

# 福岡県警固断層の地下構造調査

## ——地震災害の軽減に役立つ地下構造の可視化——

宮下 由香里・木口 努・加野 直巳

2005年3月20日に発生した福岡県西方沖の地震の影響で、地震がより発生しやすくなったと考えられる警固断層を対象に、トレンチ調査、応力方位測定、人工地震波を使った地下構造調査を行った。大野城市で実施したトレンチ調査では、警固断層が約7,500~12,000年前に活動したことを示す地質学的証拠が得られた。また、筑紫野市と大野城市で実施した応力方位測定では、警固断層の走向に対して約75°の角度となる応力方位（約N60°E）が2地点で得られた。さらに、地下構造調査では、海の中道の西端付近に警固断層と関連すると考えられるV字形の不整形構造が確認された。

キーワード：地震、活断層、福岡県西方沖の地震、警固断層、トレンチ、応力、地下構造

### 1. 福岡県西方沖の地震と警固断層

2005年3月20日に発生した福岡県西方沖の地震（M7.0）は、九州北部の各地に強い揺れ（最大震度6弱）を引起し、大きな被害をもたらした。この地震は玄界灘の海底下を北西—南東に延びる長さ約30kmの左横ずれ断層によって引起こされ、断層の南東端（余震域の南東端）は志賀島に達した（図-1）。

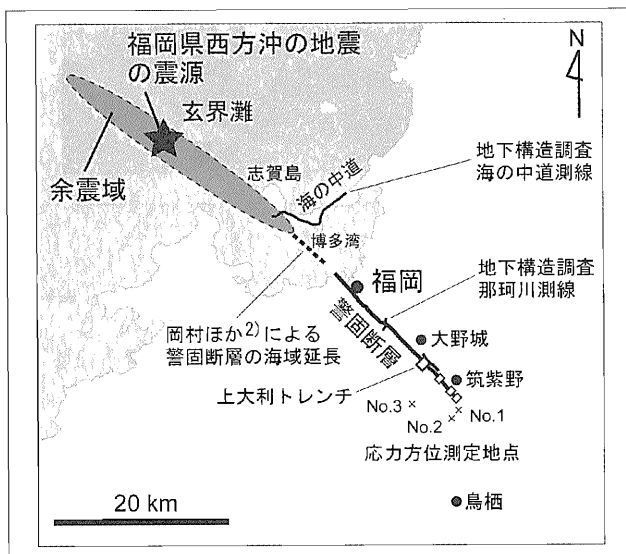


図-1 調査地点位置図

一方、地形や地質の調査から、福岡市から筑紫野市にかけて「警固断層」と呼ばれる、左横ずれ活断層が北西—南東に延びていることが知られている<sup>1)</sup>。この

地震の直後、高知大学などの研究グループ<sup>2)</sup>は、音波を使って海底下に潜む活断層を探る調査（音波探査）を行い、警固断層が博多湾内に延び、志賀島付近にまで達していることを明らかにした。この調査結果から、福岡県西方沖の地震を引起こした断層と警固断層は、ほぼ同じ規模と方向の「双子の断層」であり、1つの断層系をなしていると考えられる。

大きな地震が発生すると、その影響で震源域周辺に働いている地殻応力が変化する。福岡県西方沖の地震の発生に伴う震源域周辺の応力変化は、独立行政法人産業技術総合研究所（以下、産総研<sup>3)</sup>などによって試算されている。それによると、警固断層にかかる応力が増加し、同断層は、福岡県西方沖地震の発生前よりも地震を起しやすくなったと推定される。

### 2. 調査の背景

地震を起しやすくなったといっても、応力の観点から警固断層が地震を起す切迫性を正確に見積もるためには、断層周辺の応力の絶対値が必要である。しかし、絶対応力の測定には多額の経費がかかるため、おいそれとは実施できない。そこで我々は、過去の断層活動の解明を通じて将来の予測を目指す地質学的調査（トレンチ調査）を実施した。また、応力の絶対値は分からなくても、断層周辺の応力の方位分布から、地震の切迫性を大まかに評価できるというモデルに基づいた調査（応力方位測定）を試験的に実施した。さらに、警固断層が通過すると推定される地域において、

