

## 6. 2005年福岡県西方沖の地震 (M7.0) の概要

### (1) はじめに

2005年3月20日10時53分、福岡県西方沖の玄界灘で気象庁マグニチュード7.0の地震が発生した。この地震によって福岡県福岡市と前原市、佐賀県みやき町で震度6弱を記録し、福岡市でブロック塀の下敷きになって1人が死亡、1000人以上の負傷者が出たほか、家屋や道路などにも多くの被害があった。特に、震源に近い沿岸部では被害が大きく、玄界島の島民は島外での避難生活を強いられた。

福岡県西方沖地震は西南日本弧内帯と琉球弧内帯の会合部で発生した地震であり、この地域においては有史以降最大級の内陸地震であった。また、福岡都市圏を横断する警固断層帯の北西セグメントで発生したことから、警固断層帯南東セグメントに及ぼす影響について注目された。したがって、この地震の特徴を明らかにすることは西南日本弧と琉球弧の会合部のテクトニクスや内陸地震の発生機構の研究のみならず、地震防災のうえでも重要である。そのため、高感度・広帯域地震、強震、GPSなどの基盤的観測網による常時観測に加え、さまざまな調査・観測がなされた。ここではその概要と課題について簡潔にレビューする。

### (2) 福岡県西方沖地震の震源分布と断層モデル

地震発生後、九州大学、鹿児島大学、京都大学、東京大学、東北大学、北海道大学は合同で緊急の臨時余震観測を実施した。臨時観測点は、本震発生当日から余震域を取り囲むように福岡市周辺や沿岸の島々に設置された。これらの地震観測データは、九州大学地震火山観測研究センターで検出処理等が行われるとともに、4箇所のテレメータ観測点の観測波形についてはリアルタイムで気象庁へ伝送され、地震活動の監視に利用された (Shimizu et al., 2006)。また、今回の地震は海底で発生したことから、より精度の高い震源分布を得るため、九州大学と東京大学は、11台の自己浮上式海底地震計を震源域直上とその近傍に設置し、約18日間の海底地震観測を実施した。海底地震観測データは陸上地震観測データと併せて処理・解析が行われ、高精度の震源分布と発震機構解から震源断層の位置、大きさ、形状などが推定された (Uehira et al., 2006; 植平・他, 2007)。

Uehira et al. (2006) による震源分布と発震機構をそれぞれ図1と図2に示す。余震は、海の中道～博多湾の活動を除くと、志賀島から北西方向に約25kmにわたって線状に分布しており、本震は余震分布の中央部やや北西寄りに位置している。本震の発震機構は東西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であり、上記の余震分布と本震の発震機構から、震源断層はN60°W走向のほぼ鉛直な断層面を持つ左横ずれ断層であることが明らかになった。また、余震分布の広がりから、震源断層の長さは約25km、幅は約15km (上端の深さは約2km) と推定された。余震分布を詳細に見ると、余震域の北西端部と南東端部ではその走向をやや北向きに変化させていることがわかる。この特徴は、両端部で発生する余震の発震機構とも調和的であることから、破壊は断層の中央やや北西寄りの地点 (本震の震源) から北西と南東の両方向に進行し、断層両端部で向きを若干変えて停止した可能性がある。最大余震 (マグニチュード5.8) は、4月20日に本震の震源断層の南東端で発生し、余震域は南東方向へ約5km拡大した。最大余震の震源断層の走向はおよそN45°Wであると推定され、その南東方向延長部は福岡県西方沖地震の発生前から存在が知られていた陸域の警固断層 (警固断層帯南東セグメント) に接続する。このこと

から、福岡県西方沖地震をひき起こした断層は警固断層帯の一部（北西セグメント）であることが明らかになった。一方、最大余震は南東セグメントの北西端の一部が破壊したものと推定される。さらに、海底地震観測による高精度震源分布から、本震の震源付近を境にその上部と下部で断層面の走向と傾斜がともに約10度変化していることも明らかになるなど（植平・他, 2007）、福岡県西方沖地震の震源断層構造についてその詳細が明らかにされた。

