

平成 17 年 (2005 年) 福岡県西方沖を震源とする地震に伴う地殻変動と断層モデル Crustal Deformation and a Fault Model of the West-off Fukuoka Prefecture Earthquake in 2005

測地観測センター 小清水 寛・畑中雄樹・根本盛行

Geodetic Observation Center

Hiroshi KOSHIMIZU, Yuki HATANAKA and Moriyuki NEMOTO
地理地殻活動研究センター 西村卓也・今給黎哲郎・村上 亮

Geography and Crustal Dynamics Research Center

Takuya NISHIMURA, Tetsuro IMAKIIRE and Makoto MURAKAMI

測地部 藤原 智

Geodetic Department Satoshi FUJIWARA

要 旨

2005 年 3 月 20 日 10 時 53 分頃に福岡県西方沖でマグニチュード (M) 7.0 の地震が発生した。国土地理院の電子基準点網 (GEONET)、三角点復旧測量結果及び人工衛星を用いた干渉 SAR (合成開口レーダー) の観測結果から、福岡県地方を中心に詳細に地殻変動が検出された。これらの観測データを解析することで、地震観測の結果と調和的な左横ずれの断層運動モデルが求められた。さらに、GEONET による GPS 連続観測結果により、一部の観測点で地震後の余効変動に伴う地殻変動が検出された。

1. 地震活動の概要と観測態勢

2005 年 3 月 20 日 10 時 53 分頃に福岡県西方沖の深さ約 10km で M7.0 の地震が発生し、福岡県と佐賀県で最大震度 6 弱を観測した。地震活動は本震—余震型 (大きな地震が発生後、その付近で最初の地震より小さな地震が続発すること) で、これらの地震は、主として玄界灘から志賀島付近にかけて北西—南東方向に線状に分布している。地震観測から求められる余震分布と本震の発震機構から推定される震源断層は、北西—南東方向に伸びるほぼ鉛直な断層面を持つ左横ずれ断層である。2005 年 11 月 30 日までの最大の余震は、4 月 20 日の M5.8 の地震 (最大震度 5 強) で、玄界灘から志賀島付近にかけての余震域内の南東端付近で発生した。この地震により一時的に余震活動が活発化したが、全体の活動は本震—余震型で推移しており、余震活動は減衰してきている (地震調査研究推進本部, 2005)。

当該地域では、類似した地震の記録がないために、どのような発生機構の地震であったのかを解明することは、今後の地震発生の予測等のために重要である。また、余震が南側の福岡市内に近い端で発生したことにより、福岡市内を走る活断層への影響を見積もるためにも、地殻変動の分布からも今回の地震の全体像を求める必要性があった。

地震発生後、GEONET を構成する GPS 連続観測点の 15 時までのデータ (緊急 (S2) 解) を解析し、観測

された地殻変動、及びそれから推測された断層モデルを地震発生日夕刻に緊急発表した。さらに、GPS 連続観測点の 3 月 23 日までのデータ (迅速 (Q2) 解) を解析した結果、福岡観測点のデータから地震後の余効変動が検出されたため、その推移をより詳細に監視するために、GPS 機動連続観測点が新たに設置された。また、地震に伴う詳細な地殻変動を把握するために、福岡県地方を中心に三角点の緊急復旧測量が 4 月に実施された (平井ほか, 2006)。

2. 観測データ

2.1 GPS 連続観測結果

福岡県北部は、西山断層、警固断層など、北西—南東走向の活断層が複数存在するが、1923 年以降、地震活動は低調のまま推移している。国土地理院の GEONET による地震前 5 年間の GPS 連続観測データから得られた歪図を図-1 に示す。この期間ではフィリピン海プレートの沈み込みに伴う東南東—西北西方向の定常的な圧縮傾向以外に、芸予地震 (2001/3/24, M6.7)、豊後水道のゆっくり滑り (2003 年夏~秋)、阿蘇山及び桜島の火山活動の影響などが含まれている。歪図からは、地震前 5 年間の福岡県地方は地殻の歪みが小さかったことがわかる。

