

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2012

課題番号：20540408

研究課題名（和文） 巨大地震アスペリティの実体解明のための海域構造調査および解析手法の開発

研究課題名（英文） Development of an analysis and observation method of active seismic surveys for understanding entities of large-earthquake asperities

研究代表者

望月 公廣（MOCHIZUKI KIMHIRO）

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：80292861

研究成果の概要（和文）：

海底下～10 km 以上深いプレート境界面上で、プレート間の固着が強い場所が、繰り返し発生する海溝型巨大地震の震源域である。なぜ固着強度が強くなるのか、その要因を解明するために、海域で人工震源を用いて行う構造調査で取得される波形記録の解析手法の開発を行った。これまでの手法では不十分であった解像度の向上に成功し、屈折波やプレート境界からの反射波に関して、到達エネルギーを明瞭に確認することができた。

研究成果の概要（英文）：

The fault plane of repeating large subduction earthquakes is located where the mechanical coupling between the subducting and overriding plates is strong along the plate interface at depths more than 10 km deep beneath the seafloor. I developed a method to analyze waveform records obtained in marine active-source seismic surveys to understand factors that control the mechanical coupling along the plate interface. I successfully improve temporal resolution of the waveforms, and clearly identified arrivals of refracted waves and plate-interface reflected waves.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	400,000	120,000	520,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学，固体地球惑星物理学

キーワード：アスペリティ・プレート境界・人工地震構造調査・反射強度・巨大地震

## 1. 研究開始当初の背景

海溝型巨大地震の震源域となる、プレート間固着強度が強い領域であるアスペリティは、海底下深さ～10 km 以上のプレート境界面上に存在する。プレート境界面の一部が強く固着してアスペリティとしてふるまう要因として、プレート境界面の凹凸や、あるいは

はプレート境界面に存在する物質の物理的性質（摩擦特性）の不均質が挙げられる。このアスペリティの要因を詳細に解明するには、海底地震計を用いた海域人工地震構造調査を行って調べることが、もっとも直接的かつ効率的な方法であり、必要不可欠である。近年のコンピューター技術の発展により、構

造調査の海底地震計記録から、初動走時インバージョン法によるトモグラフィー解析が一般的となり、合理的な速度構造モデルに基づく構造不均質の議論が可能となった。しかしながら、アスペリティの存在するプレート境界面の深さが $\sim 10$  km 以上と深いため、比較的low周波に卓越したエネルギーを発震する大容量のエアガン・アレイを用いる必要があり、十分な解像度を持って形状や物性の不均質構造を得ることができなかった。構造の解像度を向上させることにより、海溝型巨大地震アスペリティの形成要因に関する詳細な議論が可能となると考えられる。

## 2. 研究の目的

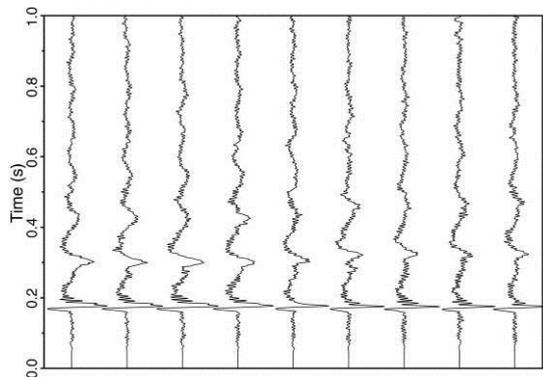
海底 $\sim 10$  km より深いプレート境界面に関する情報をもたらす人工震源地震波のエネルギーは、海底地震計に到達するまでに、非常に小さなものとなる。これを、浅部の不均質構造と明瞭に分離するために、エアガン・アレイ震源のlow周波成分の残存振動を除去することを考える。この手法を、実際の海域人工震源構造調査に適用し、アスペリティ周辺の構造を明らかにする。

