

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25287113

研究課題名(和文)プレート不連続のマッピングと力学特性の解明

研究課題名(英文) Mapping and Dynamic property of Plate interface

研究代表者

山岡 耕春 (Yamaoka, Koshun)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：70183118

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートの形状およびプレート境界面付近の力学特性を解明するための研究を行った。特に伊勢湾周辺域のプレート沈み込みは非常に浅い角度であり、地震発生への影響を評価する必要がある。伊勢湾周辺域に地震およびGPSの独自の観測網を設置してデータ取得を行い、地震波解析によってプレート形状や力学特性に関する情報を得、有限要素法によるモデル構築を行った。特にプレートの形状については、伊勢湾北部の濃尾平野まで下部地殻とプレート上部が接触している可能性を支持する結果を得た。またプレート深部では、高圧流体の関与によって低周波地震が発生していることを示唆する結果を得た。

研究成果の概要(英文)：We studied the geometry of the Philippine Sea Plate that subducts from the Nankai Trough and the mechanical properties around its plate boundary. The plate subduction in the area around Ise Bay is a very shallow angle and it is necessary to evaluate the influence on the occurrence of the earthquake. We acquired data by establishing new observation seismic and GPS network in the area around Ise Bay to obtain the information on plate geometry and mechanical properties as well as seismic wave analysis and constructing a model in finite element method. Especially regarding the shape of the plate, we obtained the result supporting the possibility that the lower crust and the plate top are in contact beneath the Nobi Plain, which is located to the north of Ise Bay. In the deep part of the plate, we obtained results suggesting the involvement of high pressure fluid on the occurrence of low frequency earthquakes.

研究分野：地震学

キーワード：フィリピン海プレート 沈み込み 固着 地震解析 モデリング

## 1. 研究開始当初の背景

(1) プレート境界面上の力学的作用に起因する事象は、数秒で完結する地震から数万年以上かけて発生する地形形成など時間スケールのダイナミックレンジが広い。このような10桁以上のダイナミックレンジのある現象を理解するには、単一の解析手法では不十分である。それに加え、沈み込んだプレートの形状は複雑であることから、プレートの沈み込み方向だけに着目した研究では本質を見失う可能性がある。とくに、紀伊半島から駿河湾にて沈み込んだプレートは大きく屈曲し、伊勢湾から日本海側に向けてほぼ水平に沈み込み、この一帯は負の重力異常や地形的に低地が連なるなど、沈み込んだプレート形状との対応が認められる。そのため、構造探査的解析・地震活動解析・測地学的解析の多面的視点からプレート境界面の特性を明らかにすることが重要である。

(2) 一方、Obara(2002)[*Science*, 296, 1679-1681]はフィリピン海プレートの30kmの等深線付近で間欠的に数秒から数分の時間スケールの深部低周波微動が発生していることを見出した。その震動源分布は紀伊水道や伊勢湾といったプレートが屈曲した場所で途切れるという特徴がある。また、数日から数年の時間スケールのスロー地震は、巨大地震発生域である固着域よりも深部のプレート境界付近の遷移域で発生しており、深部低周波微動と同期して発生していることが多い。このような、様々な時間スケールの地震を統一的に理解し、プレート境界不均質構造、力学および物性の特性とプレートの沈み込みのプロセスとの関係を明らかにすることは地震の理解にとって大変重要である。

## 2. 研究の目的

プレート境界面の物理特性と力学特性を理解することは地震学において本質的に重要である。本研究では、地震発生域の直上で観測できる東海地方において独自の観測網を展開し、プレート境界面上で発生する様々な種類の地震を観測することでプレート境界面の力学特性を把握する。一方、プレート境界面での反射波や変換波などの地震波動場から、プレート境界面の精密な位置、反射波・変換波の効率をプレート境界面の物理特性として把握する。これらの研究からプレート境界の基本要素の何がプレート境界域の相互作用にとって重要であるのかを明確にし、プレート境界面上の不均質性を考慮した現象として論じることが本質的に重要であることを示す。具体的には、(1) フィリピン海プレートの形状と境界面の物理特性の把握、(2) 微動活動とスロー地震に基づく力学特性の把握、(3) 沈み込むプレートの力学的影響の評価を行うことを目的とする