地下の構造を可視化する調査（地下構造調査）を行った。各調査について述べる前に、活断層調査の基本的考え方と警固断層の既往調査結果を簡単に紹介する。

日本の内陸活断層は、活動性が高いもので約千年、低いものでは数万年の間隔で繰返し活動し、地震を起こしている。したがって、平均的な活動間隔と最後に活動した時期（最新活動時期）が分かれば、その活断層から地震が発生する可能性を見積もることができる。

この考え方に基づいて、1995年の兵庫県南部地震の勃発後、約100の全国の主な活断層の調査が地方自治体と産総研によって実施された。警固断層については福岡県と福岡市がトレンチ調査などを実施し、下山ほか<sup>4)</sup>は平均活動間隔約15,500年、最新活動時期約10,000～16,000年前という検討結果を公表している。

一方、高知大学などの研究グループ<sup>2)</sup>は、福岡県西方沖の地震後に実施した音波探査とコア試料分析から、警固断層の海域延長部は約4,500年前以降と約6,500～8,500年前に活動したという検討結果を公表している。

活動間隔、最新活動時期とも、陸上の警固断層に関する調査結果は、海域での調査結果に比べて絞込みが十分ではない。このような状況に鑑み、陸上の警固断

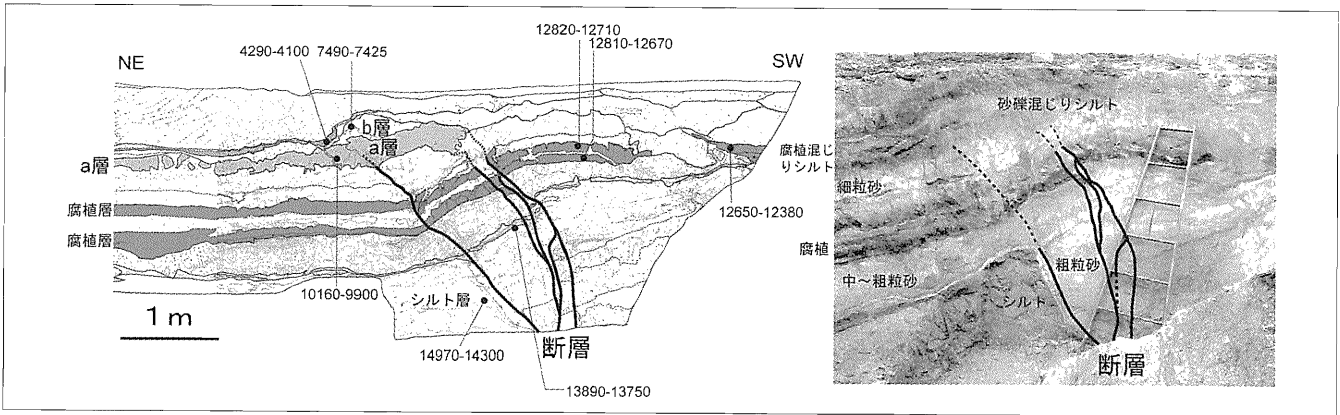
層についても新たなデータを得る必要があると判断し、トレンチ調査などの3種類の調査を実施した。