地震前後の GPS 連続観測結果によれば、2005 年 3 月 20 日福岡県西方沖を震源とする地震 (M7.0) に伴い、福岡観測点 (福岡県福岡市東区) が南西へ約 18cm、前原観測点 (福岡県前原市) が南へ約 9 cm 変動するなど、福岡県地方を中心に地殻変動が検出された (図-2, 3)。

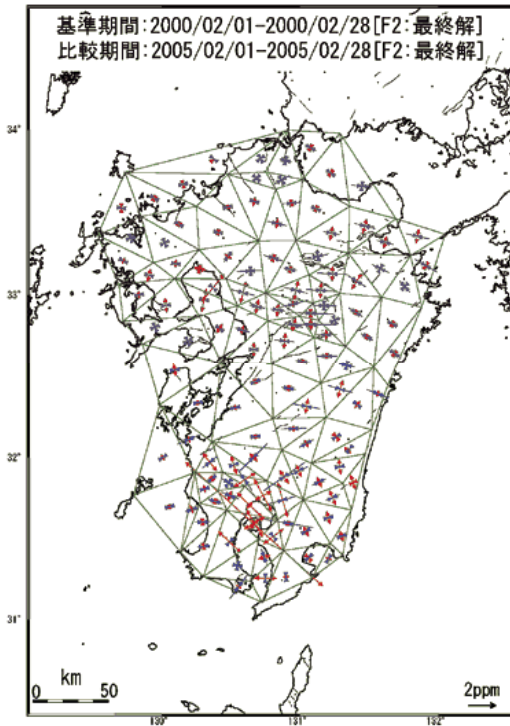


図-1 九州地方の地殻水平歪

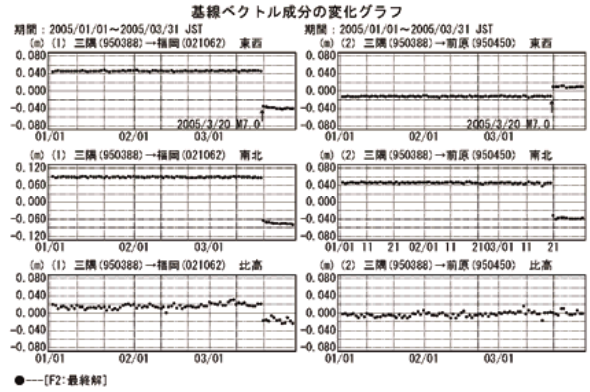


図-3 地震時の基線ベクトル成分の変化グラフ

その後の地震活動は、M7.0の地震を本震とする本震-余震型で推移し、余震活動は順調に減衰している。最大余震は2005年4月20日に志賀島付近で発生したM5.8の地震であり、最大震度5強を観測したが、地震に伴う顕著な地殻変動は観測されていない。

