

## 様式 C-19

# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成22年 4月12日現在

研究種目：基盤研究(C)  
研究期間：2007～2009  
課題番号：19540446  
研究課題名(和文) フィリピン海プレートの沈み込み過程の急変帯における地殻の変形様式  
研究課題名(英文) Crustal deformation in the transition zone of subduction process of the Philippine Sea plate  
研究代表者  
田部井 隆雄 (Tabei Takao)  
高知大学・教育研究部自然科学系・教授  
研究者番号：40207220

研究成果の概要(和文)：フィリピン海プレートの沈み込み角度と境界の走行が急変する豊後水道地域において、無停電・自動ダウンロードGPS観測システムを開発し、国土地理院全国観測網を補間する連続観測を実施した。四国から九州へ劇的に変化する地殻変動様式の遷移過程を明らかにするとともに、2009年後期よりこの地域の下部でスロースリップイベントが始まったことを確認した。開発した観測システムは、インドネシア・スマトラ断層の活動監視にも応用された。

研究成果の概要(英文)：I conducted continuous GPS observations in the Bungo channel region where dip-angle of the Philippine Sea slab and strike of the plate boundary change sharply. Using a newly developed power-uninterruptible and data self-downloading GPS observation system, I made clear spatial pattern of crustal deformation between Shikoku and Kyushu and also detected transient deformation associated with slow slip event that started at the end of 2009. The observation system developed in this study has been applied to the continuous monitoring of the Sumatra fault, Indonesia.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：地殻変動, GPS, フィリピン海プレート

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 国土地理院GPS全国連続観測網は、日本列島の詳細な地殻変動場を明らかにした。同じフィリピン海プレートの沈み込み帯に属しながら、四国では北西-南東方向の地殻の短縮変

形が続いているのに対し、九州中部では圧縮方向がほぼ東西となり、さらに南部では南北方向の伸張が際立ってくる。また、西南日本を縦断する中央構造線を境に四国南部は西方へ永久的な横ずれ運動をしているが、九州で

は横ずれ運動が顕著ではない。このような地殻の変形様式の違いは、フィリピン海プレートの沈み込む角度とプレート境界の走行が四国沖から九州沖にかけて急変していることに密接に関連しているであろう。

(2) 四国と九州にはさまれた豊後水道では、1997年および2003年に、約1年間にわたってプレート境界深部がすべるスロースリップイベントがGPS観測により確認された。これは時間的な遷移現象であるだけでなく、異なる地殻変動場の間には発生する空間的にも遷移的な現象である。ここでの地殻の挙動は解明すべき問題を含んでいるが、海域のためGPS観測のギャップが生じている。電源や通信回線の制約を受けない簡便なGPS連続観測システムを開発し、この地域の観測ギャップを解消することは、きわめて意義深い作業である。

## 2. 研究の目的

(1) 豊後水道周辺に、国土地理院GPS全国観測網を補間する連続観測点を設置する。太陽電池とボックスPCを用いた無停電・現地収録システムとし、設置の自由度を大幅に向上させる。標準30秒サンプリングに加え、高速1秒サンプリングを実施する。

(2) (1)で得たデータと全国連続観測成果より、豊後水道周辺の定常的な地殻変動場を決定する。とくに、四国西部から九州東部への地殻変動場の遷移過程を詳細に明らかにする。

(3) 地震の震源分布、メカニズム解および定常地殻変動速度より、四国・九州の直下におけるプレート境界面の形状と次の地震発生につながる固着状態を再検討する。沈み込み角度と走向が急変するプレート境界を再現するため、断層面を三角形要素の集合体で表現する新たな手法を導入する。

(4) GPSによる変動検出の精度向上のため、観測点間の共通誤差成分を除去する空間フィルター、観測点ごとのマルチパスの影響を除去するサイデリアルフィルターの利用を定常化し、測位解時系列の信頼度向上を図る。

(5) 以上の結果を踏まえ、四国沖の南海トラフと日向灘におけるプレート境界面の形状変化と沈み込み過程の違い、豊後水道周辺の遷移的な地殻変動場とスロースリップイベント・低周波微動の発生との関連、中央構造線に沿った南海前弧域のブロック運動とそ

の終末過程等を議論し、南海前弧域の変形様式を総合的に解明する。

## 3. 研究の方法

### (1) 平成19年度

#### ①GPS観測点の構築

豊後水道に伸びる半島と同海域の島を候補地とし、選点作業を行った。現実的なアクセス手段と利用可能なGPS受信機数を考慮し、愛媛県愛南町と宇和島市日振島を選定した。ともに公立小中学校の屋上の一角を借用した。電源は太陽電池とバックアップバッテリーを使用し、アンテナは校舍屋上側壁に埋め込んだ測量用ボルトに直付けした。タイムスイッチにより毎日定時にボックスPCを起動してデータのダウンロードと自動シャットダウンを行う方式とし、10月より連続観測を開始した。初年度であり、システムに負担の少ない30秒サンプリングを選択した。