GPSおよび干渉SARによる地殻変動データや強震観測データからは、本震の震源過程が推定された（Nishimura et al., 2006；西村・他, 2007；Asano and Iwata, 2006；浅野・岩田, 2007；Horikawa, 2006 など）。これらの研究はいずれも、本震の震源（主破壊開始点）ではすべり量が小さく、大きなすべりは主破壊開始後3.3～3.5秒後に震源南東の浅部で発生したことを明らかにした。最も大きなすべりを生じた領域（アスペリティ）は玄界島付近の深さ2～8kmに位置していたと考えられる。さらに、この地震による強震動のシミュレーションが実施され、震源断層における破壊の伝播方向にあたる玄界島で1m/秒を超える大きな地動速度が生じたこと（Miyake et al., 2006；三宅・他, 2007）、破壊過程と堆積盆地構造の効果によって福岡市街地で振幅が大きくなったこと（浅野・岩田, 2007）が確かめられた。また、福岡市の建物被害分布に対する表層地盤増幅特性の寄与が明らかにされ（川瀬, 2007）、防災上重要な知見が得られた。

一方、本震発生後に九州大学、鹿児島大学および北海道大学によって実施されたGPS臨時観測によって、余効的な地殻変動が検知された（Nakao et al., 2006；中尾・他, 2007）。本震の震源断層の上端付近からその浅部延長部（深さ0～3km）において、非地震性の余効すべりが発生したと考えられる。

### （3）警固断層帯（南東部）で将来発生が予想される地震に向けての課題

前述のように、福岡県西方沖地震は警固断層帯の北西セグメントが活動したものであり、今後南東セグメントの活動を促進する可能性が高い。本受託研究「警固断層帯（南東部）における重点的な調査観測」の実施以前に行われたトレンチ調査の結果、警固断層帯（南東部）は約9500年前以降、少なくとも2回の活動があったこと、最新イベントは約4300年前以降である可能性があることなどが指摘された（宮下・他, 2007）。この結果は、岡村ほか（2006）による博多湾での調査結果とも矛盾せず、平均活動間隔と最新活動後の経過年がともにおよそ4000年であることが示唆された。これが事実であれば、次期の警固断層地震が差し迫っている可能性があり、福岡県西方沖地震の発生が警固断層地震をトリガーすることも考えられる。そのため、警固断層帯の正確な位置・形状に加えて活動間隔と最新活動時期の推定精度をさらに上げて、警固断層帯（南東部）のポテンシャルをより正確に評価することが必要とされた。

また、警固断層帯（南東部）では、現在までのところ規模の大きな地震は発生していないが、セグメントの会合部である志賀島付近から断層に沿って南東方向に10kmほど微小地震活動が線状に延びている（図3）。これらの微小地震は最大余震後に発生したものであり、最大余震の2次余震と考えられるが、来るべき警固断層地震の前震とみなすことも可能である。余震波形のスペクトルから求めた応力降下量は、最大余震の震源付近で大きい傾向があり、警固断層帯（南東部）の北西端で応力集中が起こっている可能性が考えられる（Iio et al., 2006；飯尾・他, 2007）。しかし、現状ではどの程度の応力集中で地震が発生するのか、警固断層帯（南東部）のどこから破壊が開始しどこがアスペリティになるのか、などについては分からない。これらについては、断層の物性や

