

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 4日現在

機関番号：13801
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23740336
 研究課題名（和文） 東海地震の固着域の時空間分布の推定－遷移域・固着域の相互作用の解明を目指して－
 研究課題名（英文） Spatio-temporal distribution of coupled area preparing Tokai Earthquake -Interaction between coupled and decoupled zones-
 研究代表者
 生田 領野（IKUTA RYOYA）
 静岡大学・理学部・助教
 研究者番号：60377984

研究成果の概要（和文）：GPS 観測網を用い、南海トラフ下で将来起こる東海地震をはじめとした巨大地震の準備過程として、南海トラフ下で沈み込むフィリピン海スラブと上盤側プレートの固着の分布とその時間変化を捉える事を目標として研究を行った。本研究ではまず GPS 観測網による地表変位データから共通ノイズ成分を除去する手法を確立し、その後十数日程度の短い期間での変位の差分からプレート境界のすべり分布を推定する手法を確立した。結果、南海トラフ下において、固着域のダウンディップ側で発生する深部低周波微動の活発化に同期した断層運動（短期スロースリップ）を高精度で検出することができた。更に浜名湖下と豊後水道で発生した長期スロースリップのすべり履歴や、固着域と思われる部分が一定の速度で引きずり込まれる様子も捉えることができた。

研究成果の概要（英文）：We studied spatiotemporal distribution of inter-plate coupling beneath the Nankai Trough using three dimensional GPS coordinates. First we developed an effective method to remove common mode error between time series of different GPS stations. Next we took difference between a couple of every 10 days-long averages with a gap of 1 week. The difference data set was used to deduce inter-plate coupling distribution by Bayesian inversion method. As a result, we successfully detected short-term slow slip events associated with activations of deep low frequency tremors occurring at down dip extension of the coupled area. Long term slow slip events beneath Lake Hamana and Bungo Channel as well as constant dragging by the subducted slab were also detected.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

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・海底変動

1. 研究開始当初の背景

稠密な高感度地震観測網により、西南日本で非火山性の深部低周波微動が発見されていた（Obara 2002）。深部低周波微動は、P波・S波がはっきりしない卓越周期が2秒程

度の微動で、沈み込むフィリピン海スラブと上盤プレートの境界面の固着域の深部方向、プレート境界の深度で30kmから40kmの、固着域と定常すべり域の間の遷移領域で発生していると考えられている。更にこの深度

の境界が、地震動を伴わずにごくゆっくりとすべるスロースリップイベント (SSE) が発見され (Hirose et al., 1999; Ozawa et al., 2002), これらの微動とスロースリップが時間的・空間的に関係していることが明らかになってきた (Obara et al., 2004; Hirose and Obara., 2005; Hirose and Obara., 2006; Obara and Hirose., 2006). 同様の微動やスロースリップといった現象が、アメリカ西海岸のカスケディア (Dragert et al., 2001; Miller et al., 2002), メキシコ (Lowry et al., 2001; Larson et al., 2004; Lowry et al., 2005), ニュージーランド (Wallace et al., 2004; Douglas et al., 2005), コスタリカ (Protti et al., 2004; Brown et al., 2005) など, 他の沈み込むプレート境界においても発生していることが発見されている (Schwartz and Rokosky., 2007). これらの現象はプレート境界面の固着域に隣接した領域で発生しており, SSE が固着域に何らかの影響を及ぼしていると考えられた.

西南日本で発生するスロースリップには, 時定数が異なる長期 SSE と短期 SSE がある. 長期 SSE は継続期間が数か月から数年であり, 短期 SSE は継続時間が数日から十数日である. 豊後水道や東海地域などで発生している長期 SSE は, スロースリップに伴う地殻変動が GPS によって検出され, 断層パラメータの推定が行われていた (Ozawa et al., 2004 など). 他方で短期 SSE は規模が小さいために GPS による検出は難しいと考えられており, より精度の高い傾斜計や歪計を用いた検出が行われ, 断層パラメータのモデル化などが行われていた (Hirose and Obara., 2006; Sekine et al., 2010 など). しかし, 傾斜計や歪計には局所的な地下水の移動などに影響される数週間から数カ月の中長期の変動が含まれているため, Hirose and Obara

