

## (2-2) GPS 観測データに基づく中央構造線断層帯の固着領域および深部形状の推定

田部井隆雄（高知大学理学部）

tabei@cc.kochi-u.ac.jp

### (a) 業務の要約

四国地方の太平洋岸から中央構造線を横断し中国地方に至る稠密 GPS 臨時観測を実施し、国土地理院 GPS 全国連続観測網 (GEONET) を補完する形で、詳細な地殻変動速度場を決定した。四国東部を対象にしたこれまでの研究で、フィリピン海プレートの沈み込みによる弾性圧縮変形を除去した残差変動場から、中央構造線を境界とする広域ブロック運動、中央構造線断層帯の浅部固着と深部すべり、および断層面傾斜角を推定した。四国西部でもデータの蓄積が進んだので、四国東部と同様の解析を行った。全体として、四国西部の結果は東部の結果と矛盾するものではないが、地殻変動場の空間変化が緩やかで、東部ほど明瞭な結果が得られなかった。その原因は、九州に向かって中央構造線の活動度そのものが減衰していることが考えられる。同じプレート沈み込み帯に面しながら、四国と九州東部の地殻変動パターンは異なる。その遷移領域にあたる四国西部の地殻変動を理解するには、両地域を同時に対象とする総合的な扱いが必要である。

### (b) 業務の実施方法

中央構造線の右横ずれ運動は、南海トラフにおけるフィリピン海プレートの斜め沈み込みと密接に関連する。したがって、南海トラフと中央構造線にはさまれた前弧域の変形様式を、南海トラフの地震サイクルの進行と関連づけて議論することが重要である。四国沖のプレート沈み込み境界から内陸の中国地方へ至るひずみ蓄積過程を解明する目的で、中央構造線トラバース稠密 GPS 観測を実施している。測線は 2 本あり(図 1)、東部(MTL-East)では 1998 年から、西部(MTL-West)では 2002 年から年 1 回の臨時観測を実施している。1 回の観測あたり、約 1 週間にわたって連続的に GPS データを収集している。

2002 年～2004 年にわたる臨時観測から、アムール・プレートに対する 1 年あたりの平均変位速度を算出した(図 2)。臨時観測網と GEONET 網との結合は以下の要領で行った。臨時観測網データの解析には周辺の GEONET 観測点データも含め、両者とも臨時観測モードで速度の算出を行う。これとは別に、GEONET 観測点では 1996 年～2000 年にわたる連続観測データから、平均変位速度が算出されている(Hatanaka et al., 2003<sup>1)</sup>)。すなわち、GEONET 観測点に対しては 2 種類の速度が存在する。ここでは、伊予観測点(図 2 の IYO)において両者の速度が一致するよう、臨時観測網全体の並進調整を行った。国土地理院による日々の観測点座標最終解 F2 の時系列を見ると、伊予観測点では時間とともに変位が直線的に進行しており、速度を算出する期間の違いによる影響を回避できると考える。伊予における座標の東西成分の時系列を図 3 上段に示す。

GEONET 観測点における 2 種類の速度を比較すると、四国南西部で一致度が良くない(図 2)。その原因として、四国南西部では観測点変位が時間的に直線的でないことがあげられる。大方と土佐清水(位置を図 2 に示す)の座標東西成分の時系列を見ると、連続観測データから速度を算出している期間(1996～2000 年)と臨時観測の期間(2002～2004 年)とでは、トレンドの違いが見られる(図 3 中下段)。その原因は今後の検討課題である。今回は、