## 3. 研究の方法

海域における人工震源構造調査では、船尾より曳航するエアガン・アレイを震源として用いる。この時エアガン・アレイより発震されるエネルギーの周波数成分は、その海面からの深度によって決まり、したがって調査時の海況や、海流による船の進行速度の変化による影響が生じる。この影響を除去することは困難であるため、ここでは曳航型観測装置を開発し、実際に発震された震源波形を記録する。この震源波形を用いたデコンボリューション手法によって、海底地震計観測波形の時間解像度の向上を達成し、プレート境界面上構造不均質の詳細な議論を可能にする。

デコンボリューション手法については、実際に構造調査で得られた海底地震計観測記録に適用を試み、時間解像度の向上について評価を行う。

## 4. 研究成果



まず、曳航型震源波形観測装置の開発を行った。これは、水中波形受振器（ハイドロホン）、水深センサー、および沈降装置からなる。船尾からエアガン・アレイを曳航するときかなりのスペースを要するために、これと同時に曳航するためには、震源波形観測装置はなるべく小型である必要がある。また、曳航時の海況によって、エアガン・アレイに接続されるケーブル類との干渉を避けるために、観測装置は電源、時計および記録装置を装備した独立型とし、船尾からは1本のロープのみで曳航されるようにした。通常の人工震源構造調査では、その調査時間がおおよそ1週間程度であるために、記録計は電源としてリチウム・バッテリーによって動作させることとした。観測装置の曳航深度については、水深100 m以上を想定し、それに耐えうるステンレス製の耐圧容器（長さ40 cm、直径12 cm、空中重量20 kg）を準備し、ハイドロホン、温度・水圧計との水中コネクタを装備した。記録装置としては、これまで海底地震計に利用されている24bit記録器を応用し、小型な耐圧容器に収まるものとした。データは連続記録としてCFカードに記録される。個々のエアガン発震との対応については、記



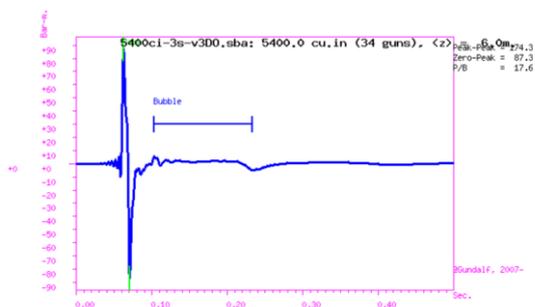
録時間と発震カウントから決定される。

これまでに開発された観測装置を、白鳳丸KH11-2航海で試験的に曳航し、実際にエアガン・アレイによる発震を行って、その震源波形の記録を行った（写真）。本航海では、船尾よりエアガン4本によるアレイを使用した

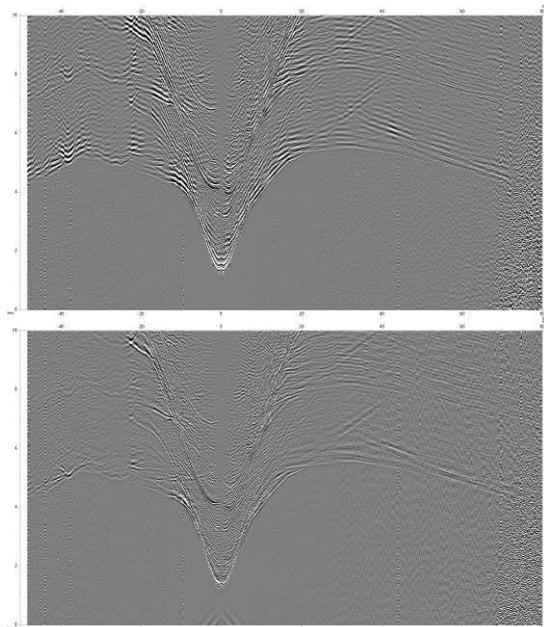
が、小型の観測装置はこのアレイの曳航に干渉することなく、良好な波形が記録された（左図）。本記録からも、震源はおおよそ500 msの長さを持ち、エアガン・アレイの発震状況によって大きく影響を受け、個々の波形が大