(2006) などでは地震観測網で検出した深部低周波微動の発生時に合わせて近傍の観測点の時系列を切り出し, スロースリップに対応する変化を読みだすなど, 微動を指標として地殻変動の検出を行っている. 他方, 濱ほか (2008) などにより, GPS 記録を用いていくつかの短期 SSE の検出も行われている. これらの研究では GPS データに含まれる短周期のノイズを観測点間に共通の変動として取り除くことで GPS データの品質を向上させ, 短期 SSE で生じる微小な地殻変動の検出を可能とした. GPS データを用いる最大の利点は, 歪み計などに見られる中長期の変動成分が小さいことである. そのため微動を指標としない, GPS データのみによる短期 SSE の検出が期待できる. さらに前述したようにデータが中長期的に安定しているため, 連続したデータを用いた解析を行うことができ, 時間的に変化する微小な地殻変動のモニタリングが期待できる.

2. 研究の目的

本研究は, 西南日本に配置された国土地理院による GPS Earth Observation Network (GEONET) の日々の座標値 F3 解を用いた連続的な断層インバージョンによって, GPS データから西南日本のプレート境界面で生じている短期 SSE を含む微小な断層運動を検出するとともに, 時間的に連続なデータを用いることによるプレート境界の固着状態のモニタリング, さらに短期的なすべり分布の積算値から長期的なプレート境界面の固着-すべりの分布を知ることを目的とした.

3. 研究の方法

本研究では, GPS データとして 1996 年 4 月から 2010 年 12 月まで約 15 年間の国土地

理院GEONETの日々の座標値F3解を用いた。使用した観測点は西南日本の504点である(図1)。このデータを元に地表変位の計算を行う。しかしGPSの時系列データにはプレートの相対運動によって生じる地表変位だけでなく、アンテナの保守点検作業などによる人為的なオフセット、地震による断層運動で生じるオフセット、さらに観測点全体に生じる共通変動によるノイズが含まれている。共通変動は日毎の短周期的な変動でGPS衛星の軌道決定精度やつくばを固定点とした位置決定、気象条件などに起因し、観測点全体に生じるノイズと考えられる。これらのオフセットやノイズを取り除くことで、プレートの相対運動によって生じる地表変位をより顕著に抽出することができる。

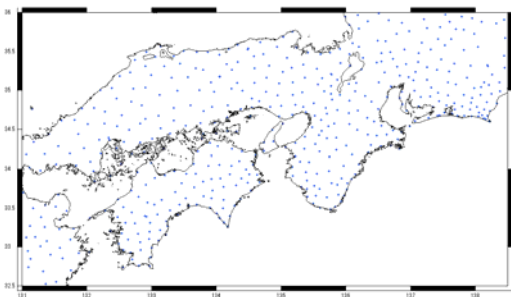


図1. 解析に用いた504点のGPS観測網

そこで、はじめにオフセットの補正を行った。人為的要因によるオフセットを取り除くために、国土地理院の電子基準点保守作業リストを元に保守作業を行った日の前20日間、後10日間の時系列を直線近似し、そのトピを求めて差を補正することで作業日に生じたオフセットを補正した。次に地震によるオフセットを取り除くため、気象庁一元化震源カタログに記載されている震源を基に、地震の規模に応じた震源からの距離 r を以下の式で設定し($r=50 \times 10^{M-6}$; M =モーメントマグニチュード)、範囲内の観測点で、地震の前50日間、後10日間を直線近似しオフセット

を補正した。このようにして求めた時系列データをもとに前日との差分を求め、その差分データに主成分分析を行った。前日との差は、その大部分が観測誤差であると考えられ、またその第一主成分は広域的に共通の短周期変動であるため、それを取り除くことにより誤差を大幅に軽減できる。これらのGPSデータの時系列への補正を行ったことで、GPSデータの日々の差分のRMSは平均で南北成分が5.480 mmから2.023 mmに、東西成分が6.510 mmから2.611 mmに、上下成分が10.391 mmから7.365 mmとなった。この手法の開発についてはIkuta et al., 2012にまとめた。