状態が深く関与していると考えられるので、断層近傍の不均質構造を詳しく知る必要がある。

そのため、福岡県西方沖地震の余震を用いた震源域とその近傍の不均質構造のイメージングが行われ、震源断層近傍の構造と破壊の発生・停止場所との対比が試みられた (Hori et al., 2006 ; Matsumoto et al., 2006 ; Matsumoto et al., 2009) 。図 4 に Hori et al. (2006) による地震トモグラフィの結果を示す。また、図 5 は、Matsumoto et al. (2006, 2009) の結果も加えて作成した震源断層の構造模式図である。これらを見ると、震源断層の両端付近とアスペリティが高速度域に対応している。特に、応力集中が指摘されている震源断層南東端 (警固断層帯南東セグメントの北西端) の最大余震付近では顕著な高速度域と低  $V_p/V_s$  域になっている。一方、非地震性の余効すべりが発生した深さ 3km 以浅はアスペリティ部分を除き顕著な低速度域と高  $V_p/V_s$  域になっている。これらの特徴は、高い応力を保持し得る領域は弾性定数大きい、すなわち強度が大きいことを示唆している。したがって、警固断層帯 (南東部) の地震波速度構造をあらかじめ知ることができれば、警固断層地震の強震動予測の精度が向上することが期待できる。また、震源断層への応力集中機構として、断層の直下に存在する weak zone (多数の延性的な断層帯) の存在が提案されていることから (飯尾・他, 2006 など)、断層直下の下部地殻における反射・散乱体のイメージングや非地震性すべりの検出のための観測研究を推進する必要がある。地殻深部からの微弱な反射・散乱波やすべりを検出するためにはきわめて高感度の観測が必要であるが、警固断層帯 (南東部) は福岡都市圏の中心部を横断しているため、既存の常時観測網や地上における臨時観測では S/N 比が不足でシグナルの検出は困難である。このような課題に対応するため、本受託研究では警固断層帯の南東端付近にボアホール観測点を設置するとともに、人工震源を用いた地震探査を実施した。

上述のように、2005 年福岡県西方沖地震の緊急余震観測やその後の観測研究によって、震源断層の特徴が明らかになり、断層近傍の不均質構造と地震時の破壊過程および強震動の関係などが明らかにされた。同時に、警固断層帯 (南東部) において将来発生が懸念される警固断層地震の長期評価と強震動予測の高度化に向けての課題も明らかになり、それらは本受託研究の立案と実施計画策定に反映された。