大きく異なっていることが確認された。一方、曳航に起因する短周期の雑音が認められる。雑音元の一因と考えられる耐压容器の小型化を目的として、地震波形記録装置のさらなる小型化を行った。これまでは海底地震計用の記録器を流用していたが、本波形観測装置に特化して小型化するための、新たなデザインを行った。検討の結果、Linux ボードと 24bit A/D 変換器を組み合わせる回路を新たに設計し、記録器自身を 80 x 150 x 40 mm の大きさに納めることができた。現状では、記録装置の観測水深を自由にコントロールすることができていない。本研究では、水平翼を付加することで、水深のコントロールを行うことを考慮したが、実際の曳航試験までは行うことができなかった。今後、一定の水深で、曳航雑音を軽減し、安定した記録をするための改善を行うことが課題である。

このようにして震源波形記録が利用した、デコンボリューション手法を用いた海底地震計のデータ解析手法を開発し、実際の人工震源構造調査で海底地震計によって得られたデータに適用した。ここでは主として、プレート境界型巨大地震の発生可能性がいわれているニュージーランド北島南部で、2010年2月から3月にかけて行われた海域人工震源構造調査のデータを用いた。本調査では、プレート間固着強度の低い海溝軸周辺から、巨大地震発生帯、およびスロースリップ発生領域までに渡って、品質の高い地震波形データを取得することができた。本調査では石油探査船によるエアガン・アレイを用いたため、



上図にあるように非常に短周期成分に卓越した震源波形となっている。以下に、デコンボリューション手法による波形処理前後の海底地震計記録例を示す。上が波形処理を施す前の記録であり、震源発震時の空気の振動によるエネルギーのため、時間解像度が悪くなっており、構造不均質の詳細な解析が困難である。下が波形処理後の波形であり、個々のフェーズの到達時間、振幅などが非常に明瞭に確認でき、構造に関する詳細な情報を得ることができる。特に、海洋性地殻深部から到達している屈折波に関しては、波形処理前では一つの連続したフェーズとして認識されていた部分が、処理後に2つの異なる層からのフェーズと認識することができる。また



浅部の地殻内構造についても、速度構造の異なる複数の層からなることが明瞭に確認できる。本研究で開発された解析手法の有効性が確認された。

ここで処理された海底地震計を用いて、実際に詳細な速度構造モデルの導出を行った。ニュージーランドにおける構造調査記録の解析では、東からニュージーランド北島下に沈み込む太平洋プレートの形状や、上盤側地殻内の速度構造不均質に関する構造モデルを得た。太平洋プレートが非常に浅い角度で沈み込んでいること、海溝軸付近で上盤側に付加したと考えられる楔状の堆積物の存在、プレートの沈み込み角が変化する場所の上盤側でP波速度が非常に遅くなっていることが分かった。さらに、沈み込む太平洋プレート上に存在するヒクラング海台の地殻の厚さが 12.5 km であることを初めて直接的に明らかにし、その海台下部からのP波の速度が 8.5 km/s 以上であることを発見した。これまでに決定されている震源分布との比較によって、地震発生領域上端が海底斜面の角度が急激に変化する位置に対応すること、およびこれらの地震が主としてヒクラング海台の地殻内で発生していることが明らかとなった。

茨城県の沖合では、およそ 20 年間隔を持って、繰り返しマグニチュード 7 の地震が発生してきた。ここでは、沈み込んだ海山の前方に繰り返し大地震のアスペリティが存在していると考えられている。この海山の沈み込み前縁部における 3 次元構造を明らかにし、アスペリティとの関連を詳しく調査するために、海溝軸に平行な長さ 150 km の測線上で、エアガン・アレイと海底地震計を用いた海域構造調査を行った。本海域は 2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震震源域