GEONET 観測点に関しては、1996～2000 年の連続観測データから算出された速度を用いることとする。四国南西部を除けば、大きな差異はない。

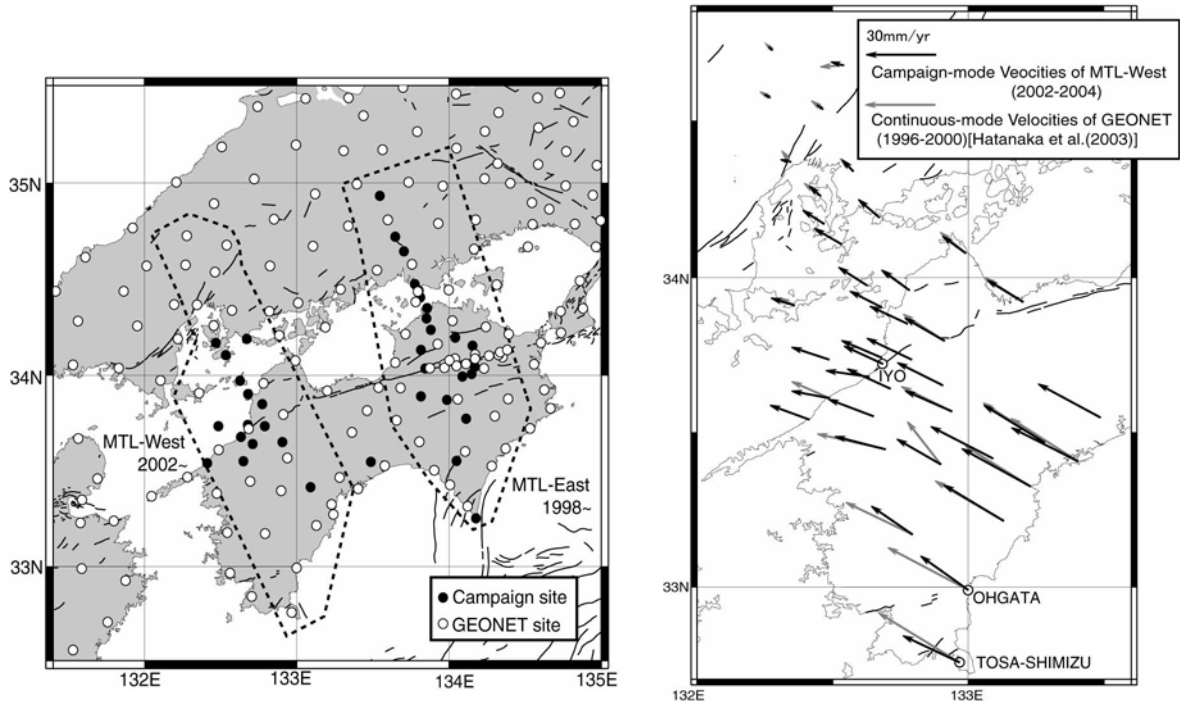


図1 四国地方とその周辺の GPS 観測点配置図。

図2 アムール・プレートに対する地殻水平速度。1996～2000年の連続観測データから算出したGEONET観測点の平均変位速度(Hatanaka *et al.*, 2003<sup>1)</sup>)と、2002～2004年の臨時観測から算出した速度の両方を示す。