### 3. トレンチ調査

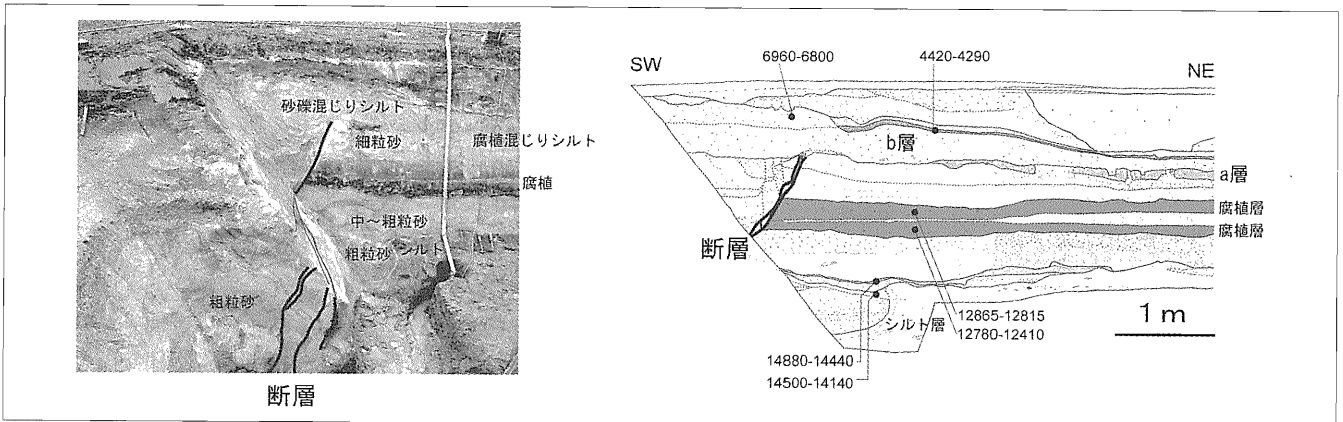
トレンチ調査とは、断層が通過すると推定される場所にトレンチ（溝）を掘り、法面に露出した地層や断層の情報から、断層の活動史を明らかにする調査手法である。今回は、地形・地質の予察調査から、警固断層の通過が推定され、さらに2～3万年前以降の地層が堆積していると予想された大野城市上大利、大宰府市、大佐野市など、警固断層南部の4地点でトレンチ調査を実施した（図一1）。その結果、上大利のトレンチで、約1万2千年前以降の断層活動の証拠が得られた<sup>5)</sup>。

図一2に上大利トレンチの南東側法面の写真とスケッチ、図一3に北西側法面の写真とスケッチを示す。

写真で黒っぽい部分が黒土（腐植層）や腐植分の多いシルト層、色の薄い部分は砂層とシルト層である。南東側の法面では、大きく2条に分かれた断層が観察された。北西側の法面でも、直交する方向の法面を挟んで、手前側の法面では3条の断層が認められたが、



図一2 大野城市上大利トレンチの南東側法面の写真とスケッチ



図一3 大野城市上大利トレンチの北西側法面の写真とスケッチ

これらは直交する法面部で1つに収斂し、奥の法面では1条の断層が観察された。

法面の詳細観察の結果、断層による地層のずれ、南西側が盛上がるような変形、断層に沿う地層の落込み、および液状化による地層のブロック化がa層（腐植・砂混じりシルト層）にまで及んでいるのが分かった。一方、a層を覆うb層（砂礫混じりシルト層）やその上位の地層には、断層運動によるずれ、変形などは認められない。このような観察結果から、上大利地点では、a層の堆積中または堆積後、b層の堆積前に断層活動があったと判断される。

地層が堆積した年代は、地層に含まれる腐植物の炭素同位体比を分析することによって求めることができる。この年代測定法は<sup>14</sup>C年代測定法と呼ばれている。

法面の各層から採取した腐植物試料の<sup>14</sup>C年代測定を行った結果、法面下部のシルト層は14,000～15,000年前、法面中部の腐植層は12,000～13,000年前に堆積したことが分かった。断層活動の時期の限定に重要な法面上部のa層からはほぼ10,000年前、b層からは約7,500年前の年代が得られた。

以上の年代データから、大野城市上大利の警固断層は約7,500～12,000年前に活動したと考えられ、この活動時期は約7,500～10,000年前に限定される可能性がある。

#### 4. 応力方位測定

断層周辺の応力方位の分布から地震発生 of 切迫性を評価する方法の原理<sup>9)</sup>を図-4に示す。警固断層上で大地震が発生し、断層上のせん断応力が100%解放された場合、断層周辺の応力方位は遠方の応力方位とは大きく異なる（図-4(a)）。