## 3. 研究の方法

(1) フィリピン海プレートの形状と境界面の物理特性の把握、(2) 微動活動とスロー地震に基づく力学特性の把握、(3) 沈み込むプレートの力学的影響の評価について研究を進める。

(1) については、地震波干渉法・レシーバ関数法・変換波を用いた構造探査手法により10km程度の空間解像度をもつプレート形状モデルを構築する。また、プレート上面でのSp変換波の変換効率から岩相・孔隙流体を推定することでプレート境界面の物理特性を把握する。

(2) については、伊勢湾・濃尾平野の周辺は高感度地震観測網とGPS観測網(GEONET)の観測点密度が低く、ノイズレベルが高い条件の悪いものが多い。そこで、伊勢湾内の洋上石油基地である伊勢湾シーバースにオンライン観測点の設置を検討するためノイズレベルの調査を行う。また伊勢湾周辺に地震計とGPS観測点を設置し、地理的に稠密地震計アレイとGEONETの補強を独自に展開し、短期スロー地震深部低周波微動活動の有無とその特徴を明らかにする。これらの観測から、短期・長期的スロー地震、深部低周波微動、プレート間の固着域の空間的分布を明確にすることで、様々な地震の空間的特徴(分布の重なりや住み分け)を整理する。

(3) については、プレートモデルの高度化を進める。伊勢湾・濃尾平野の直下では、沈み込み帯に普遍的に見られるくさび状のマントル(マントル・ウェッジ)が無いと考えられる。つまり、プレートが陸側の地殻の下面に接しており、このような地域ではより内陸部までプレート間の固着が継続している可能性がある。特に伊勢湾直下では遷移域と対応する深部低周波微動活動が確認されておらず、固着の下端を明確にすることは直上の大都市である名古屋での地震動を予測する上で重要である。さらに、複雑に沈み込むプレート形状は不均質な応力を生じる事が想定される。そのため、プレート形状に起因する応力変化を考慮したモデルを構築し、モデルと観測の両面から複雑なプレート形状の力学モデル構築する。

## 4. 研究成果

研究目的それぞれについて手の成果は以下の通りである。

(1) フィリピン海プレートの形状と境界面の物理特性の把握については、Sp変換波、プレート境界における海洋地殻内にトラップされる波、反射波、地震波干渉法・レシーバ関数法を利用してプレート境界の形状と物理特性を推定した。

SP変換波を用いた研究では、日本付近

で発生した深発地震によって発生したS波が地球のコア・マントル境界で反射し、フィリピン海プレート上面でP波に変換されて地表に到達する波(ScSp波)を用いて、プレート形状とプレート上面付近の状態の推定を行った。当初は中部地方に展開している地震計の記録を用いた解析を試みたものの、十分なSN比の得られる記録を発見することができなかった。そのため、予定を変更し、東京

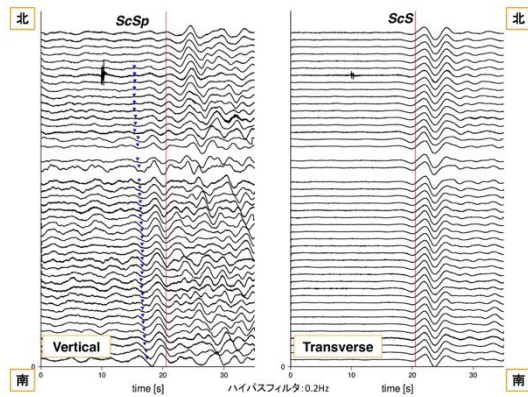


図1 四国西部を南北に貫いて設置した地震計アレイで捉えたScSp波(左)とScS波(右)

大学地震研究所を中心としたグループが四国西部で実施したアレイ観測網によって得られたデータの記録を精査した。その結果、明瞭なScSp波を同定した。またそのScSp波とプレート上面でP波に変換しないで地表に到達したScS波の走時差は、プレートの沈み込みに伴って増加することを明らかにした(図1)。次にこのScSpとScSの走時の違いを説明するモデルを、波動伝播シミュレーションを用いて推定した。観測されたScSp波の走時差を説明するモデルとして、沈み込んだプレートと上部の海洋性地殻の低速度層のS波速度が従来考えられていたよりも遅くする必要があることが明らかになった。またVp/Vs比も、深部のスロー地震発生域では高い値を持つことが明らかになり、この領域に高压の流体が存在することを示唆する結果を得た。その流体の過剰圧は室内実験の結果と比較した結果20MPa程度浅部よりも高いことが推定できる(Toya et al. 2017)。

沈み込んだプレート境界における海洋地殻内にトラップされる波を利用した解析では、かつてHori et al. (1985)で発見された沈み込む海洋地殻内のトラップ波の解析を、当時よりも格段に充実したHi-netを用いて行った。地震と地震計の様々な組み合わせで解析を行い、Hori et al. (1985)では海洋地殻が下部地殻に接触することでトラップ波が観測されることを示した。今回の解析では、この結果を確認したことに加え、新たに濃尾平野直下のプレート固着に関し新たな知見を得た。愛知県直下の震源から放出した波で沈み込んだ海洋地殻内にトラップした波が、方向によって到達距離が異なることが明らかになった(図2)。これは稠密なHi-net観

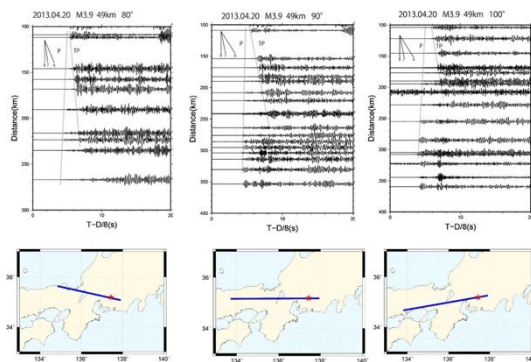


図2: トラップ波(TP)が方向によってどこまで確認できるかを比較した図

測網が設置されたためにあきらかにできた結果である。この結果を説明するためのプレート形状を波動シミュレーションを用いて探索した。その結果、接触面積が大きいほどトラップ波が効率的に観測されることがわかり、伊勢湾北部では下部地殻とプレートが離れているものの、濃尾平野北部直下では接触していると推定できることが明らかになった。

東海地方のプレート境界について、精密制御震源の波動を利用し、地殻内の地震波速度構造を推定し、反射面を同定した。この成果は、今後のプレート境界力学特性の時間変動の研究につながることを期待できる(國友・他, 2014)。

伊勢湾東部(静岡県西部)のプレート境界においては、臨時アレイのデータを利用して深発地震の波動地震波干渉法を用いた反射法解析を行った。この結果と、レーザー関数法で得られたイメージを比較した結果、プレート上面の境界の形状を推定することができた。

(2) 微動活動とスロー地震に基づく力学特性の把握については、まず伊勢湾シーバースにおける地震観測点設置可能性の現地調査を行った。その結果、ノイズレベルが高く観測には全く向かないことが明らかになった。そのため愛知県豊田市稲武において3成分地震計アレイの連続観測を開始し、低周波微動のアレイ解析を行った。その結果、気象庁他機関が推定した微動減の方向から波動が到達していることを確認した。GNSSについては伊勢湾周辺に独自に10箇所の観測点を設置して、データを取得し、自動解析を行っている。解析の結果、低周波微動に伴うスロースリップによる地殻変動を捉えていることを確認した。また海底地殻変動のデータも活用し、地殻変動データからプレート境界面の固着状況を推定した(Yasuda et al. 2017)。

(3) 沈み込むプレートの力学的影響の評価については、プレート境界面上のカップリングを推定するためのプログラムの新たな開発と地殻ブロックモデルの開発を行った。プ

プレート境界の力学的特性を推定するためには、地殻との相互作用を解明するためにブロック運動を同時に推定する必要がある。本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC法) を採用した推定法を開発した。各ブロックの運動、ブロック境界カップリング率を推定できるようになっている。プログラムはGPU 利用による高速化、モデル構築の簡便化、FEM によるグリーン関数の導入などを行い、プログラム活用の利便性を向上させた。

#### 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4件)

Yasuda K, Tadokoro K, Taniguchi S, Kimura H, Matsuhira K (2017) Interplate locking condition derived from seafloor geodetic observation in the shallowest subduction segment at the Central Nankai Trough, Japan. *Geophysical Research Letters*, DOI:10.1002/2017GL72918. (査読有)

Toya M, Kato A, Maeda T, Obara K, Takeda T, Yamaoka K (2017) Down-dip variations in a subducting low-velocity zone linked to episodic tremor and slip: a new constraint from ScSp waves. *Science Report*, DOI:10.1038/s41598-017-03048-6. (査読有)

國友孝洋・山岡耕春・渡辺俊樹・吉田康宏・勝間田明男・生田領野・加藤愛太郎・飯高隆・津村紀子・大久保慎人 (2014) 弾性波アークロスによる東海地域地殻のP波およびS波速度構造の推定. *地震*, 67巻, 1-24. (査読有)

Ichimura T, Agata R, Hori T, Hirahara K, Hashimoto C, Hori M, Fukahata Y (2016) An elastic/viscoelastic finite element analysis method for crustal deformation using 3-D island-scale high-fidelity model. *Geophysical Journal International*, DOI: 10.1093/gji/ggw123. (査読有)

[学会発表](計5件)

鳥家充裕・加藤愛太郎・前田拓人・小原一成・武田鉄也・山岡耕春 (2016) スロー地震発生域における高圧流体の存在: ScSp波による新しい制約. 日本地球惑星科学連合大会, 2016.5.22-26. 千葉市幕張メッセ国際会議場.

安田健二・田所敬一・谷口颯太・木村洋・

松廣健二郎 (2016) 海底地殻変動観測から得られた南海トラフ浅部におけるプレート間固着の把握. 日本地球惑星科学連合大会, 2016.5.22-26. 千葉市幕張メッセ国際会議場.

大間俊樹・伊藤武男 (2016) 1944年1946年の南海トラフ地震の余効変動から推定した粘弾性構造. 日本地震学会秋季大会. 2016.10.5-7. 名古屋国際会議場.

木村洋・伊藤武男・田所敬一 (2016) プレート間固着の推定精度を最適化する新しい手法の開発. 日本測地学会. 2016.10.19-21. 奥州市文化会館.

川崎悠介・渡辺俊樹・加藤愛太郎・狩野憲一・阿部進・野田克也・河内前徳・山岡耕春 (2015) 日本地球惑星科学連合大会, 2015.5.24-28. 千葉市幕張メッセ国際会議場.

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山岡 耕春 (YAMAOKA Koshun)  
名古屋大学・環境学研究科・教授  
研究者番号: 70183118

##### (2) 研究分担者

伊藤 武男 (ITO Takeo)  
名古屋大学・環境学研究科・准教授  
研究者番号: 40377982

田所 敬一 (TADOKORO Keiichi)  
名古屋大学・環境学研究科・准教授  
研究者番号: 70324390

古本 宗充 (FURUMOTO Muneyoshi)  
名古屋大学・名誉教授  
研究者番号: 80109264

渡辺 俊樹 (WATANABE Toshiki)  
名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：50210935

(3)連携研究者

鷺谷 威 (SAGIYA Takeshi)  
名古屋大学・環境学研究科・教授  
研究者番号：50210935

山中 佳子 (YAMANAKA Yoshiko)  
名古屋大学・環境学研究科・准教授  
研究者番号：50362299

橋本 千尋 (HASHIMOTO Chihiro)  
名古屋大学・環境学研究科・准教授  
研究者番号：50376539

寺川 寿子 (TERAKAWA Toshiko)  
名古屋大学・環境学研究科・講師  
研究者番号：30451826