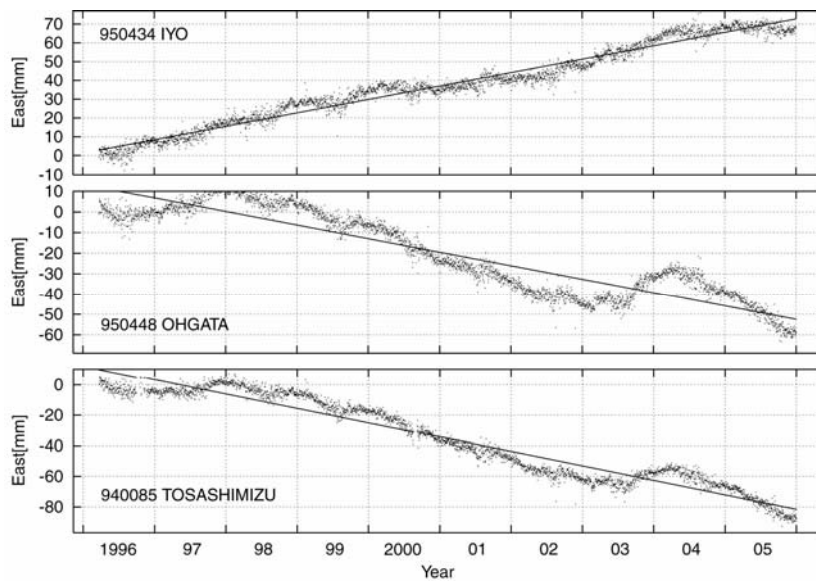


図3 伊予、大方、土佐清水における座標東西成分の時系列。国土地理院による GEONET 観測点の座標最終解 F2 を用いている。基準座標系は ITRF2000 である。

### (c) 業務の成果

フィリピン海プレートの沈み込みによる弾性圧縮変形を定量化するため、Tabei et al. (2002)<sup>2)</sup>と同様の作業を行った。すなわち、Sagiya and Thatcher (1999)<sup>3)</sup>のプレート境界断層面(図4)上にMiyazaki and Heki (2001)<sup>4)</sup>から求めたプレート相対運動速度を与える。深さ方向のプレート間カップリングはHyndman et al. (1995)<sup>5)</sup>に従い、5~25kmで100%、25~35kmを遷移帯、35km以深をカップリングゼロと仮定する。ただし、Sagiya and Thatcher (1999)<sup>3)</sup>のプレート境界断層は四国沖までしか与えられておらず、その延長上におけるプレート沈み込みが四国西部の地殻変動場に影響を及ぼしていることが考えられる。ここでは日向灘に4枚の断層(図4中のA~D)を追加した。四国沖から日向灘にかけてプレート境界の走向が南向きに変化し、沈み込み角度が急増しているため、追加した断層とSagiya and Thatcher (1999)<sup>3)</sup>の断層との会合部に若干のずれが生じている。

上記の手法によってプレート沈み込みによる弾性圧縮変形を計算し、図2の平均変位速度から除去した残差変動場を図5に示す。四国西部では中央構造線の走向にほぼ平行な西南西方向へ数 mm/yrの残差速度が見られる。中央構造線から北へ離れるにしたがって残差速度は緩やかに減少する。四国東部に見られるような速度の急変帯はない。九州側では相対的に残差速度が大きいが、プレート沈み込みの影響だけでなく、他の要因によるものと考えられる。これについては後述する。

四国東部、西部とも残差速度場は中央構造線の走向にほぼ平行である。図6は、中央構造線から各観測点までの直交距離に対し、残差速度の平行成分をプロットしたものである。四国東部では中央構造線を境界とする南側ブロックが北側に対し約 5mm/yrの速度で西向きに変位し、中央構造線の北側 20~30kmに速度の急変帯が存在する。このプロファイルからTabei et al. (2002)<sup>2)</sup>は、中央構造線の断層面が約 35度の角度で北側に傾斜し、地表から深さ 15kmまでの浅部が固着し、それより深部で定常すべりが起きていると推定した。四国西部では東部ほど明瞭なパターンが見られず、総じて速度の変化が緩やかで、南北ブロック間の速度差も小さい。固着がより深部にまで及んでいる、深部すべりは存在するとしても東部より小さい、等の解釈が可能であるが、今回の結果からだけでは断定できない。

より広域の観点から、四国西部の地殻変動場を考察する。図7はGEONETの1996~2000年の平均変位速度(Hatanaka et al., 2003<sup>1)</sup>)から算出した主ひずみ速度を示す。GEONETの観測点の中には、周辺の観測点の変動とは異なる特異な挙動を示すものが少なからず存在する。その原因として、アンテナ架台の不安定性、地盤特性、地下水環境、GPS電波のマルチパスなどが考えられる。ある1点の変位速度に真の変動ではないノイズが含まれていると、ひずみ速度を算出する過程において、1点のノイズが周辺に伝播してしまう。これを防ぐために、最小二乗コロケーション法を用いた空間フィルター(El-Fiky et al., 1997<sup>6)</sup>)を適用した。テクトニックシグナルは空間的に相関を持つのに対し、観測点に固有のノイズは相関を持たないと仮定し、空間的相関を持つ変動成分を抽出した。