応力解放が小さい場合、あるいは地震発生から時間が経過し、応力が再び高まってきた場合、断層近傍の応力方位と遠方の応力方位とはほぼ同じになる（図-4(b)）。

したがって、断層周辺の応力方位分布が得られれば、断層面上の応力降下と遠方応力の割合が推定できる。この割合から、前回の地震と次の地震までの時間サイクルのどこに現在位置するかという地震発生 of 切迫性が評価できる可能性がある。

このような応力方位測定を簡便かつ安価に実施するため、産総研では深さ20m程度の孔井を利用する応力方位測定装置（図-5）を開発した。

岩盤に孔井を掘削すると、岩石がもつ粘性によって、孔井はクリープ変形することが期待される。開発した

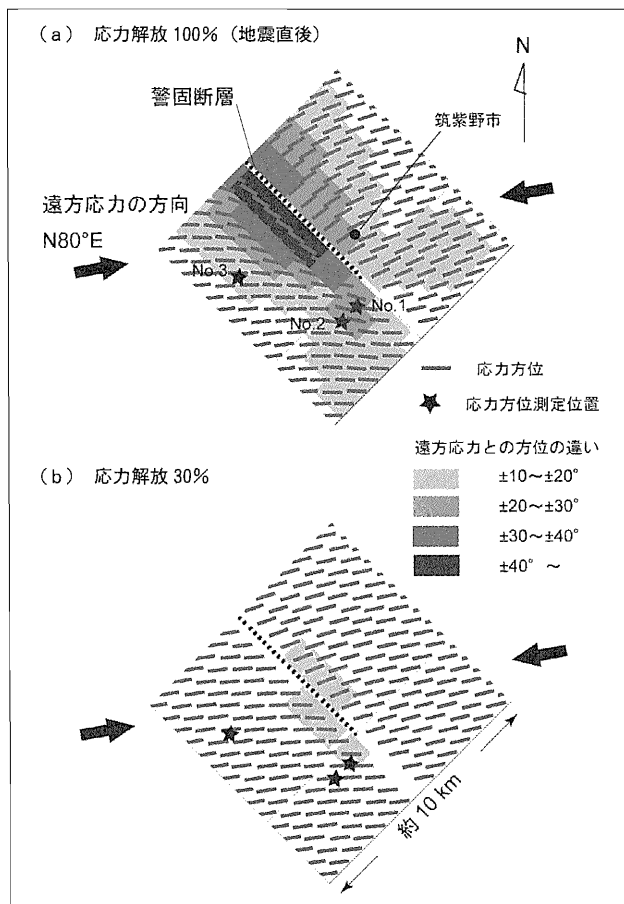


図-4 応力解放と応力方位分布との模式図

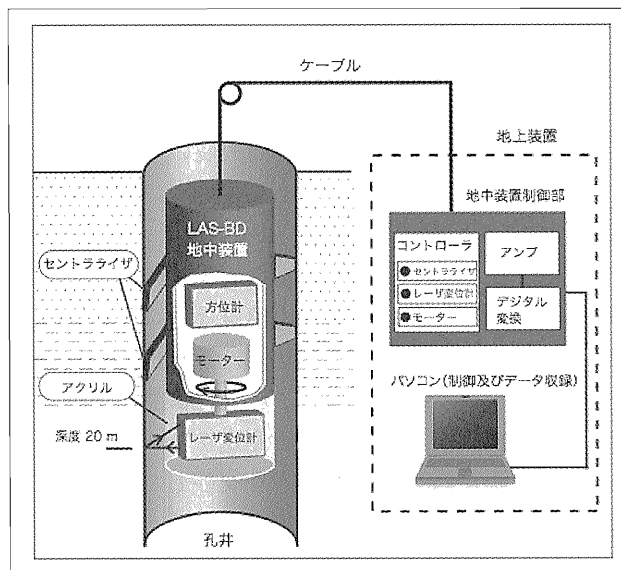


図-5 応力方位測定のための孔径変化測定装置

装置には6分で1回転するレーザー変位計が組込まれており、クリープ変形を360°孔壁に非接触で連続測定できる。

測定地点は、図-4に示す数値計算結果から、断層南端周辺で、断層からの距離が異なる3点を選ぶことにした。さらにP波速度が3 km/s程度の硬い岩盤が

深度 10 m 程度以浅に期待できること、急峻な地形が近くにないことなどを条件として、図-1 と図-4 に示す 3 地点を選定した。No. 1 と No. 2 は筑紫野市、No. 3 は大野城市に位置し、断層からの距離は各々約 1 km, 2 km, 4 km である。

測定は、各地点とも 3 深度 (1~3 m 間隔) で行った。それぞれの測定深度において、測定開始直後の 3 周の平均値と、測定終了前の 10 周または 5 周の平均値との差をとり、孔径の相対変化量を求めた。この相対変化量に楕円を近似することにより、楕円の短軸方向、即ち、最大水平圧縮応力 ( $SH_{max}$ ) の方位を求めた。図-6 に、No. 3 地点の 16 時間連続測定で得られた孔径変化<sup>7)</sup>を示す。