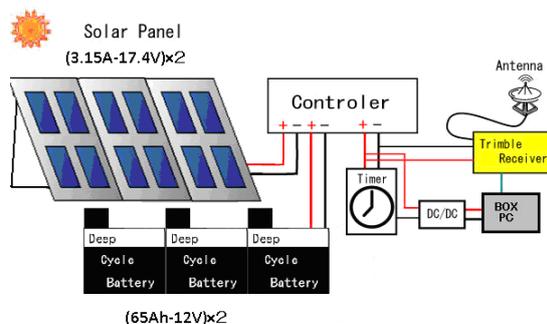


図1. 観測システムの概要

#### ②プレート境界面形状のモデリング

四国から九州にかけて形状が急変するプレート境界を表現するため、スタンフォード大学で開発されたPoly3Dを用いて、三角形要素によるモデル化に着手した。これにより、従来の矩形断層を用いる際に生じた断層面の重なりやギャップが解消される。

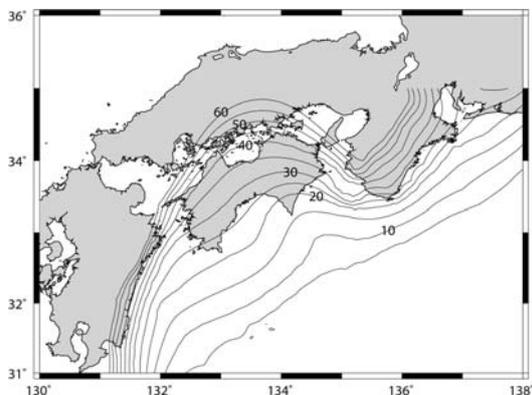


図2. 沈み込むプレート上面の等深線。深さ5-60kmの分布を5kmごとに示した。

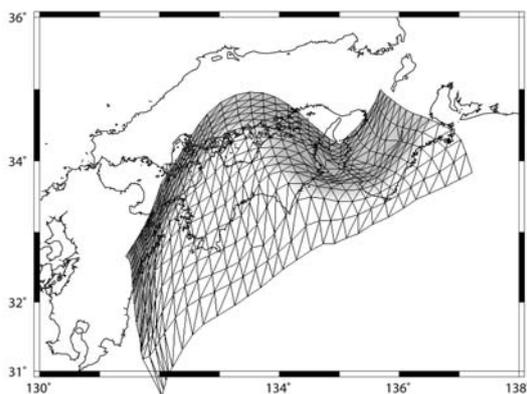


図 3. 三角形要素で表現したプレート境界. 深さ 4-60km の領域を 756 枚の要素で近似した.

## (2) 平成 20 年度

### ①GPS 連続観測の継続

前年度に開始した GPS 連続観測を継続した. しかし, 毎日のシステム起動をコントロールするタイムスイッチの熱的耐久性の不足により, 夏季に長期間の欠測を余儀なくされた. 対策として, 太陽電池を追加し機材の収納容器に取り付けたファンを常時稼働させ, 容器内の温度上昇を抑制した. 観測再開後, データサンプリングを 30 秒から 1 秒に更新した.

### ②データ解析とモデリング

取得データの半自動解析を行うシェルの整備, 1 秒データを用いた観測点近傍の電波受信環境の評価, 適切なフィルターの設計と適用, 三角形要素によるプレート境界面のモデル化(継続)等を行い, 周辺の国土地理院観測点のデータと合わせ, 豊後水道周辺の詳細な地殻変動場を決定した. これらの作業とは独立に, 西南日本の計 241 点の GPS 観測点の 3 次元地殻変動速度を用い, 解析対象とするプレート境界面の範囲をシフトさせながら繰り返しインバージョン解析を行う手法を考案し, 成果を日本地震学会誌「地震」に投稿した(受理は平成 21 年度).

## (3) 平成 21 年度

### ①GPS 連続観測の継続

前年度のシステム改良により, 欠測の少ない良好なデータを長期間取得できた. 2009 年終わり頃から, 豊後水道直下で約 6 年振りにスロースリップの発生が認められ, 2010 年 4 月現在も継続中である. また, 本研究で開発したシステムの完成度の高さを確認したので, 別の科研費(基盤研究(A))でインドネシア国スマトラ地方で実施しているスマトラ断層を対象にした地殻変動観測に, 本システムを導入した.