本震後では、福岡観測点、及び本震後に設置されたM海の中道観測点（福岡県海の中道海浜公園内）において、余効変動が観測されている（図-4）。

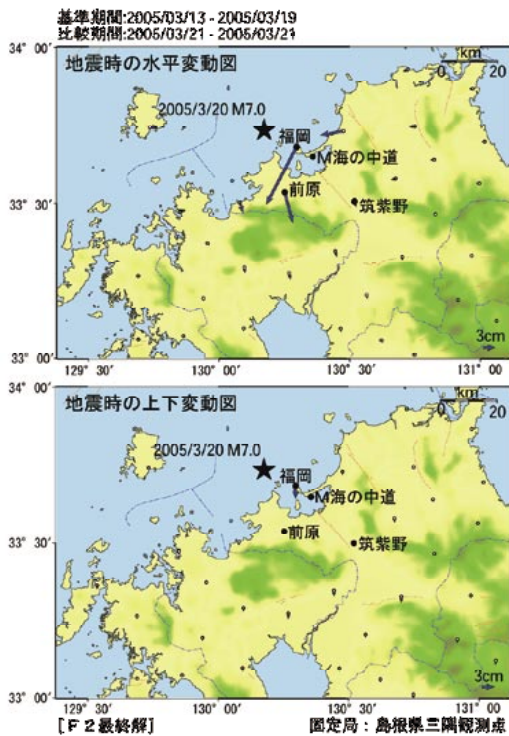


図-2 地震時の水平・上下変動図

M海の中道観測点は地震後に設置されたため、データは存在しない。

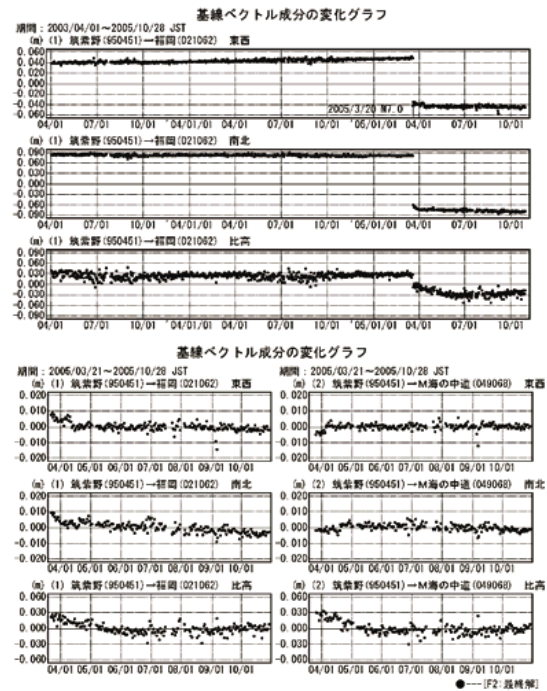


図-4 地震後の基線ベクトル成分の変化グラフ
筑紫野-福岡基線については、地震前の長期の成分変化を添付。

震源域近傍の福岡観測点における変動は、本震後では現在に至るまで水平方向で1~2cm程度であり、本震時の水平変動量18cmの高々2割である。これと対照的に、本震後の福岡観測点の沈下量は3cm程度と本震時の沈下量に匹敵する。この上下変動は、同じく震源域近

じく震源域近傍に位置するM海の中道観測点でも観測されているため、局所的な地盤の影響に伴う現象とは考えにくい。これらの余効変動のメカニズムについては、観測されている余効変動の水平変動量と上下変動量の比が、地震時の変動と異なることから、本震時の断層全体が一様に余効すべりするというような単純なモデルでは説明できず、今後詳細な解析を行っていく必要がある。

図-5では地震後の余効変動の推移を、筑紫野-福岡基線ベクトル成分の変化率で見たものである。正味の余効変動を見積もるため、プレート運動に伴う経年変化や年周期的変動を取り除き、90日間のデータから水平成分変化率 [m/yr] を回帰計算して、その値を計算期間の中間日に表示している。地震前は基線ベクトルの成分変化がほぼ直線的に推移しているため、東西成分・南北成分とも変化率は0を中心としてばらついている。地震前のデータから得られる変化率のばらつきは東西方向で年間2mm程度、南北方向で年間5mm程度である。地震後の水平変化率は長期的には減衰傾向を示し、2005年6月以降では平均すると東西・南北ともに年間5mm程度になった。