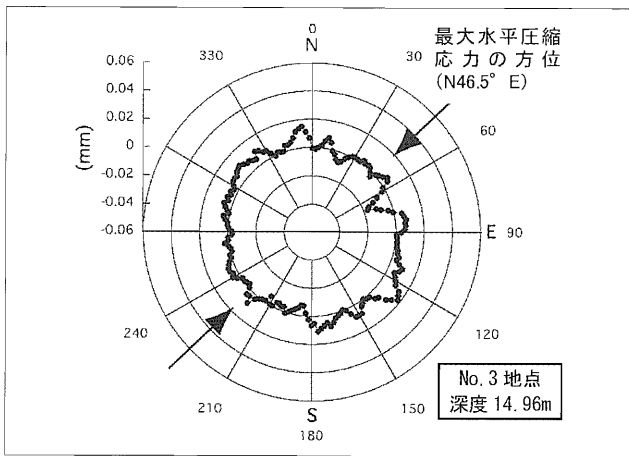


図-6 No. 3 地点の 16 時間連続測定で得られた孔径変化

孔径変化の楕円近似により求めた  $SH_{max}$  の北からの方位は、No. 2 地点の 3 深度で、浅い方から 52.3°, 77.3°, 44.2° である。また、No. 3 地点の結果は、それぞれ、47.9°, 75.8°, 46.5° である。つまり、断層から 2 km および 4 km 離れた地点の  $SH_{max}$  の方位は北東~東北東であり、その平均値はともにおおよそ N 60° E と求まった。なお、No. 1 地点の孔井地質は想定していた硬い岩盤ではなく、風化花崗岩であった。風化岩盤に起因すると思われる測定データの不安定もあり、測定結果が地殻応力を反映しているか否かの考察も含めて、鋭意検討中である。

### 5. 地下構造調査

警固断層近傍や同断層が縦断する福岡平野では、比較的浅いところに基盤岩が分布するため、人工地震波を使った地下構造調査はほとんど実施されていない。また、福岡市街は都市化が進んでいるため、調査測線の設定が難しい、ノイズが多いなど、地下構造調査を行ううえでの障害も多い。

そこで、このような障害が少なく、防災にも役立つデータの取得が期待される 2 つの調査地域を選定した。1 つは福岡県西方沖地震の余震が発生している海の中道、もう 1 つは福岡市内的那珂川沿いである (図-1)。

人工地震波を用いた地下構造調査 (反射法地震探査) の原理を図-7 に示す。地面に衝撃や強い振動を与えて人工的に地震波を発生させると、地層の境界で地震波が反射されて地上に戻ってくる。地震波を発生させる場所 (発振点) を測線に沿って少しずつ移動させ、測線上の多くの地点 (受振点) で反射波を同時に受振し、膨大な量の反射波データを処理して地下の構造を可視化する。