## ②データ解析とモデリング

プレート境界面を三角形要素で表現し, ここに深さに依存した固着分布を与えて, フィリピン海プレートの沈み込みによって生じる西南日本の 3 次元地殻変動を Poly3D により計算した. 2002-2007 年に四国西部の中央構造線を横断して実施された稠密 GPS 観測 MTL-West の全データの再解析を行い, Poly3D で計算したプレート沈み込みによる圧縮変形を引き去ることで, 中央構造線をはさむ南北ブロック間の横ずれ運動, 中央構造線における固着分布, 九州へつながる広域変動との関連等を議論した. 成果は修士論文 1 編にまとめられた.

## 4. 研究成果

### (1) プレート境界面の固着分布

国土地理院 GPS 連続観測点 241 点の地殻水平・上下速度を用い, 対象領域を水平に約 30km ずつシフトさせながら, 繰り返しインバージョン解析を行い, プレート境界面の固着分布を推定した. 複数回の結果を平均することで, 領域外縁部における拘束条件の影響を最小限に抑えることができた.

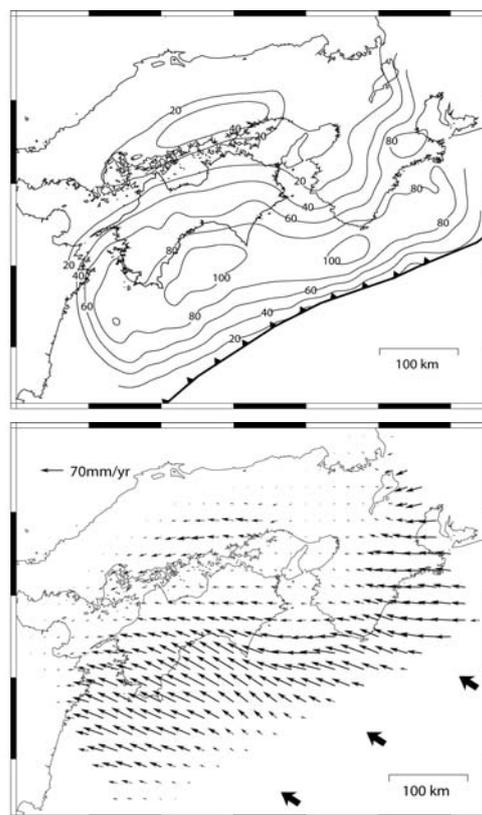


図 4. 繰り返しインバージョン解析によるプレート境界面上の固着分布. 固着率(% , 上図)と固着ベクトル(下図)を示した.

## (2) 中央構造線周辺の地殻変動

三角形要素の集合で表現したプレート境界面にフィリピン海プレートの沈み込みによる引きずりを与え、Poly3Dによって上盤側の西南日本の3次元地殻変動を計算した。プレート境界面の固着分布は、深さ24kmまでは完全固着、24-36km間は固着が減少する遷移領域、36km以下はほぼ固着なしの安定すべり領域とした。実際に観測された変動には、プレート境界に起因するもの以外に、中央構造線を挟んだ永久的な横ずれ運動と、中央構造線断層面の部分的固着による微小変動が含まれている。観測値からPoly3D計算値を引き去ることで、プレート境界起源の変動と中央構造線起源の変動を分離した。

プレート境界起源の変動を除去した残差変動場には、中央構造線を境に南側ブロックが北側に相対的に5-10mm/yrの速度で西方へ横ずれ運動していること、わずかながら開口変位が認められること、これらの変動が四国から九州南部へ至る反時計回りの回転運動に関連していること等が明らかとなった。

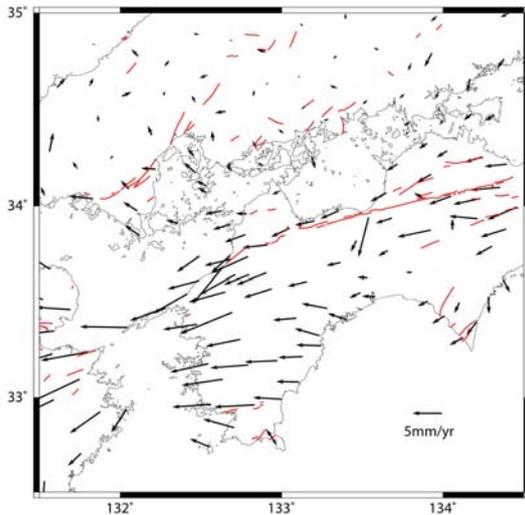


図5. プレート沈み込みの影響を計算によって除去した後の残差変動。中央構造線を境にした南北ブロック間の相対運動が認められる。

## (3) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

これまでの南海トラフのプレート間固着を扱った研究では、四国沖と九州沖を同時に扱ったものは皆無に近い。その理由は、プレートの沈み込む角度と走行が四国沖と九州沖を境に急激に変化しており、形状を忠実にモデル化することが困難なためであった。本研究では最初からこの地域を対象領域に取り上げ、解決策として、微小三角形要素の集