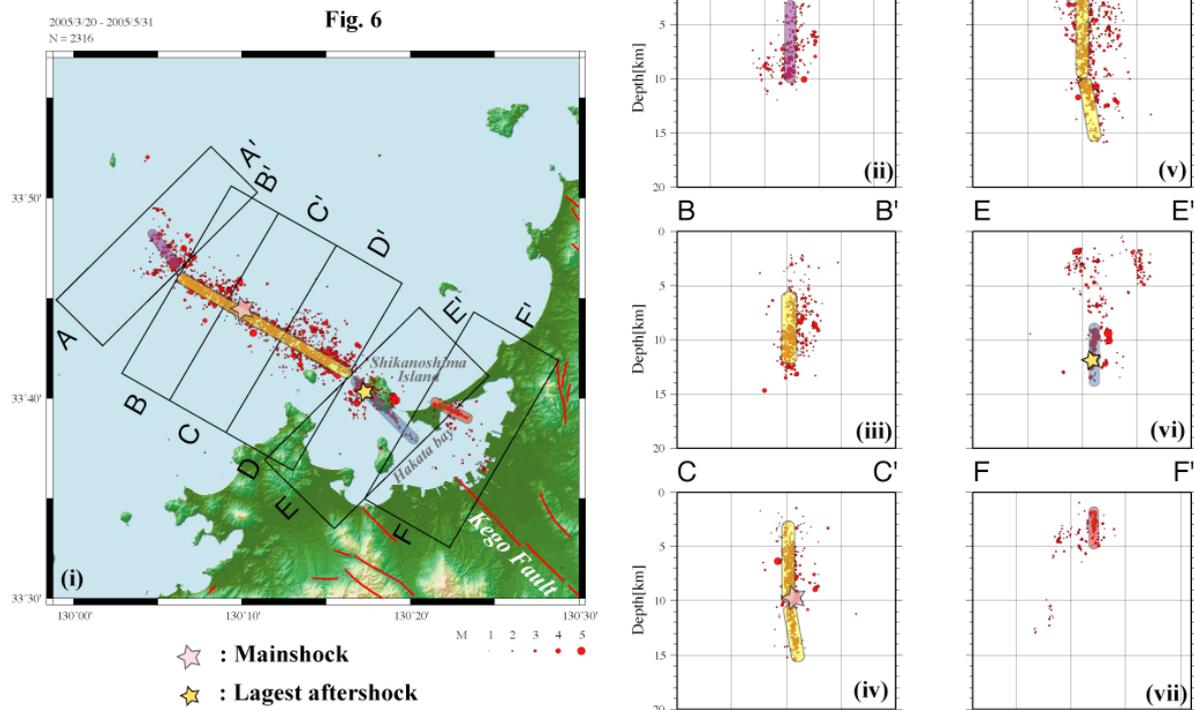


図1 2005年福岡県西方沖地震の本震および余震の震源分布 (Uehira et al., 2006)

期間は、2005年3月20日～5月31日。左図は震央分布。右図は左図の中に示した領域 (A-A' ~F-F') における震源分布の断面図。図中で、本震と最大余震の震源は星印で示されている。