図7を見ると、四国東部ではフィリピン海プレートの進行方向に顕著な圧縮ひずみが見られるが、西へ行くにしたがい主軸の方向が反時計回りに回転し、九州北部ではほぼ東西となる。同時に、九州では四国には見られなかった伸張ひずみが南北方向に現れてくる。四国から九州にかけての地殻変動場の遷移は、四国沖と日向灘でのフィリピン海プレートの沈み込み過程の違いが反映されていることは疑いない。しかし、それだけでは九州の伸

張ひずみを説明することはできない。九州側にプレート沈み込み以外の変動源が存在することが考えられ、その影響は四国西部にまで及んでいることは十分考えられる。

図5の残差変動場を求めるにあたり、今回はプレート沈み込みの影響しか考慮していない。しかも、四国沖から日向灘に至るプレート境界面形状の急変を正確に表現できていない可能性がある。豊後水道周辺ではスロースリップイベントの発生も報告されており(Hirose et al., 1999<sup>7)</sup>; Ozawa et al., 2001<sup>8)</sup>)、四国東部とは異なる変動が進行中であると考えられることは自然である。

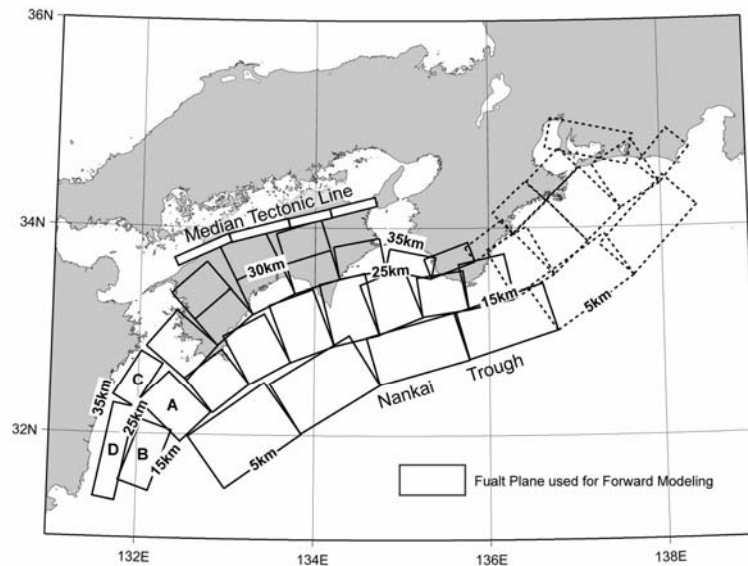


図4 南海トラフのプレート境界断層面。Sagiya and Thatcher (1999)<sup>3)</sup>の断層面に、日向灘にA~Dの4枚の断層面を追加した。今回は実線で表現された断層面のみを用いている。