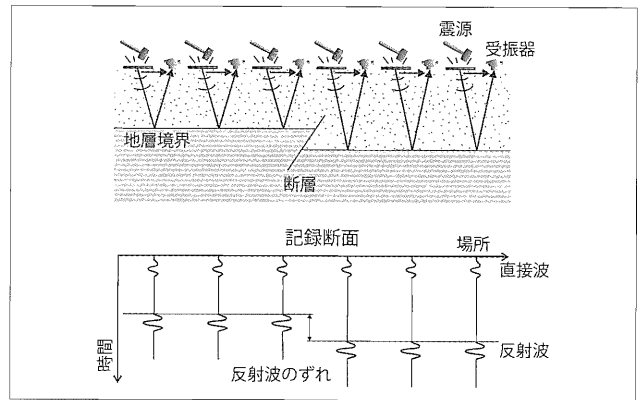


図-7 地下構造調査の原理

海の中道測線は志賀島の南西端を基点とし、長さ約 10 km である。振動数を連続的に変化させながら地面を強く揺ることができるミニバイブレータと呼ばれる装置で 5 m おきに発振し、10 m 間隔に設置した 144 の受振点で反射波を記録した。データ処理の結果得られた地下断面を図-8 に示す。図の縦軸は地震波 (P 波) が往復に要した時間で、100 ms はおおよそ深度 100 m である。図中の縞模様は反射面と呼ばれ、地下構造を示している。CMP (Common Mid-Point) 400~600 間と CMP 200~300 間で、反射面が落込む

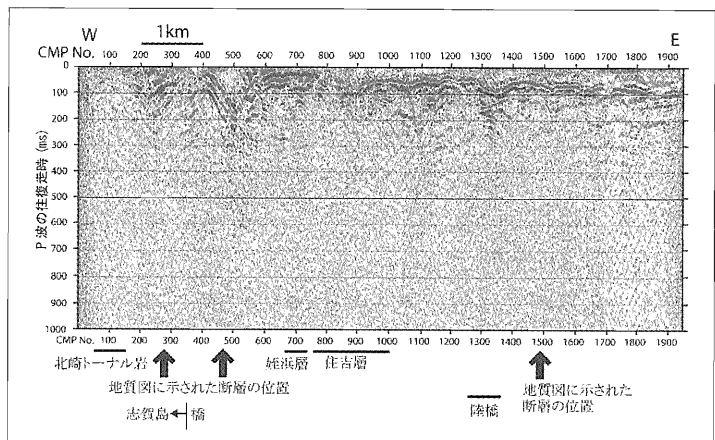


図-8 海の中道測線の地下断面 (時間断面)

ようにV字形を示す。既存の地質図<sup>8)</sup>によると、警固断層の北西延長はCMP 470 付近を通る。また、高知大学などの研究グループ<sup>2)</sup>が行った音波探査によると、CMP 200~300 付近の南東側の博多湾内に、警固断層の延長と考えられる海底活断層が確認されている。したがって、これらのV字形の構造は、警固断層の北西延長、あるいはそれに関連する不整形な地盤構造の可能性が高いと考えられる。

那珂川測線は那珂川の西岸に設置され、長さは1 km である。ここでは人力の板叩きでS波を、ドロップヒッターと呼ばれる小型震源でP波を1 m おきに発振し、1 m 間隔の48 の受振点で反射波を記録した。S波探査により得られた地下断面を図-9 に示す。

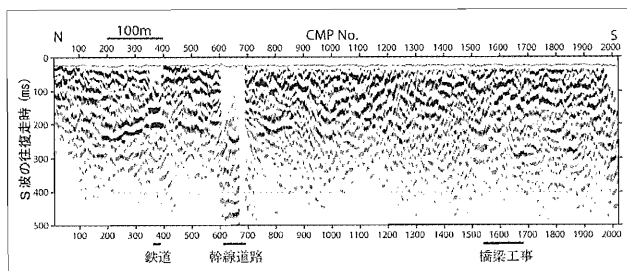


図-9 那珂川測線の地下断面(時間断面)