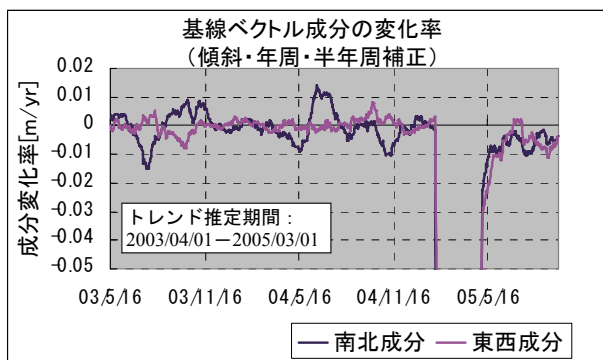


図-5 筑紫野-福岡基線ベクトル成分の変化率
90日間のデータを1日ずつずらして計算。表示位置は、計算期間の中間日。最終表示日は2005年9月29日

2.2 干渉 SAR 処理データ

欧州宇宙機関 (ESA) の人工衛星である ENVISAT (エンビサット) の SAR データを用いて、福岡県西方沖を震源とする地震の地殻変動を求めた。地震前の2005年2月23日と地震後の2005年3月30日に衛星から撮影された SAR 画像を用いて干渉処理を行った。干渉 SAR には衛星軌道誤差及び大気中の水蒸気分布の不均一によって生じる長い空間波長をもった誤差が含まれる。衛星軌道誤差については GPS 連続観測データを用いて画像の傾きの補正を行ったところ、GPS と干渉 SAR との残差の標準偏差は 1 cm となり、時期的に大気も安定していたことから、1 cm 程度の精度で地殻変動を求めることができた。

図-6に干渉処理の結果得られた変位量観測値を

示す。衛星電波の地表への入射角は約 23 度、地表から見た衛星の方位は約 102 度であり、東南東からの観測となる。図の数値 (単位: cm) は衛星-地表の視線方向の変位を示し、マイナスは衛星から遠ざかる (西向きまたは沈下) 変位を表す。震源に近い福岡市の西の糸島半島で最大 5 cm 衛星に近づく変位、海の中道で最大 5 cm 衛星から遠ざかる変位が観測された。なお、ENVISAT 衛星は、Cバンドと呼ばれる波長の短い (5.6cm) 電波を使用しているために、一般に植生が多い地域や地形が急峻な地域では良好な干渉が得られにくく、図-6においても山地などでは地殻変動量は得られていないため、糸島半島や海の中道の干渉していない地域ではこれ以上の変位があったものと推定される。

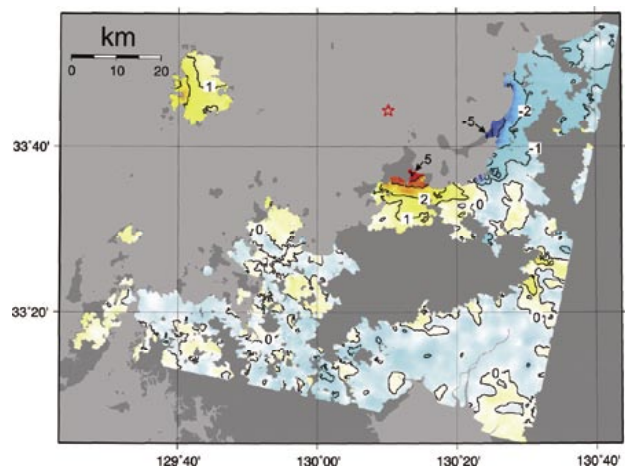


図-6 干渉 SAR による変位量観測値

3. 地殻変動統合解析による地震のすべり分布

GPS 連続観測データによる本震時の地殻変動 (図-2) や余震分布から、北西-南東方向のほぼ垂直に立った断層面をもつ左横ずれ断層モデルが示唆される。そこで、GPS 連続観測データに加え、干渉 SAR 処理結果、三角点復旧測量結果 (平井ほか, 2006) を用いて本震の矩形断層モデルと断層面上でのすべり分布を推定した (Nishimura et al., 2006)。用いた干渉 SAR データは図-6に示した2月23日から3月30日のものである。GPS データは、GEONET 最終 (F2) 解の3月10日~19日と3月21日~30日の平均値の差と、同期間の GPS 固定点3点、海上保安庁海洋情報部 DGPS 局1点のデータを用いている。

1枚の矩形断層を仮定して、そのパラメータを最小自乗法を用いて推定すると、長さが約 24km、幅約 8 km の断層が約 1.3 m すべったと推定された。次に、ここで推定した断層の位置、走向、傾斜角を用いて、断層面を走向方向と傾斜角方向に広げた 32km × 16km の面を仮定し、この面を 2 km 四方の小領域に分割して、各小領域のすべり量とすべり角を推定した。