合により複雑な形状をした断層面を忠実に再現することを可能にした。海外のプレート境界を対象にした研究では数例が報告されているが、日本国内ではほとんどない。

本研究では、10数年前に製造されたGPS受信機を転用した。内部メモリ容量に制約があり、頻繁にデータを外部記憶装置へ転送し内部メモリをクリアしないと、長期の連続観測を行えない。本研究ではこれを現地で自動で行うシステムを開発したが、日本国内ではすでに、巨大なメモリ容量を持つ新世代受信機が広く使用され、各種の通信手段も利用可能なことから、本システムの応用範囲はごく限られている。一方、発展途上国の地震活動や火山活動が活発な変動帯では、経済的および治安上の理由からGPS観測網のインフラ整備が進んでいない。こうした地域では、中古機材を活用した低コストシステムの需要は大きいと判断される。最初からAC電源の使用を前提としていない点も好都合である。本システムはすでにインドネシア国スマトラ地方の地殻変動観測で使用され、十分な実績をあげている。今後はこうした利活用を積極的に推進したい。

## (4) 今後の展望

2009年終わり頃に約6年振りに豊後水道下でスロースリップイベントが始まり、2010年4月現在も継続中である。前2回(1997年、2003年)の発生間隔から、間もなく次の発生が予測されていたものである。スロースリップイベントの発生間隔は、次の南海地震に連なるひずみの蓄積過程と密接な関連があるものと推測され、今後も息の長い監視が必要である。

中央構造線に関連した変動を詳細に明らかにするには、豊後水道だけでなく、中央構造線北側に位置する伊予灘や嵯灘の変形様式の解明が不可欠である。本研究の手法と成果はこれらの地方にも応用可能であり、次の研究計画の立案に生かしたい。

## 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 5 件)

- ①一谷祥瑞, 柄健太郎, 田部井隆雄, 3次元GPS速度場から推定した南海トラフのすべり欠損分布 —推定領域を繰り返しシフトさせる測地インバージョン解析—, 地震, 査読有, 63巻, 2010, 印刷中。

- ②伊藤武男, Agustan, E. Gunawan, 木股文昭, 田部井隆雄, スマトラの GPS 観測による 2004 年アチェ・アンダマン地震の破壊・余効過程の解明, 月刊地球, 査読無, 31 巻, 2009, 143-150.
- ③Tabei, T., M. Adachi, S. Miyazaki, T. Watanabe, and S. Kato, Interseismic deformation of the Nankai subduction zone, southwest Japan, inferred from three-dimensional crustal velocity fields, Earth, Planets and Space, 査読有, Vol. 59, 2007, 1073-1082.

[学会発表] (計 10 件)

- ①田部井隆雄, 稠密 GPS 観測による四国西部の地殻変動場と中央構造線の運動様式, 日本測地学会, 2009 年 11 月 5 日, つくば市.
- ②田部井隆雄, 伊豆半島とその周辺の地殻変動速度場と運動様式の推定, 日本地球惑星科学連合, 2009 年 5 月 16 日, 千葉市.
- ③Ishikawa, K., Kinematic model of the Izu Peninsula in the northern margin of the Philippine Sea plate, アメリカ地球物理学連合, 2008 年 12 月 16 日, サンフランシスコ市.
- ④田部井隆雄, GPS 臨時観測の現状と意義—GEONET との連携, そして海外観測—, 日本地球惑星科学連合, 2008 年 5 月 28 日, 千葉市.
- ⑤一谷祥瑞, 3 次元 GPS 速度場を用いた南海トラフのすべり欠損分布の推定, 日本地球惑星科学連合, 2008 年 5 月 25 日, 千葉市.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田部井 隆雄 (Tabei Takao)  
高知大学・教育研究部自然科学系・教授  
研究者番号: 40207220

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

一谷 祥瑞 (Ichitani Shozui)  
高知大学大学院・理学研究科  
石川 公美子 (Ishikawa Kumiko)  
高知大学大学院・理学研究科  
島本 麻美 (Shimamoto Mami)  
高知大学大学院・総合人間自然科学研究科  
平田 諒次 (Hirata Ryoji)

高知大学大学院・総合人間自然科学研究科  
藤岡 正弘 (Fujioka Masahiro)  
高知大学・理学部  
井上 学 (Inoue Manabu)  
高知大学・理学部