

3. 2 断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造の解明のための調査観測

3. 2-1 断層帯の三次元的形状と地殻構造・物性の解明

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯の三次元的形状と地殻構造・物性の解明

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人九州大学	准教授	松本 聡
国立大学法人九州大学	教授	清水 洋
国立大学法人九州大学	准教授	松島 健
国立大学法人九州大学	助教	植平 賢司

(c) 業務の目的

人工地震探査データ、自然地震データ解析等によって得られる情報を総合的に解析し、警固断層の深さ 20km 程度までの深部断層形状を解明する。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 平成 23 年度：

警固断層等を対象とした、各機関によって行われた地形・地質調査、地震探査結果を整理した。また、警固断層帯の近傍に機動的地震観測点を展開し、現在までの臨時観測を継続することで稠密地震観測を実施した。

2) 平成 24 年度：

警固断層帯の地震発生層（深さ 20km 程度）までの断層形状と 3 次元不均質構造を明らかにするため、平成 23 年度におこなった、警固断層帯や 2005 年 3 月 20 日に発生した福岡県西方沖の地震などに関する既存の調査研究結果収集や警固断層帯およびその周辺域の地殻不均質構造と応力場の概要に基づいて、同時に平成 25 年度実施予定の反射・散乱波解析に必要な自然地震データを取得するため、警固断層帯の近傍に機動的地震観測点を展開し、稠密地震観測を実施する。

3) 平成 25 年度：

人工地震探査にて地震発生層までの構造把握を目標とした P 波反射法等地震探査を実施し、警固断層の詳細位置・形状を解明する。また、長測線人工地震探査記録を用いて、屈折波トモグラフィー解析を行い、断層周辺の地震波速度不均質構造を推定して、断層帯、震源断層との関係を考察する。

さらに、他のサブテーマで得られる情報をもとに、警固断層およびその周辺の浅部から地震発生層までの 3 次元構造を明らかにする。そのうえで、警固断層系のうち、すでに滑りを起こした北西部（福岡県西方沖地震断層）から応力変化を受けた南東部の断層形状および周辺の構造解明と福岡県西方沖地震発生後に活動している警固断層深部の地震活動の

背景についての知見を得る。

(2) 平成 23 年度の成果

(a) 業務の要約

警固断層帯の地震発生層（深さ 20km 程度）までの断層形状と 3 次元不均質構造を明らかにするため、平成 23 年度は、警固断層帯や 2005 年 3 月 20 日に発生した福岡県西方沖の地震などに関する既存の調査研究結果を収集した。一方、警固断層帯およびその周辺域の地震活動を調べ、福岡県西方沖地震発生以降の警固断層周辺では現在も微小地震が発生していることを確認した。また、平成 24 年度以降に実施する反射・散乱波解析に必要な自然地震データを得るため、警固断層帯の近傍に機動的地震観測点を展開し、現在までの臨時観測を継続することで稠密地震観測を実施した。

(b) 業務の実施方法

警固断層等を対象とした、各機関によって行われた地形・地質調査、地震探査結果など従来の研究成果を整理した。また、平成 24 年度以降に実施する反射・散乱波解析に必要な自然地震データを得るため、警固断層帯の近傍に機動的地震観測点を展開し、現在までの臨時観測を継続することで稠密地震観測を実施した。

(c) 業務の成果

1) 従来の研究の整理

地形・地質調査に関しては他サブテーマによる報告に詳述されている。ここでは自然地震を用いた不均質構造に関する研究について述べる。図 1 に示す通り、速度・減衰・散乱構造によって福岡県西方沖地震断層と警固断層の断層セグメントの境界においては顕著な不均質が存在している。また、自然地震の発震機構解を用いた応力解析においてはこの断層端において強い応力不均質が存在していること示されている。ここで見られるように、警固断層において福岡県西方沖地震発生に伴って警固断層に広域応力とは異なった応力が加わっており、警固断層帯の地震活動を詳細に把握する必要性が認識された。