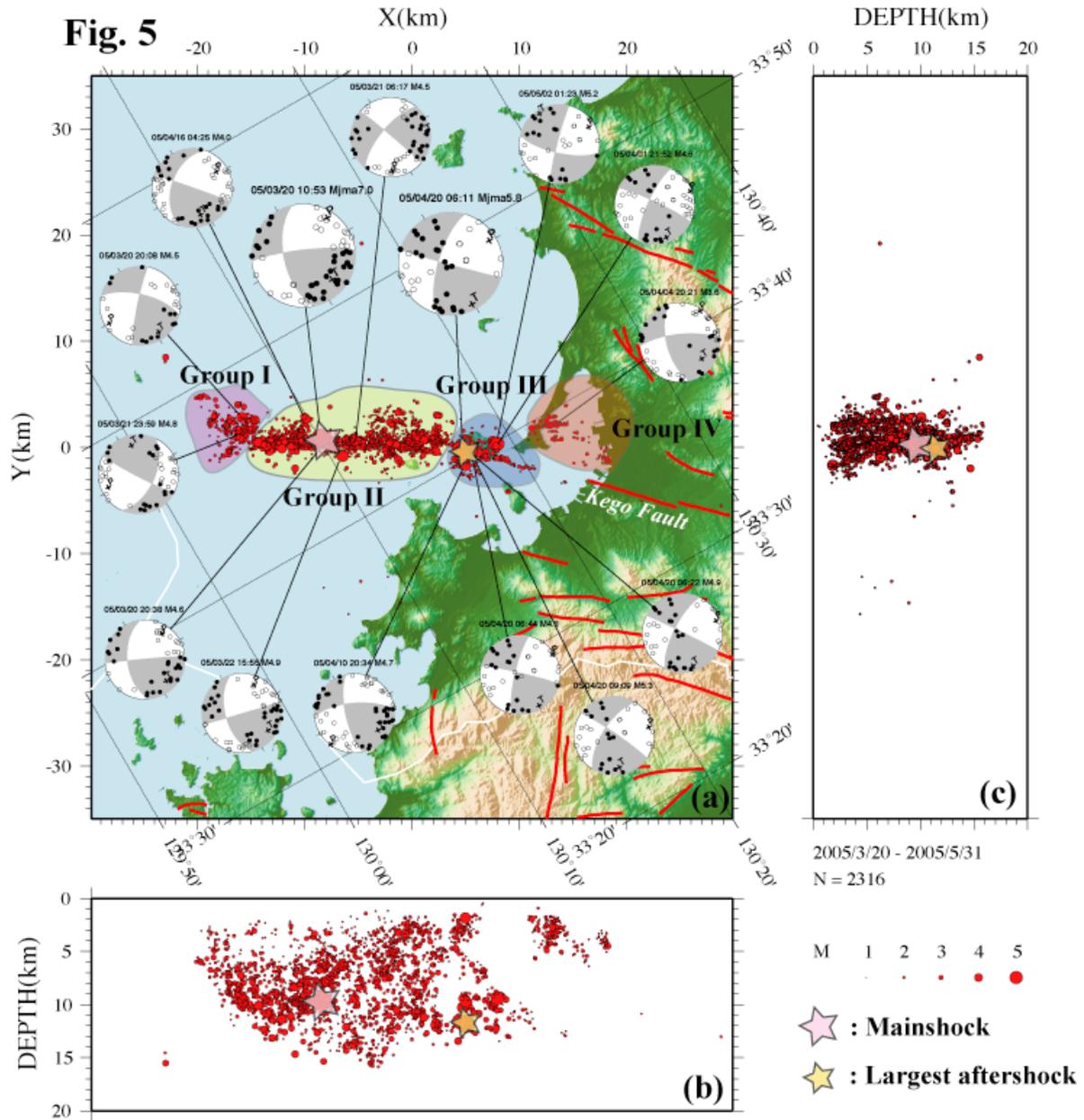


図2 2005年福岡県西方沖地震の本震および主な余震の発震機構 (Uehira et al., 2006)

平面図 (a) は、反時計回りに 30 度回転して表示している。図 (b) と (c) は、断面図。平面図中に示した発震機構解は、P 波初動押し引き分布の下半球等積投影であり、黒丸が押し、白丸が引きを表している。