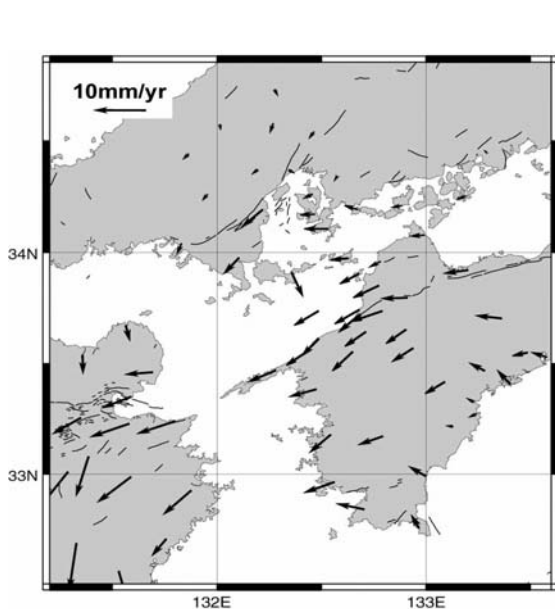


図5 フィリピン海プレートの沈み込みに伴う弾性圧縮変形を除去した残差速度ベクトル図。

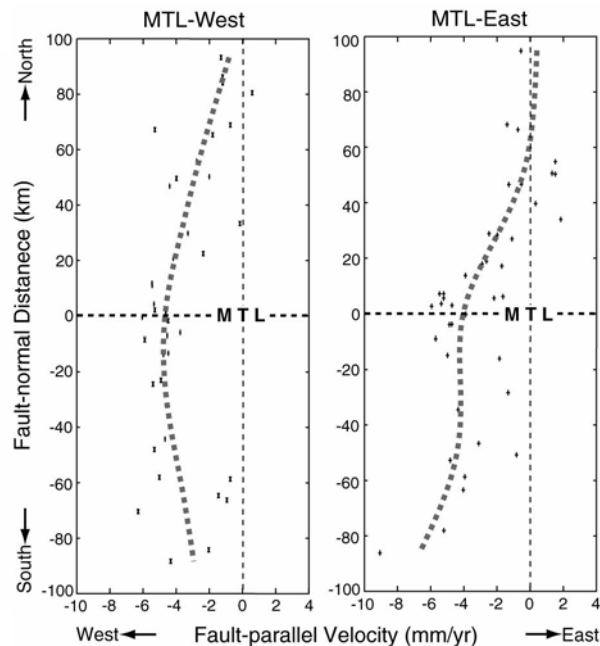


図6 中央構造線の走向に平行な残差速度成分の分布。

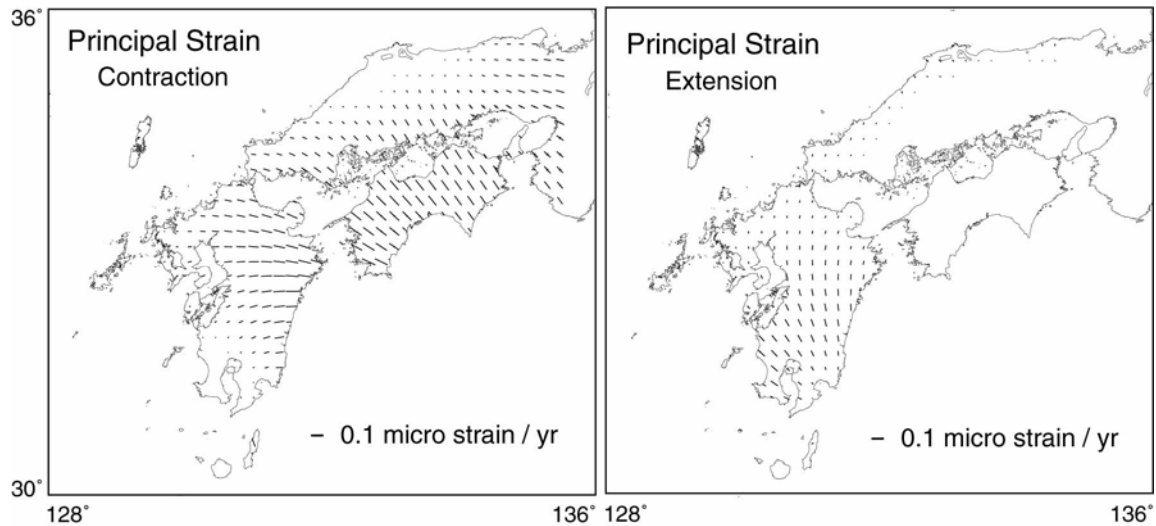


図7 GEONET観測点の平均変位速度(Hatanaka et al., 2003<sup>1)</sup>)から算出した主ひずみ速度。最小二乗コロケーション法による空間フィルター(El-Fiky et al., 1997<sup>6)</sup>)を適用している。

