アレイ観測の実現

海底での長期間連続の地震観測は世界的にも事例が未だに少ないものです。日本では長年に渡り短期間の海底地震観測を多数行っており、そこで蓄積した技術を基にした、1年間以上の連続観測が可能な自己浮上型海底地震計を開発しました。1997年に東太平洋海膨での試験観測で能力を実証して以降、長期海底地震アレイ観測をフィリピン海・三陸沖・マリアナ・日本海などで実施しています。また、日仏共同の長期地震観測を仏領ポリネシア地域で2002年1月に開始し、この海域初の長期広帯域地震アレイ観測データを取得しました。この観測研究により初めて、コア・マントル境界から地表まで上昇しているように見えていた巨大なプルームが上部マントルでは細くなっていることを見いだしました(図1)。これらの観測実績の基に、2005年以降、大型科研費による大規模海底観測をフィリピン海・太平洋プレート上などで実施し、多くの研究成果を挙げています。現在は国際協力の下、「太平洋アレイ」計画という、プレートテクトニクスの根源に迫る観測研究を推進中です。

世界最先端技術での広帯域海底地震計の開発

地球深部内部構造の研究で必要な地震動を記録するには、数秒以上の長い周期の信号を捉えられる広帯域地震計を使う必要があります。高性能な広帯域センサーを組み込んだ自己浮上型広帯域海底地震計を開発し、観測研究を実施し、これまでの100回以上の観測実績から、深海底でも広帯域地震観測が出来ることを世界に先駆けて実証してきました。一方で、問題点も見えてきたため、陸上観測点に遜色ないデータを得られる次世代の観測機器を開発し、大幅な性能向上を実現しています(写真1,2)。これを使い、北西太平洋で「普通の海洋マントル」を解明する観測(特別推進研究)を2010年から行いました。この研究では、(a)プレートテクトニクスの鍵となるリソスフェアとアセノスフェア境界の物理的状態の解明、(b)地球に存在する水の殆どが広大な大洋域のマントル遷移層内に取り込まれているか、という現代の地球科学上で重要なテーマを明らかにすることを狙っています。このような観測研究が実施可能となったのは、新しい観測機器を開発し、実用的観測への供用が出来たからなのです。現在は、この高性能な機器を潜水艇を使わずに運用できる方式へ進化させたもの(写真3、図2)を開発しています。これが実用化できれば、海域での広帯域地震・測地学的研究の大きなブレークスルーになります。

海底での地殻変動観測機器の実用的開発

地球表面での固体地球物理学的現象を理解する上で、地震計で捉えられる時間範囲を超えた、より長周期の変動を検出することは重要です。しかし、海域でこの分野はこれまで殆ど進展がありませんでした。そこで、上記の広帯域海底地震計と高精度な水圧計を組み合わせ、地震波から地殻変動の帯域までをカバーする新しい観測機器を独自に開発し、2009年から実地観測を国内外で進めています。また、BBOBS-NX(写真1,2)を応用した海底面での傾斜変動観測の実用化にも取り組んでおり、房総半島沖でのスロースリップイベントをその直上で捉えることに、2014年1月に成功しました。

海底観測用の光量子技術センサー(絶対重力計)の開発

海底での重力計測は一時的なもの以外、可搬型の相対重力計の制約から実施できていません。活動的火山体なども含め、極限環境下での重力の連続モニタリングを可能としうる、最新の光量子技術による絶対重力センサーの開発を、物理学研究者と共に開始しています。実現までにはまだ時間がかかりますが、精密水圧測定と組み合わせ海底での上下地殻変動を海洋変動から分離、海底下プレート境界での物質移動を検出、火山体深部でのマグマ上昇を検知、などの地震学的研究・防災的発展へとつながるものです。