### Seismicity map in and around Genkai-Nada (after main shock)

Last Update Mon Mar 6 13:00:00 JST 2006  
N= 17428

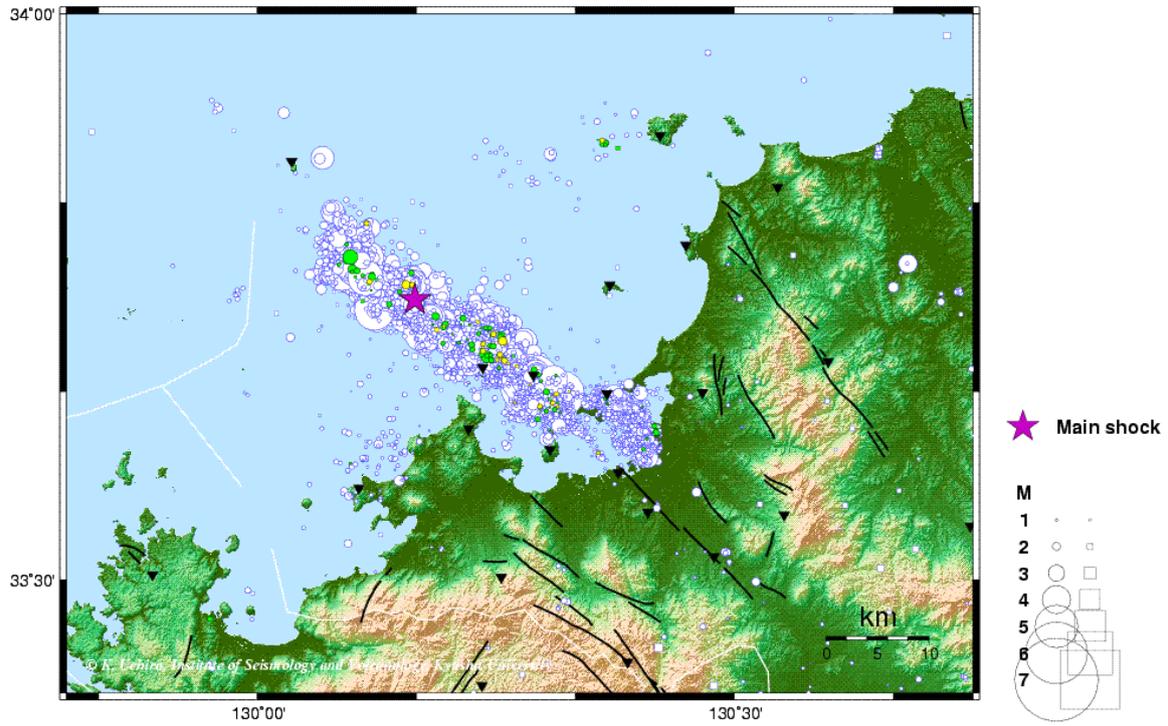


図3 本震発生後約1年間の震央分布（2005年3月20日～2006年3月6日）

主たる余震域の南東端(志賀島付近)から博多湾へ微小地震分布が線状に延びている。この線状分布は岡村・他(2006)による博多湾における警固断層のトレースと一致している。また、博多湾東部における off-fault の余震分布も顕著である。