(d) 結論ならびに今後の課題

フィリピン海プレートの沈み込みによって生じる上盤側プレートの弾性圧縮変形をフォワードモデルによって定量化し、これを除去した残差変動場から中央構造線を境界とする広域ブロック運動や、中央構造線断層帯の浅部固着と深部すべりを推定した。今回対象とした四国西部では、中央構造線をはさんだ速度のコントラストが四国東部ほど明瞭ではなく、確定的な結果が得られなかった。その原因として、九州へ向かって中央構造線の活動度そのものが減衰していることが考えられるが、現時点では他の要因も否定できない。

四国西部の地殻変動場を説明するには、四国沖から日向灘にかけて急変するプレート境界形状を正確に表現し、四国から九州に至る変動場の遷移過程を議論することが重要と考える。そのために、プレート境界断層面の再検討を行う予定である。その上で、地殻水平速度に上下速度を加えたフォワード並びにインバージョン解析を行いたい。

(e) 引用文献

- 1) Hatanaka, Y., Iizuka, T., Sawada, M., Yamagiwa, A., Kikuta, Y., Johnson, J. M., and Rocken, C.: Improvement of the analysis strategy of GEONET, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, Vol.49, pp.1-35, 2003.
- 2) Tabei, T., Hashimoto, M., Miyazaki, S., Hirahara, K., Kimata, F., Matsushima, T., Tanaka, T., Eguchi, Y., Takaya, T., Hosono, Y., Ohya, F., and Kato, T.: Subsurface structure and faulting of the Median Tectonic Line, southwest Japan inferred from GPS velocity field, *Earth Planets Space*, Vol.54, pp.1065-1070, 2002.
- 3) Sagiya, T. and Thatcher W.: Coseismic slip resolution along a plate boundary megathrust: The Nankai Trough, southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, Vol.104, pp.1111-1129, 1999.
- 4) Miyazaki, S. and Heki, K.: Crustal velocity field of southwest Japan: Subduction and arc-arc collision, *J. Geophys. Res.*, Vol.106, pp.4305-4326, 2001.
- 5) Hyndman, R. D., Wang, K., and Yamano, M.: Thermal constraints on the seismogenic portion of

the southwestern Japan subduction thrust, *J. Geophys. Res.*, Vol.100, pp.15,373-15,392, 1995.

- 6) El-Fiky, G. S., Kato, T., and Fujii, Y.: Distribution of vertical crustal movement rates in the Tohoku district, Japan, predicted by least-squares collocation, *J. Geodesy*, Vol.71, pp.432-442, 1997.
- 7) Hirose, H., Hirahara, K., Kimata, F., Fujii, N., and Miyazaki, S.: A slow thrust slip event following the 1996 Hyuga-nada earthquakes beneath the Bungo Channel, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.26, pp.3237-3240, 1999.
- 8) Ozawa, S., Murakami, M., and Tada, T.: Time-dependent inversion study of the slow thrust event in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, Vol.106, pp.787-802, 2001.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
柄賢太朗, 田部井隆雄, 松島健, 加藤輝之, 宮崎真一, 加藤佐代正, 金山清一	稠密 GPS 観測による四国地方の地殻変動場と中央構造線の運動様式	日本地震学会 2005 年度秋季大会、札幌市	平成 17 年 10 月 19 日
Tabei, T., Adachi, M., and Miyazaki, S.	Interseismic deformation of the Nankai subduction zone, southwest Japan inferred from three-dimensional crustal velocity field	Asia Oceania Geoscience Society 2nd Annual Meeting, Singapore	平成 17 年 6 月 22 日

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
なし	

3) 仕様・標準等の策定

なし