次にこのデータからインバージョン解析により、プレート境界のすべり量の推定を行った。推定に際しては、数日から7日程度で進行する短期SSEが十分に評価できることを念頭に、7日間のインターバルを挟んで前後とも10日間ずつのデータをそれぞれ平均し、両者の差を1データとし、1996年から2011年まで1日ずつ16年分の地表変位データを作成した。

このデータを用い、1日毎にプレート境界すべりのインバージョンを行った。インバージョンに際しては引きずり込み/すべりの方向をプレート沈み込み方向に限定し、引きずり込みはプレート収束速度を超えない、データによる分解能が小さい部分はすべり量を小さくするよう制約する。ただし制約は赤池ベイズ情報量規準を最小にするように定めるなどの条件の検討を重ねた。

4. 研究成果

まずは研究成果を列挙する。

- a. GPSの時系列に含まれるノイズ成分の効果的な除去手法の確立。
- b. GPSによる短期スロースリップ検出手法

の確立.

- c. 長期のスロースリップ, プレート境界の固着状態の把握.
が主な成果である. 下記, 詳細に述べる.

3節のデータ解析の結果, 東海地方から四国西部までの間で, GPSにより短期SSEを広く検出することに成功した(図2). 具体的には, プレート境界面で3mmを超えるすべりが生じた場合を短期スロースリップであると定義したところ, 南海トラフ全体で16年間で285回の短期SSEを検出した. このうち深部低周波微動の記録がある2001年以降に限ると短期SSEは205回であり, そのうち131回で同時に深部低周波微動が発生していた. 短期SSEが検出されずに深部低周波微動のみが発生しているとみられるイベントは193回あった. 微動活動度の高いイベントほど短期SSEが検出されやすい傾向が見られた. ある程度より規模の小さな短期SSE(すべり量が3mmを超えないSSE)はノイズとの区別がつかず現状では判定が難しい. これまでGPSでは検出が出来ていなかった東海地方でも短期スロースリップが検出できGPS観測の有用性が示された.

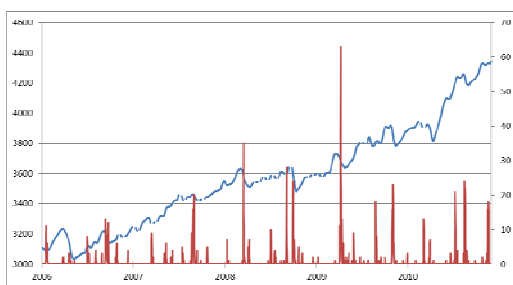


図2. 四国西部でのプレート境界の積算すべり履歴と深部低周波微動の活動度.
青線; 積算すべり履歴. 傾き正が固着, 傾き負が断層運動. 赤の棒グラフは微動活動度.

次にこれらの短期の解析結果を積算し, 長期のプレート境界のすべり/固着分布を評価した. まず長期スロースリップのあった豊後水道, 東海について述べる. 豊後水道で

は, 1997年, 2003年, 2009年の三回の長期SSEが発生していることが先行研究によって知られている(Hirose et al., 1999; Hirose and Obara, 2005; Ozawa et al., 2007; 国土地理院, 2010;など). 本研究では, 短期的なすべりの積算値を用いて, これらのイベントの断層パラメータの推定を行った. 各イベントともすべり面積に大きな差はないが, 平均すべり量は1997年のイベントでは約21mmなのに対し, 2003, 2009年のイベントでは50mmを超える値となっており, モーメントマグニチュード1997年が6.6, 2003年が6.8, 2009年が6.9だった. また, すべり域も1997年のイベントでは豊後水道の中央に最大すべり域があるが, 2003年, 2009年のイベントでは豊後水道の東側に最大すべり域があった. 東海地域では2000年から2005年にかけて長期的なSSEが発生していたことが知られている(国土地理院, 2007など). 豊後水道のイベントと同様に短期的なすべりの積算値を用いて東海長期SSEの地震モーメント, すべり量, すべり面積, モーメントマグニチュード, すべり域の推定を行った. 推定されたモーメントマグニチュードは7.0で, 最大すべり量は浜名湖北西部で約252mmであった.