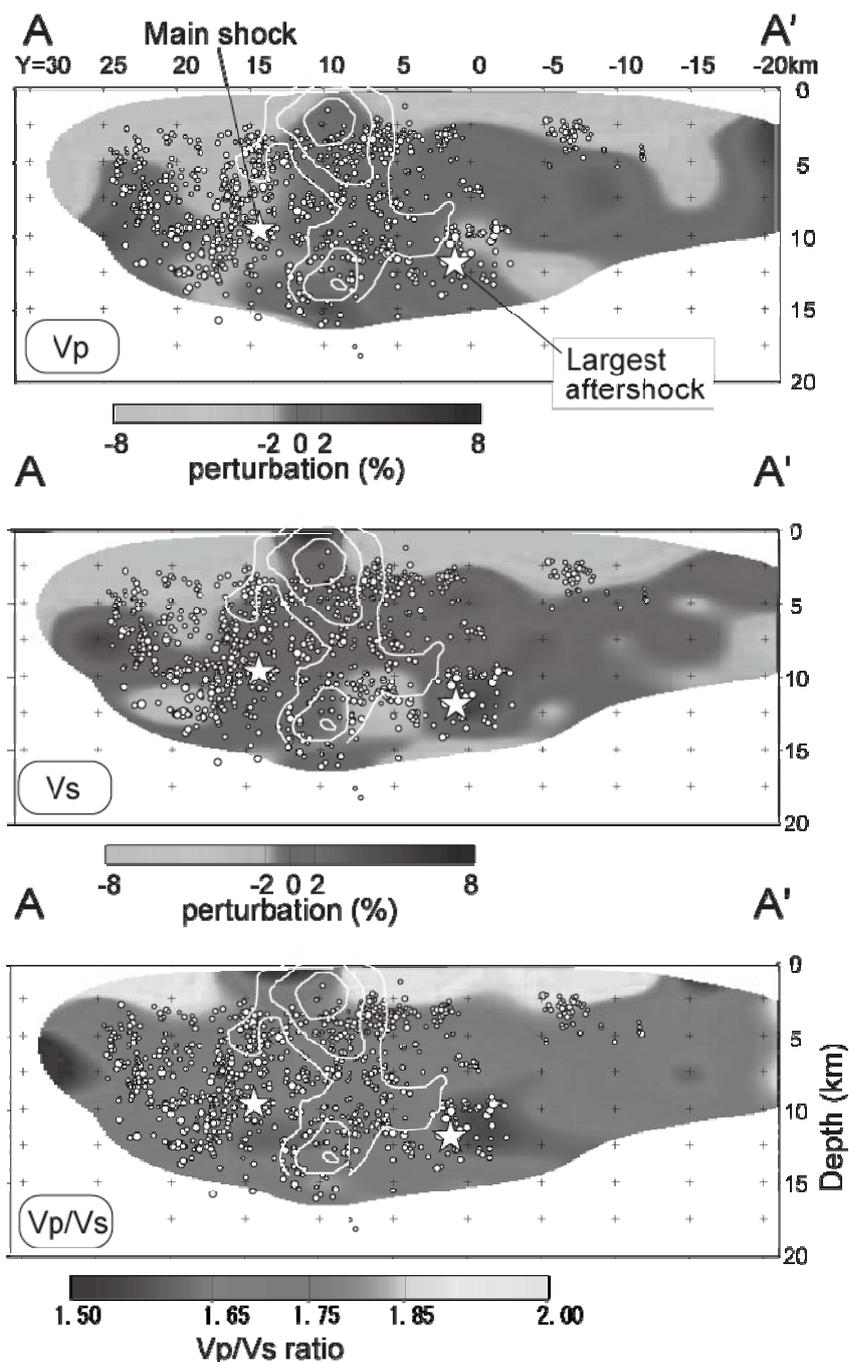


図4 福岡県西方沖地震の震源断層に沿った地震波速度構造断面 (Hori et al., 2006)

上段、中段、下段はそれぞれP波速度、S波速度、 $V_p/V_s$ の分布を示している。それぞれの図の左側が北西方向、右側が南東方向（警固断層）である。図中の白丸は福岡県西方沖地震の余震の震源であり、星印は本震と最大余震の震源である。白抜きのコンターはAsano and Iwata (2006) によるすべり量分布を示す。