なお、理論値の計算には、Okada (1985) の半無限弾性体の解を用いており、すべり分布が滑らかになるような拘束をかけている。このように推定した断層モデルは、GPS 連続観測及び三角点復旧測量結果をよく説明することができる (図-7)。また、干渉 SAR による変動量分布もよく説明する (図-8)。

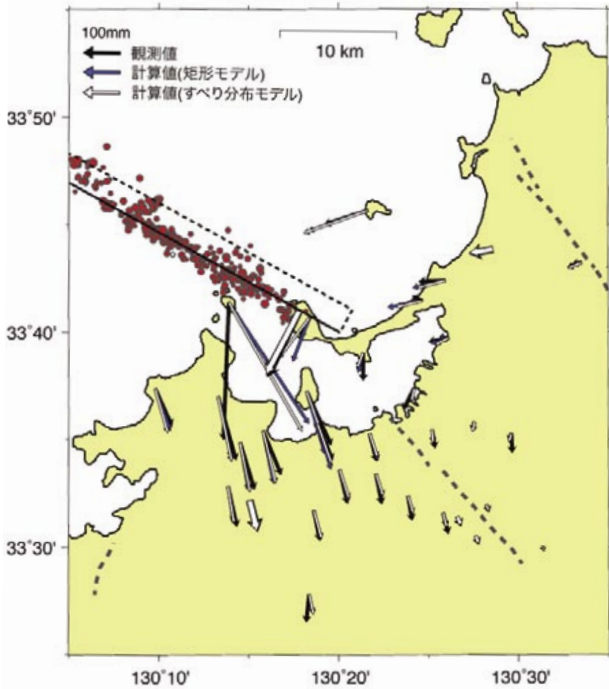


図-7 GPS 連続観測点と三角点での地震時変動量と計算値の比較
 矩形の領域は、すべり分布を推定した断層面を表す。太い矢印と細い矢印は、GPS 連続観測点と三角点での変動量を示す。赤丸は、気象庁一元化震源による余震分布。