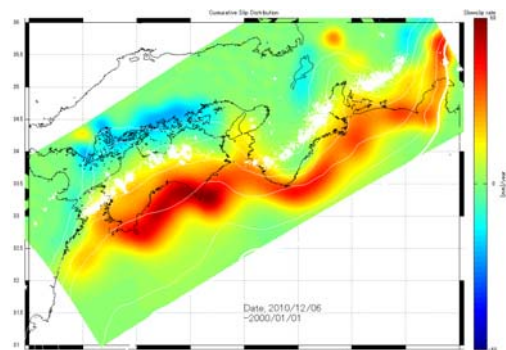


図3. 2000年から2010年の平均すべり量分布(青は断層すべり, 赤は固着による引きずり込みを表す)

最後にプレート境界の固着状況について, 2000年から2010年までのすべりの積算値か

ら年間の平均すべり量を計算した(図 3)。足摺岬、室戸岬、潮岬、志摩半島、御前崎などに高固着域があり、これらの領域のひきずりこまれる量の積算値の時間変化をみると(足摺岬の例；図 4)，いずれも定常的に沈み込んでいることがわかった。

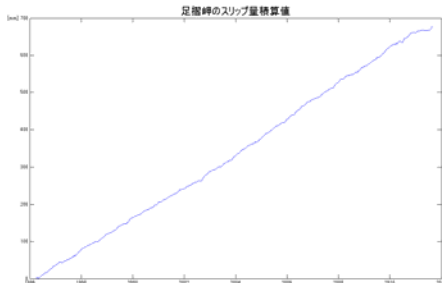


図 4. 足摺岬直下のプレート境界の 10 年間の積算すべり履歴。傾きがプラスで固着，マイナスで断層すべり。傾きの平均値は 45.0mm/yr.

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)

- (1) Ikuta, R., M. Satomura, A. Fujita, S. Shimada, and M. Ando, A small persistent locked area associated with the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake, deduced from GPS data, *J. Geophys. Res.*, 査読有, 117, B11408, 2012, doi:10.1029/2012JB009335.

[学会発表] (計 6 件)

- ① GEONET データによる西南日本の固着分布と短期的スロースリップの連続モニタリング, 藤田明男, 生田領野, 里村幹夫, 島田誠一, 加藤照之, 日本地震学会 2012 年度秋季大会, 函館市民会館 (函館市, 2012 年 10 月 18 日)
- ② GEONET を用いた西南日本のスロースリップイベントのモニタリング, 藤田明男, 里村幹夫, 生田領野, 島田誠一, 加藤照之, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ (千葉市, 2012 年 5 月 20 日)
- ③ Monitoring of coupling distribution and small Short-term SSEs in southwest Japan based on GEONET data, Fujita A., R. Ikuta, M. Satomura, S. Shimada, T. Kato, American Geophysical Union 2011 Fall Meeting, Moscone Center, (San Francisco, USA, 2011 年 12 月 8 日)
- ④ GEONET データによる西南日本の固着分布と短期的スロースリップの連続モニタリング, 藤田明男, 生田領野, 里村幹夫, 島田誠一, 加藤照之, 日本地震学会 2011 年度秋季大会, 静岡県コンベンションセンターグ

ランシップ (静岡市, 2011 年 10 月 14 日)

- ⑤ 2011 年東北地方太平洋沖地震の小さく強いアスペリティ, 生田領野, 里村幹夫, 藤田明男, 島田誠一, 日本地震学会 2011 年度秋季大会, 静岡県コンベンションセンターグランシップ (静岡市, 2011 年 10 月 13 日)
- ⑥ Inversion of interplate coupling beneath Tokai region using GEONET data, R. Ikuta, M. Satomura, IUGG 2011 meeting, Melbourne Convention Center (Melbourne, Australia, 2011 年 7 月 2 日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

生田 領野 (IKUTA RYOYA)

静岡大学・理学部・助教

研究者番号：60377984

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：-

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：-