縦軸の200 ms はおよそ深度25~30 m に当たる。結果として分解能が高い地下断面は得られなかったが、測線の北半(図の左半)では、200 ms 付近に比較的強い反射面が認められる。図のほぼ中央のCMP 1,000 付近から同1,300 付近にかけて、この反射面が南へ向かって浅くなっているように見える。したがって南側が相対的に高まる上下方向のずれ成分を伴う警固断層がこの付近を通過している可能性がある。

## 6. 今回の調査の意義

トレンチ調査の結果、警固断層の活動間隔については新たなデータは得られなかったが、警固断層が約7,500~12,000 前に活動したことが判明した。この活動は、警固断層の博多湾延長部で確認された約6,500~8,500 年前の活動と時期が重なっている。約7,500~8,500 年前に、警固断層全体が活動し、M7クラスの大地震を引起こした可能性が考えられる。

応力方位測定では同一地点の異なる深度での測定結果が予想よりばらつき、応力方位から次の地震の切迫性を評価するのは困難である。しかし、得られた応力方位は警固断層の走向に対して約75°の高角となり、単純な左横ずれは生じにくい応力場と考えられる。今

後、GPSデータなどとの複合した解析を行っていく必要がある。

地下構造調査では、警固断層と関連すると考えられるV字形の不整形構造などが確認された。今後、ボーリングデータなどと総合的な解析を進め、地盤の揺れやすさの推定などに調査結果を活用していくことが期待される。

### 《参考文献》

- 1) 活断層研究会編：新編日本の活断層—分布図と資料—，東京大学出版会，437 p.，1991.
- 2) 岡村 眞・松岡裕美・島崎邦彦・千田 昇・中田 高・平田和彦：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(CD-ROM)，S107-P011，2006.
- 3) 産業技術総合研究所活断層研究センター：福岡県西方沖地震による応力変化と余震活動域の予測，<http://unit.aist.go.jp/actfault/katsudo/jishin/fukuoka/index.html>，2005.
- 4) 下山正一・磯 望・松田時彦・市原季彦・千田 昇・岡村 眞・茂木透・鈴木貞臣・落合英俊・長沢新一・今西 肇・川畑史子・矢ヶ部秀美・梶木政昭・松浦一樹：警固断層，薬院地区(福岡市)でのトレンチ調査報告，活断層研究，25，pp.117-128，2005.
- 5) 宮下由香里・吾妻 崇・岡崎和彦・二階堂 学・是石康則・山岡 博・橋 徹・松浦一樹：警固断層の活動履歴調査—福岡県大野城市上大利トレンチ調査結果速報，第5回活断層研究センター研究発表会ポスター展示発表要旨，<http://unit.aist.go.jp/actfault/seika/happyokai05/poster.html>，2006.
- 6) 桑原保人：内陸活断層応力場の新しい評価手法の確立に向けて，地質ニュース，No.597，pp.10-16，2004.
- 7) 木口 努・桑原保人：掘削直後の孔径変化測定による警固断層周辺の浅部応力方位測定，物理探査学会第114回学術講演会講演論文集，pp.162-165，2006.
- 8) 唐木田芳文・富田幸臣・下山正一・千々和一豊：福岡地域の地質，地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，地質調査所，192 p.，1994.

JICMA

### 【筆者紹介】



宮下由香里(みやした ゆかり)  
独立行政法人産業技術総合研究所  
活断層研究センター  
活断層調査研究チーム  
研究員



木口 努(きぐち つとむ)  
独立行政法人産業技術総合研究所  
地質情報研究部門  
地震発生機構研究グループ  
主任研究員



加野 直巳(かの なおみ)  
独立行政法人産業技術総合研究所  
地質情報研究部門  
地殻構造研究グループ  
主任研究員