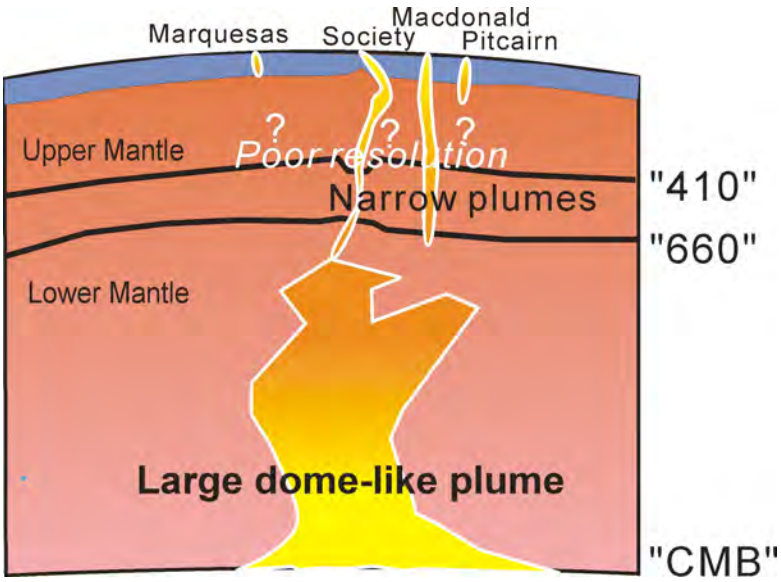

図1　フレンチポリネシアでの日仏共同の海陸長期広帯域地震観測から初めて見いだされた、大規模マントル上昇流のイメージ。陸上のグローバル観測網での研究結果から、この地域に存在が示唆されていた大規模マントル上昇流(プルーム)でしたが、海域に観測点が無かったため詳細なイメージは不明なままでした。2002～2005年に広範囲で、更に2009年から1年半はタヒチ島周辺でより詳細な観測を実施し、多くの海底観測データを取得しました。その最新の解析結果から、今までの陸上だけの観測からは分からなかった、このようなマントル上昇流の詳細な様子が見えてきました。

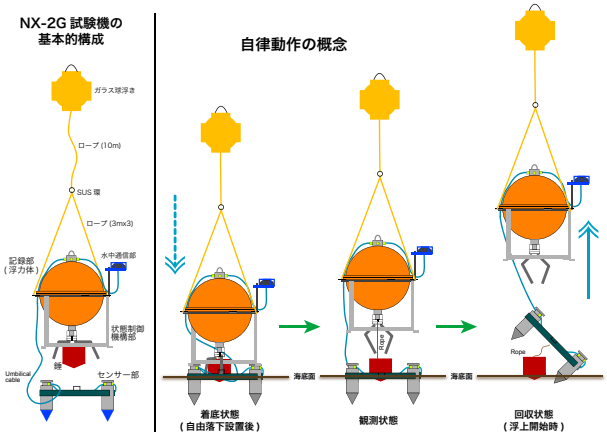

図2　写真1,2のBBOBS-NXを、自律動作させるNX-2Gシステム(写真3)を開発し、長期試験観測を実施、動作を実証しました。

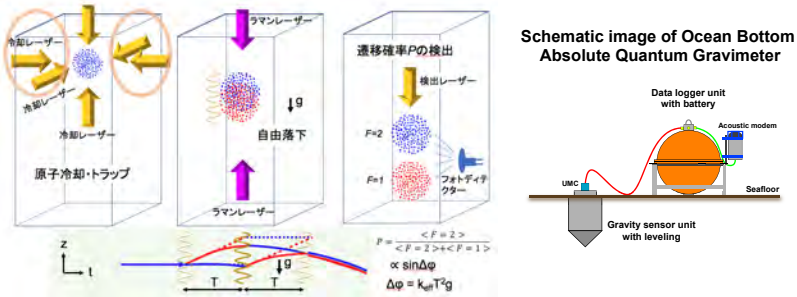

図3　光量子技術による原子干渉計(左)方式の絶対重力計は、陸上用としては実用化されています。他の高精度加速度センサーとのハイブリッド構成にすることで、高安定度・高精度・小型・低消費電力の実用的な海底絶対重力観測システム(右)を構築することを目標としています。

連絡先　内線:28287　居室:1号館709号室
メール: shio@eri.u-tokyo.ac.jp