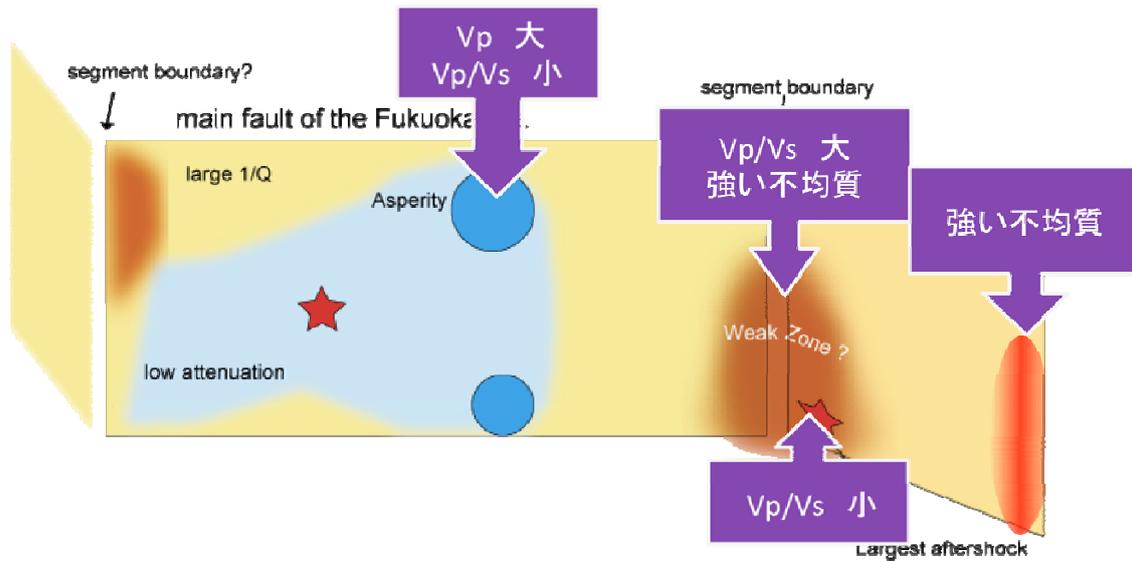


図5 2005年福岡県西方沖地震の震源断層の構造模式図

地震時に強い地震動を発生する場所（アスペリティ：図中の青い丸）や断層の終端（セグメント境界）は、地下の不均質構造と密接な関係があることが明らかになった。

(4) 引用文献

- Asano, K., and T. Iwata, Source Process and near-source ground motions of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 93-98, 2006.
- 浅野公之・岩田知孝, 2005年福岡県西方沖地震の震源過程と強震動. 月刊地球, Vol. 29, No. 2, 106-110, 2007.
- Hori, M. et al., 3D seismic velocity structure as determined by double-difference tomography in and around the focal area of the 2005 west off Fukuoka prefecture earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 1621-1626, 2006.
- Horikawa, H., Rupture process of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture, Japan, earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 87-92, 2006.
- 飯尾能久・他, 2004年新潟中越地震の発生過程. 月刊地球, 号外, No53, 217-222, 2006.
- Iio, Y. et al., Spatial distribution of static stress drops for aftershocks of the 2005 West off Fukuoka Prefecture earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 1611-1615, 2006.
- 飯尾能久・他, 福岡県西方沖地震の余震の応力降下量の空間分布. 月刊地球, Vol. 29, No. 2, 123-127, 2007.
- 川瀬博, 福岡県西方沖地震の建物被害分布と地盤増幅特性. 月刊地球, Vol. 29, No. 2, 116-122, 2007.
- Matsumoto, S. et al., Imaging S-wave scatterer distribution in southeast part of the focal area of the 2005 West off Fukuoka Prefecture Earthquake ( $M_{JMA}7.0$ ) by dense seismic array, *Earth Planets Space*, 58, 1627-1632, 2006.
- Matsumoto, S., K. Uehira, A. Watanabe, K. Goto, Y. Iio, N. Hirata, T. Okada, H. Takahashi, H. Shimizu, M. Shinohara and T. Kanazawa, High resolution Q-1 estimation based on extension of coda normalization method and its application to P-wave attenuation structure in the aftershock area of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture Earthquake ( $M7.0$ ), *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04313.x.
- Miyake H. et al., Empirical Green's function simulation of broadband ground motions in the Genkai island during the 2005 west off Fukuoka prefecture earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 1637-1642, 2006.
- 三宅弘恵・他, 福岡県西方沖地震・玄界島の強震動の再現. 月刊地球, Vol. 29, No. 2, 111-115, 2007.
- 宮下由香里・他, 警固断層の活動履歴 —大野城市上大利トレンチ調査結果—. 月刊地球, Vol. 29, No. 2, 133-138, 2007.
- Nakao, S. et al., Postseismic deformation following the 2005 West Off Fukuoka Prefecture Earthquake ( $M7.0$ ) derived by GPS observation, *Earth Planets Space*, 58, 1617-1620, 2006.
- 中尾茂・他, 福岡県西方沖地震の余効変動観測. 月刊地球, Vol. 29, No. 2, 128-132, 2007.
- Nishimura, T. et al., Fault model of the 2005 Fukuoka-ken Seiho-oki earthquake estimated from coseismic deformation observed by GPS and InSAR, *Earth Planets Space*, 58, 51-56, 2006.
- 西村卓也・他, 福岡県西方沖地震に伴う地殻変動と断層モデル. 月刊地球, Vol. 29, No. 2,

98-105, 2007.

岡村真・他, 博多湾における警固断層延長部の活動履歴. 日本地球惑星科学連合, 2006年大会予稿集, S107-P011, 2006.

Shimizu, H. et al., Aftershock seismicity and fault structure of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture Earthquake ( $M_{JMA}7.0$ ) derived from urgent joint observations, *Earth Planets Space*, 58, 1599-1604, 2006.

Uehira, K. et al., Precise aftershock distribution of the 2005 West off Fukuoka Prefecture Earthquake ( $M_j=7.0$ ) using a dense onshore and offshore seismic network, *Earth Planets Space*, 58, 1605-1610, 2006.

植平賢司・山田知朗・篠原雅尚・中東和夫・宮町宏樹・飯尾能久・岡田知巳・高橋浩晃・松尾のり道・内田和也・金沢敏彦・清水 洋, 福岡県西方沖地震の精密震源分布と発震機構, 月刊地球, Vol.29, No.2, 91-97, 2007.