の南端部に当たり、地震時のプレート境界面上の破壊が停止した要因を明らかにすることも重要な課題である。本構造調査では、本研究で開発した曳航型震源波形観測装置を用いて、試験的な観測を行い、実際にエアガン震源波形を記録している。また、シングル・チャンネル・ハイドロホン・ストリーマーによる地震波反射記録も取得しているので、今後、これらの波形記録を比較することによって、曳航型震源波形観測装置の記録の詳細な評価を行う予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① Akuhara, T., K. Mochizuki, K. Nakahigashi, T. Yamada, M. Shinohara, S. Sakai, T. Kanazawa, K. Uehira and H. Shimizu, Segmentation of the Vp/Vs ratio and low-frequency earthquake distribution around the fault boundary of the Tonankai and Nankai earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 査読あり, 40, 2013, DOI:10.1002/GRL.50223

② Mochizuki, K., K. Nakahigashi, A. Kuwano, T. Yamada, M. Shinohara, S. Sakai, T. Kanazawa, K. Uehira and H. Shimizu, Seismic characteristics around the fault segment boundary of historical great earthquakes along the Nankai Trough revealed by repeated long-term OBS observations, *Geophys. Res. Lett.*, 査読あり, 37, 2010, DOI: 10.1029/2010GL042935.

③ Mochizuki, K., T. Yamada, M. Shinohara, Y. Yamanaka and T. Kanazawa, Weak interplate coupling by seamounts and repeating M<sup>7</sup> earthquakes, *Science*, 査読あり, 321, 2008, 1194-1197.

[学会発表] (計 12 件)

① Mochizuki, K., Wide-angle OBS velocity structure and gravity modeling along the SAHKE transect, lower North Island, New Zealand, American Geophysical Union, 2012年12月5日, San Francisco, U.S.A.

② 望月公廣, ニューゼaland北島南部における海底地震計を用いた SAHKE 人工震源構造調査測線下の地震波速度構造, 日本地球惑星科学連合, 2012年5月25日, 幕張メッセ, 千葉市

③ 望月公廣, Wide-angle OBS velocity structure along the SAHKE transect, lower North Island, New Zealand, American Geophysical Union, 2011年12月5日, San Francisco, U.S.A.

④ 望月公廣, ニューゼaland北島南方ヒクラギ沈み込み帯固着領域内 SAHKE 構造調査測線における地震波速度構造, 日本地震学会, 2011年10月12日, コンベンションアーツセンター・グランシップ, 静岡市

⑤ 望月公廣, 紀伊半島西方におけるフィリピン海プレートの沈み込みに関する海陸統合構造調査, 日本地球惑星科学連合, 2011年5月25日, 幕張メッセ, 千葉市

⑥ Mochizuki, K., Offshore seismic survey and observation using OBSs across the locked southern Hikurangi margin, New Zealand, American Geophysical Union, 2010年12月17日, San Francisco, U.S.A.

⑦ 望月公廣, 長期海底地震観測と陸上定常観測の統合後モグラフィ解析による東南海・南海地震震源境界域における地震活動と地震波速度構造, 日本地震学会, 2010年10月28日, 広島国際会議場, 広島市

⑧ 望月公廣, 東南海・南海巨大地震断層境界周辺の地殻構造と地震活動のセグメンテーション, 日本地球惑星科学連合, 2010年5月24日, 幕張メッセ, 千葉市

⑨ Mochizuki, K., Seismicity and velocity structure around the fault boundary region of the great earthquakes along the Nankai Trough revealed by repeating long-term OBS observations, American Geophysical Union, 2009年12月16日, San Francisco, U.S.A.

⑩ 望月公廣, 繰り返し長期海底地震観測による東南海・南海地震震源域における地震活動と地震波速度構造, 日本地震学会, 2009年10月23日, 京都大学, 京都市

⑪ 望月公廣, Spatially varying seismicity distribution in the Tonankai-Nankai regions revealed by repeating long-term ocean bottom observations, 日本地球惑星科学連合, 2009年5月21日, 幕張メッセ, 千葉市

⑫ Mochizuki, K., Weak Interplate Coupling Induced by Seamount Subduction: Involvement of Fluid Migration in

Determining Seismogenic Character,  
American Geophysical Union, 2008年12月  
8日, San Francisco, U.S.A.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

望月 公廣 (MOCHIZUKI KIMIHIRO)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号: 80292861

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし