

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24540458

研究課題名(和文) 南西諸島最北部域のプレート間の固着と背弧拡大 - 宇治島での地殻変動・地震観測 -

研究課題名(英文) Interplate coupling and backarc spreading in the northernmost district of Nansei-islands, Japan -Geodetic and seismological observations at the Uji-island-

研究代表者

後藤 和彦 (GOTO, Kazuhiko)

鹿児島大学・理工学域理学系・教授

研究者番号：20244220

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：南西諸島最北部の沖縄トラフの縁に位置する宇治島での地殻変動・地震観測により、沖縄トラフの北端部ではトラフを挟んで相対的に毎年約5mmの速度で拡大していること、北緯31.5度付近以南のトラフ域ではM1.5程度以上の地震活動は少なくとも2002年以降は低レベルであったことが明らかとなった。ただし、この低地震活動度は2015年11月14日に発生したこの領域では過去最大規模のM7.1の地震によって一変した。常設観測点を含めてこの地震の震央に最も近い本研究の宇治島の観測データを用いて解析することにより、沖縄トラフ北部域に発生する規模の大きな地震の活動特性が初めて明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The geodetic and seismological observations at Uji-island located at the rim of the Okinawa-trench in the northernmost district of the Nansei-islands reveal that the north end region of the Okinawa-trench is enlarged at speed of approximately 5mm/yr and the seismic activity of the south side region than around 31.5°N was low for the events of magnitude larger than 1.5 in the period after at least 2002. This low seismic activity, however, changed completely by the occurrence of earthquake of M7.1 west off Satsuma-peninsula on November 14, 2015, which is the largest event in the northern region of Okinawa trench in the past. The characteristic of the larger earthquakes occur in this region becomes clear for the first time by analyzing this M7.1 event, in which the data of the nearest observation station Uji-island play an important role.

研究分野：数物系科学

キーワード：プレート間カップリング 南西諸島 沖縄トラフ GNSS観測 地震観測

## 1. 研究開始当初の背景

プレート境界域での地震テクトニクスを解明するためには、プレート間の準静的すべりと固着状態を定量的に把握することが重要である。このことについては最近の主に三陸沖での研究で理解が大幅に進んでおり、大地震のアスペリティ分布・同一アスペリティでの繰り返しすべり・アスペリティと準静的すべり域の棲み分け・準静的すべりの時空間的な変化の把握などの結果、いわゆるアスペリティ仮説：プレート境界での大地震発生に至るシナリオが提唱されるようになった。2011年3月11日の東北地方太平洋沖での超巨大地震の発生により、例えばアスペリティでの繰り返しすべりや海溝軸に近い浅部プレート境界域の理解に新たな見方を加える必要があることなどが指摘されているものの、これまでのアスペリティ仮説の本質を大きく変える必要はなく、仮説の不十分さを解消しつつ更に発展させることが重要と考えられる。そして、そのためには、アスペリティの普遍性と地域特殊性を観測事実に基づいて定量的に評価することにより、アスペリティの実態を解明していかなければならない。

本研究の対象領域を含む南西諸島北部から日向灘にかけての領域は日本では数少ない高角度沈み込み帯であり、プレート境界域での地震テクトニクス研究が進んでいる三陸沖を含む東北地方の低角度の沈み込みとは沈み込む環境が大きく異なっている。さらに、海洋プレートの収斂速度は、三陸沖の半分程度である。また、南西諸島海溝に沈み込むフィリピン海プレートの年齢は日本海溝に沈み込む太平洋プレートより大巾に若く、海洋プレートの厚さは薄い。すなわち、南西諸島北部～日向灘域での研究は、プレート間のアスペリティの普遍性・地域特殊性を理解するうえで極めて重要である。

ところで、南西諸島北部域は、過去に規模

の大きなプレート境界地震が発生した記録がないことや GNSS 観測から求まる変動ベクトルが他のプレート境界域とは逆方向であることなどに基づいて、プレート間の固着は弱いとの考えが有力である。この点でも、固着が強いと考えられている三陸沖との比較研究の意義は大きいことになる。しかしながら、南西諸島北部域での弱い固着は、必ずしも直接的に実証されたものではない。この領域のプレート境界域での地震活動は活発であり、低角逆断層型の中規模地震は発生している観測事実は、固着が弱いとは言い切れないことを示唆している可能性がある。また、GNSS から求まる変動ベクトルは、背弧側の沖縄トラフ拡大の影響を受けているが、その影響の量的評価はできておらず、背弧拡大の影響がない領域と単純に比較することはできないという問題がある。さらに、稍深発地震と考えられていた 1911 年に喜界島近海で発生した M8.0 の巨大地震は、震源の再評価によりプレート境界地震であることが指摘されており(後藤、2013)、少なくとも奄美大島域ではプレート間の固着は強い可能性が出てきている。

海洋プレートの沈み込みの条件が大きく異なる南西諸島北部域と三陸沖との比較研究の意義は大きく、今後も研究を進めていかなければならない。その際には、南西諸島北部域でのプレート間固着の状態がどの程度であるかを理解することが大前提となる。GNSS 観測や規模の大きな地震のすべり量分布、相似地震(小規模繰り返し地震)解析などを行うことは当然であるが、中でも背弧側の沖縄トラフ拡大の定量的な把握は不可欠である。

### <引用文献>

後藤和彦、1911年喜界島近海地震の震源再評価、地震2、査読有、65、231-242、2013。

## 2. 研究の目的

本研究は、南西諸島最北部の沖縄トラフの

縁に位置する宇治島（無人島、図1）で地殻変動と地震の観測を行うものである。南西諸島北部域でのプレート間固着の状況を理解するためには背弧側の沖縄トラフの拡大速度を定量的に評価することが必須である。その際には地殻変動データは特に重要であるが、当該領域には地殻変動データを得るためのGNSS観測点は皆無である（図2）。宇治島で実施するGNSS観測によって得られた地殻変動データと常設のGNSS観測点データおよび我々が周辺域で実施している臨時GNSS観測点データとを併せて解析することにより、沖縄トラフの拡大の状況を量的に明らかにすることができる。さらに、その結果を用いて、南西諸島北部域でのプレート間固着についての理解が進展する。地殻変動は短期間のデータだけでは信頼できる結果は得られないため、宇治島でのGNSS観測はできるだけ長期間継続して、地殻変動データを蓄積する計画である。

当該領域では、GNSS観測点だけでなく、地震観測点も整備されておらず（図2）、当該領域の地震活動の詳細は把握できていない。よって、本研究ではGNSS観測と並行して地震観測も宇治島で実施する。このことにより、沖縄トラフ最北部での地震活動の状況は、これまでより高い精度で明らかにすることができる。

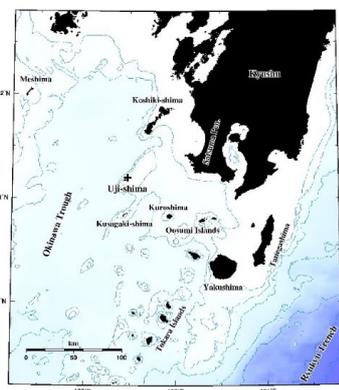


図1 . 南西諸島最北域 . +印は宇治島の位置である。

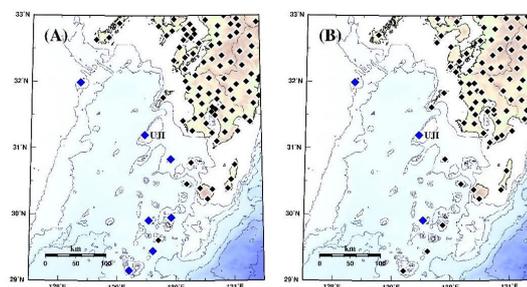


図2 . GNSSおよび地震観測点の配置 . 図中の UJI は本研究で観測を実施した宇治島の位置である。(A)GNSS観測点 . 印は国土地理院の常設GNSS観測点(GEONET) . 印は鹿児島大学の臨時観測点である。(B)地震観測点 . 印は気象庁、Hi-net、九州大学および鹿児島大学の常設および臨時的のテレメータ化されている観測点、 印は鹿児島大学の現地記録方式の臨時観測点である。

### 3 . 研究の方法

南西諸島北部域の種子島や屋久島、さらにその西側に位置する口永良部島・三島村硫黄島には国土地理院の常設のGNSS観測点が複数整備されている(GEONET)。しかし、口永良部島・三島村硫黄島より西側の領域にGNSS観測点はない(図2)。そこで、本研究では沖縄トラフ最北部の東側に位置する宇治島(無人島)でGNSS観測を実施する。さらに、鹿児島大学では、宇治島での観測と並行して、別経費で宇治島と口永良部島間に位置する三島村黒島と五島列島の南西約50kmの沖縄トラフを挟んで宇治島の向かい側に位置する長崎県女島でのGNSS臨時観測を併せて実施する。宇治島を含むこれらの臨時観測点と五島列島を含む長崎県や鹿児島県甬島のGEONETの常設GNSS観測点を用いると、沖縄トラフ北端部で面的に拡がりを持つGNSS観測網を構築できることになる。そして、これらの観測点で得られる地殻変動データから沖縄トラフ北端部の拡大速度が推定できることになる。さらに、沖縄トラフの拡大速度が得られると、種子島や屋久島などのGNSSデータから南西諸島北部域でのプレート境界での固着の状況を定量的

に評価でき、当該領域での地震テクトニクスの理解は飛躍的に進展するものと思われる。

宇治島では微小地震観測も実施する。九州西方沖では沖縄トラフの北方延長部に当たる天草灘での地震活動が活発であり、その活動は甌島西方沖付近まで明瞭である。しかし、甌島の南方では活動度は低下傾向にあり、宇治島付近より南方ではさらに急速に低くなっていた。ただし、これらの地震活動の特性は 100km 以上離れた常設地震観測点のデータから得られたものであり、精度的に詳細な議論に耐えられるものではなかった。宇治島での地震観測は当該領域では初めて実施される本格的なものであり、取得される観測データは、例えば当該領域に発生する地震の震源の深さの精度を飛躍的に高めることができ、詳細な地震活動の状況が把握出来ることになる。

宇治島での観測では、特に GNSS については長期間にわたるデータの蓄積が重要である。一方で、宇治島は無人島であるために観測点の保守・データの回収に頻繁には行けず、また観測環境も良いとは言えないため、長期の観測を維持するためにはそれなりの準備が必要である。実際の観測では、電力を太陽電池+バッテリーで供給し、30 秒サンプリングの GNSS データと短周期 3 成分地震計(固有周期 1 秒)の 100Hz サンプリングデータをデータロガーに収録する。観測点の保守・データ回収は台風の来襲が多い夏と海が荒れることが多い冬は避けて原則として春と秋の年 2 回行う計画である。しかし、渡島ができない場合に対応するために、データロガーは約 1 年間分のデータを収録できるものを準備する。また、渡島時には観測システムをほぼすべて取り換えできるように予備物品を持ち込むこととする。なお、5 年間の本研究期間に渡島できたのは 7 回であり、観測機器の不良により約半年間の地震観測データの欠測以外に大きな障害は無く、比較的順

調に観測することができた。

#### 4 . 研究成果

(1) 宇治島および周辺域に展開している鹿児島大学の GNSS 観測点および国土地理院の GNSS 観測点 (GEONET) のデータを BERNESE GNSS Software V.5.2 を使って解析した。GPS 軌道暦と地球回転パラメータは CODE が解析し公表しているものを使用した。ITRF2008 座標系に準拠し、1 日ごとの観測点の座標を決定した。MESM (長崎県女島)、UJIS (宇治島)、KTDM (鹿児島県三島村黒島) の鹿児島大学の観測点はそれぞれ 2014 年 4 月 5 日から 2016 年 7 月 4 日、2010 年 9 月 16 日から 2016 年 10 月 25 日、2014 年 9 月 10 日から 2016 年 5 月 24 日までの期間を解析し、GEONET 観測点は 2004 年 1 月 1 日から 2016 年 12 月 31 日までの期間を解析した。得られた座標データを使い、観測点の変位速度を最小二乗法により求めた。このとき、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (M9.0) や 2015 年 11 月 14 日に発生した薩摩半島西方沖の地震 (M7.1) の地震時変動の大きさや 2009 年 10 月 30 日に発生した奄美大島北東の地震 (M6.8) の地震時変動の大きさと余効変動の時定数と振幅、年周変化および半年周変化の振幅と位相を同時に推定した。ここで推定した変位速度は ITRF2008 座標系によるものである。図 3 に UJIS を固定点としたときのフィリピン海プレートが沈み込む方向 (N303°E) に連なる観測点の変位速度ベクトルを示す。MESM 観測点と UJIS 観測点の間には沖縄トラフがあるが、沖縄トラフを境に MESM 観測点と他の観測点で変位速度の方向が異なっていることがわかる。これらの観測点の変位速度をフィリピン海プレートの沈み込む方向 (N303°E) に投影した変位速度 (N303°E の方向の変位を負の値とする) を求め、フィリピン海プレートの沈み込む南海トラフからの距離による変化を図 4 に示した。この図

から MESM 観測点は相対的に毎年約 5 mm で UJIS 観測点から離れていることがわかる。このことより、沖縄トラフは毎年約 5 mm の速度で拡大していると考えられる。図 4 の南海トラフに近い観測点（種子島や屋久島）の投影変位速度は南海トラフ方向に向かっている。しかし、これは琉球マイクロプレートの運動を取り除いたプレート内部変形ではなく、ITRF2008 座標系によるものである。プレート間カップリングの有無の議論を行うためには、琉球マイクロプレートのオイラーベクトルを正確に求め、内部変形を明らかにする必要がある。しかし、当該地域の島々に GNSS 連続観測点が多数設置されるようになって数年しか経過しておらず、さらに観測を継続し、オイラーベクトルを精度よく推定できる変位速度を求めていくことが今後重要である。

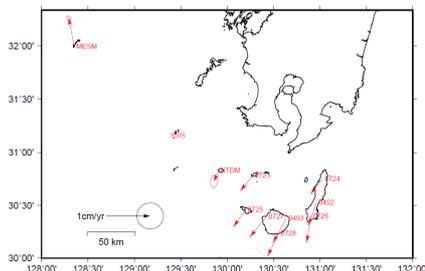


図 3 .南西諸島北部域の GNSS 観測点のうち、フィリピン海プレートが沈み込む方向（N303°E）に連なる観測点で推定された変位速度ベクトル。誤差楕円は 95% 信頼区間。

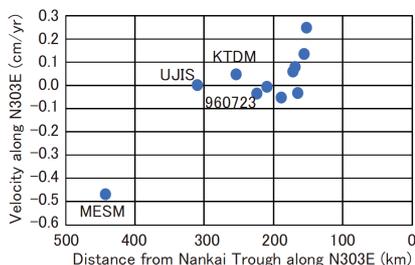


図 4 . フィリピン海プレートの沈み込み（N303°E）方向へ投影した観測点の変位速度。横軸はフィリピン海プレートが沈み込み南海トラフからの距離で、縦軸は観測点の変位速度を N303°E 方向へ投影した値（N303°E 方向への変位を負で示す）である。

(2) 宇治島での地震観測は薩摩半島西南西沖では初めて実施された本格的な観測である。常設地震観測点のデータを用いた解析によりこの領域の地震活動度は低いことが知られており、宇治島での地震観測の当初の目的は、この低地震活動度の実態を明らかにすることであった。しかし、2015 年 11 月 14 日に発生した薩摩半島西方沖の M7.1 の地震により、この領域の地震活動の様相は一変した。宇治島の観測データは M7.1 の地震とその余震活動の実態解明に大きく寄与したが、そのことは次項で記載することとし、この項では定常的な地震活動について記す。

宇治島での地震観測により、常設地震観測網による当該領域の地震検知力はマグニチュード 1.5 程度であることが分かった。すなわち、一元化が進んだ 2002 年以後のこの領域の地震活動度は M 1.5 で低いレベルにあり、この傾向は少なくとも鹿児島大学が微小地震観測を開始した 1996 年以降についても同様であったと推測できた。震央については、宇治島の観測データを用いると常設観測網だけで決められたものよりも密集する傾向にあり、よりクラスター的な活動をしているものと思われる。また、多くの地震は深さ 10km 程度以浅で発生していることが確認された。なお、震源が決まらないような規模の小さな地震の宇治島で観測された地震波形を調べた結果、S-P 時間（初期微動継続時間）が 1.0 秒程度より短い地震は 5 年間で 5~6 個しかなく（最少は 0.6 秒）、宇治島近傍での地震活動度は目立って低いことが明らかとなった。

薩摩半島南部～南方沖の深さ 150km 前後の稍深発地震の活動は活発であるが、活動域の西側に地震観測点が無いため、震源の精度については検討が必要であった。活動域の西側に位置する宇治島での地震観測の二つめの目的は、稍深発地震の震源精度を明らかにすることであった。解析の結果、常設観測

網で決定された深さ 180km 程度以浅の稍深発地震の震源はほとんど問題ないが、深さ 200km 程度以深については 10km 程度浅く西側にずれて決定されていることが明らかとなった。

(3) 南九州～南西諸島北部の西方海域では過去最大規模の M7.1 の地震が 2015 年 11 月 14 日に薩摩半島西南西沖の沖縄トラフ内で発生した。この領域ではこれまで中規模の地震もほとんど発生しておらず、当該地震の解析は沖縄トラフ北部域に発生する地震の特性を明らかにする貴重な機会となった。しかしながら、当該地震の震央は最も近い常設観測点でも 140km 以上離れており、本研究で観測を行っていた宇治島が震央に最も近く、宇治島の観測データを加えて解析することにより、より詳細な結果を得ることができた。主な成果は以下の通りである。本震は全長 70km 程度の震源断層の南端部で発生したが、主な余震は余震域の北側半分で起こっており、南側半分の余震活動は低調である。本震の破壊開始の約 10 秒後に大きなすべりが発生しており、その場所は本震震源の北方に位置するものと推定される。また、宇治島および鹿児島大学が臨時観測を行っていた長崎県女島での GNSS による地殻変動ベクトルの方向は気象庁などで得られている本震の発震機構解と調和的であるものの、変動量は本震の規模から期待される大きさよりかなり小さいことが分かった(図 5)。

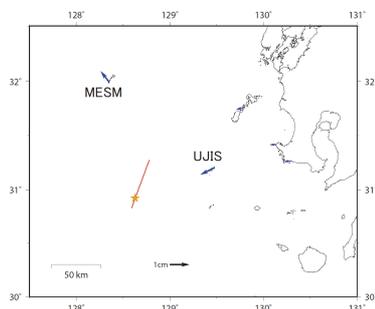


図 5 . GNSS データによる 2015 年 11 月 14 日の M7.1 の地震発生時の変動ベクトル。UJI

は宇治島、MESM は女島、橙色の星印と太線は震央と震源断層の位置を示す。解析は IGS 観測点を基準点とし、CODE 精密暦を使用した。

#### 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 1 件)

鹿児島大学大学院理工学研究科、九州大学大学院理学研究科地震火山観測研究センター、2015 年 11 月 14 日薩摩半島西方沖の地震(M7.1)、地震予知連絡会会報、査読無、95、2016、363-365。(文責：後藤和彦)

[学会発表](計 2 件)

八木原寛、平野舟一郎、小林励司、宮町宏樹、中尾茂、後藤和彦、(他 11 名)、南西諸島北部の海域及び島嶼域における地震観測によるプレート境界形状の推定、日本地震学会 2016 年秋季大会、2016 年 10 月 5 日、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)。

中尾茂、八木原寛、平野舟一郎、後藤和彦、内田和也、清水洋、2015 年 11 月 14 日に薩摩半島西方沖で発生した地震による地殻変動、日本地球惑星科学連合大会 2016 年大会、2016 年 5 月 23 日、幕張メッセ(千葉県千葉市)。

#### 6 . 研究組織

##### (1) 研究代表者

後藤 和彦 (GOTO, Kazuhiko)

鹿児島大学・理工学域理学系・教授

研究者番号：20244220

##### (2) 研究分担者

中尾 茂 (NAKAO, Shigeru)

鹿児島大学・理工学域理学系・教授

研究者番号：90237214

八木原 寛 (YAKIWARA, Hiroshi)

鹿児島大学・理工学域理学系・助教

研究者番号：60295235