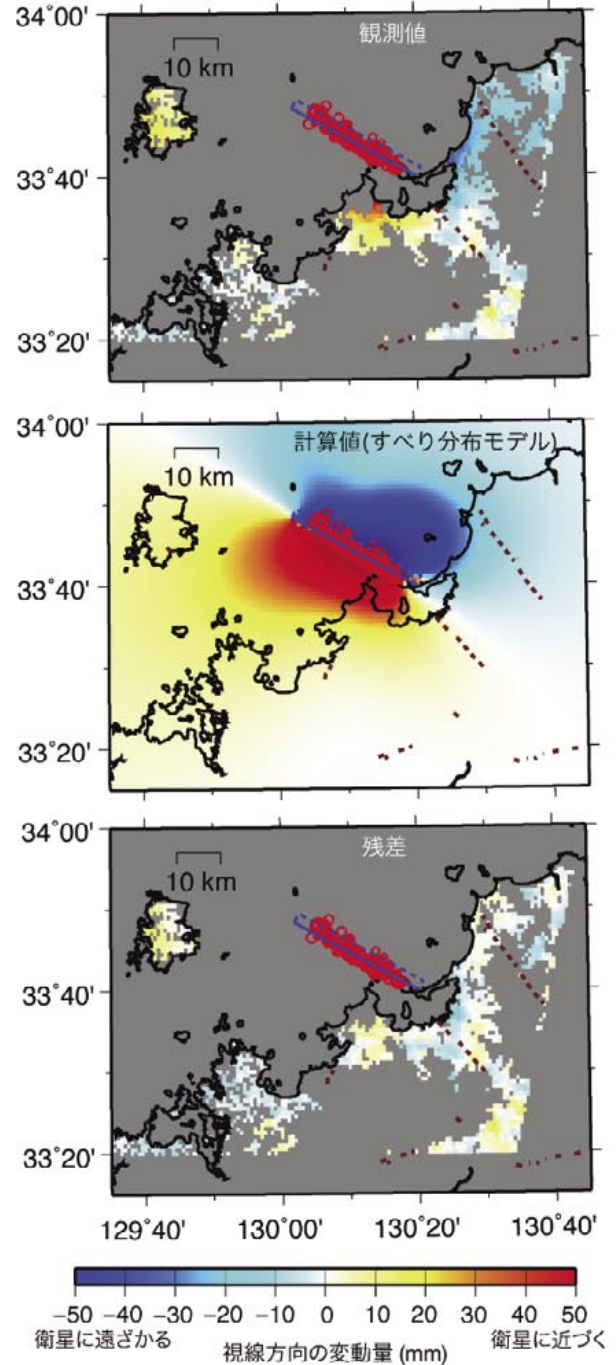


図-8 干渉 SAR による変動量と計算値の比較

推定されたすべり分布 (図-9) を見ると、本震震央位置から東南東側の浅い部分にすべりのピーク (約 1.9 m) があり、地震波形のインバージョン結果とおおむね調和的である。また、余震は本震のすべり域の深部を中心として取り囲むような場所で発生していることがわかる。剛性率を 30GPa と仮定すると、全体の地震モーメントは、 $8.7 \times 10^{18} \text{Nm}$ (モーメントマグニチュード 6.6 相当) となる。

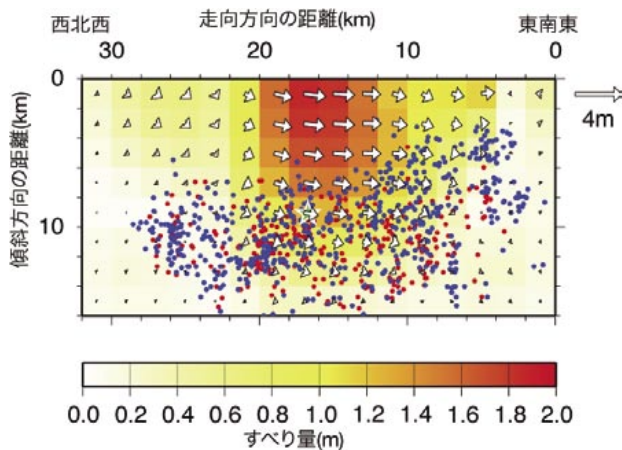


図-9 推定された断層面上でのすべり分布
赤と青の点は、3月20日及び3月21日～29日に発生した余震分布。

4. まとめ

福岡県地方は、地震計記録開始以降2005年初頭に至るまで地震活動が低調であり、地震直前の5年間にわたるGPS連続観測結果による地殻水平歪みも小さかった。その後、2005年3月20日に福岡県西方沖でM7.0の地震が発生し、国土地理院のGEONET、三角点復旧測量結果及び干渉SARの観測結果から、福岡県地方を中心に詳細な地殻変動が検出された。これらの観測データを統合して解析した結果、地震観測の結果と調和的な左横ずれの断層モデルが推定された。更にGPS連続観測を継続した結果、地震後に一部の観測点で余効変動に伴う基線変化が検出された。余効変動は、長期的には減衰傾向にあり、2005年11月現在ではほぼ終息しているように見える。

なお、本解析では、気象庁一元化震源と海上保安庁海洋情報部DGPS局のデータを使用した。両機関に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 平井英明, 横川薫, 齋田宏明, 湯通堂亨, 植竹政夫 (2006) : 平成17年(2005年)福岡県西方沖を震源とする地震に伴う測地測量の取り組み, 国土地理院時報, 109, 35-43.
- Nishimura, T., S. Fujiwara, M. Murakami, H. Suito, M. Tobita, H. Yarai (2006) : Fault model of the 2005 Fukuoka-ken Seiho-oki earthquake estimated from coseismic deformation observed by GPS and InSAR, Earth Planet Space (in press) .
- Okada, Y. (1985) : Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am. 75, 1135-1154.
- 地震調査研究推進本部, これまでの地震活動の評価, <http://sparc1038.jishin.go.jp/main/> (accessed 9 Nov. 2005) .