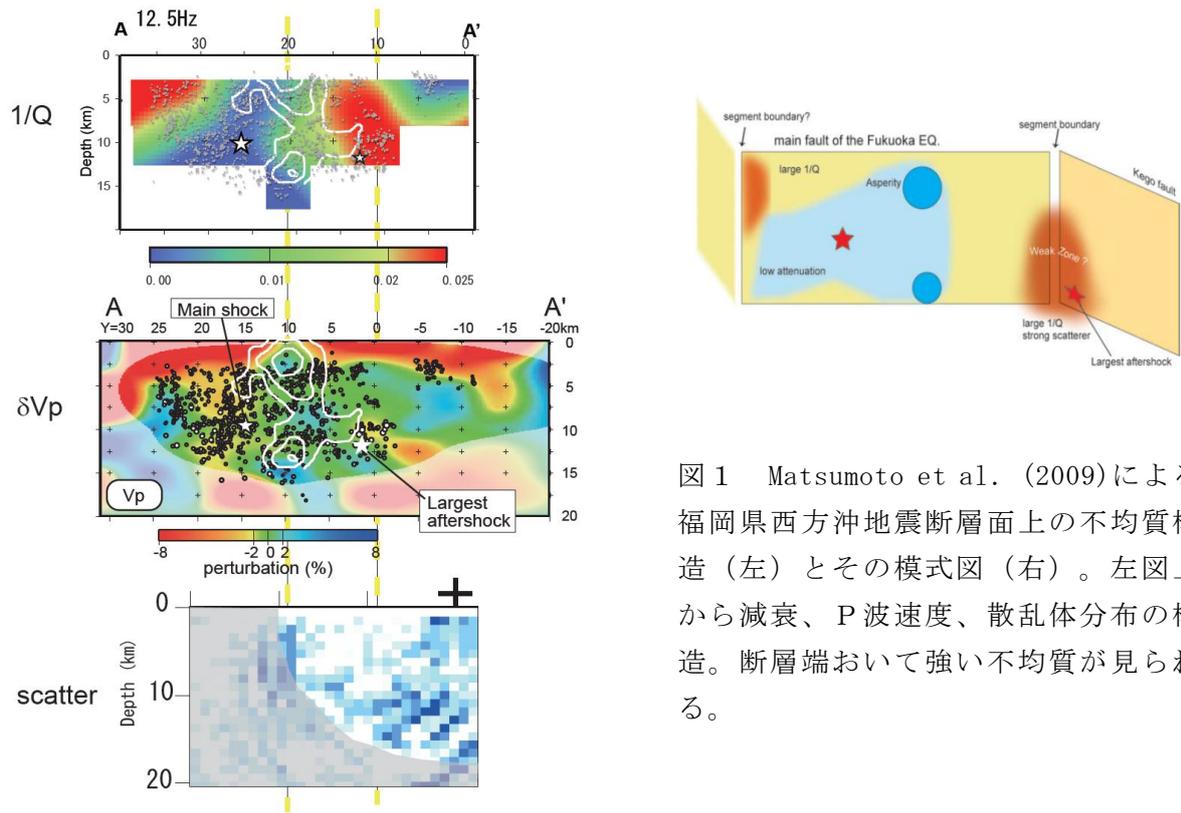


図1 Matsumoto et al. (2009)による福岡県西方沖地震断層面上の不均質構造（左）とその模式図（右）。左図上から減衰、P波速度、散乱体分布の構造。断層端において強い不均質が見られる。

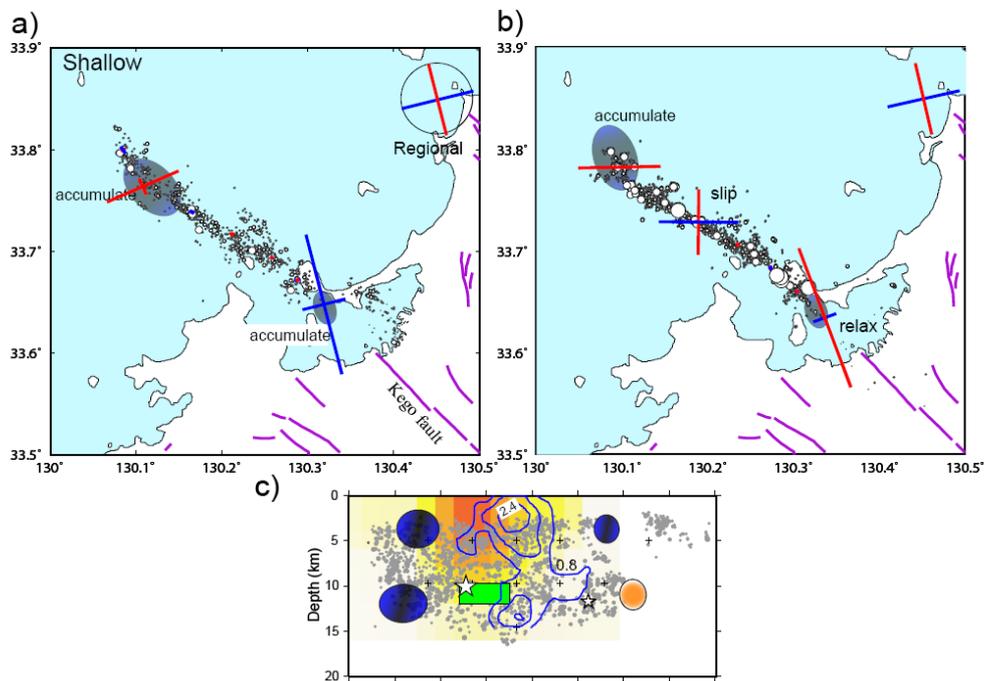


図2 Matsumoto et al. (2012)で示された、自然地震を用いた応力不均質構造。a) b) c) はそれぞれ、浅部、深部、断面を示す。断面上では断層上の滑り (Nishimura et al. 2006; Asano & Iwata, 2006)。平面図では断層端において応力の強い不均質の存在が明らかになった。

2) 機動的地震観測

福岡県西方沖地震発生後、セグメント境界における地震活動を詳細に調べることが、今後の警固断層における地震活動を考察する上で極めて重要であることから、博多湾内の能古島において機動的地震観測（地表）を開始した。同地点では別経費による地震観測孔を掘削したことから、24年度はさらに高精度の観測が実施できる。また、博多湾周辺の臨時観測を継続することで湾を取り囲むように稠密地震観測網が完成した。また、警固断層についても、サブテーマ2-3による地震観測点設置によって、断層全体を至近距離から観測する態勢が整った。図3に断層周辺の地震観測点分布を示す。



図3 警固断層周辺の地震観測点分布。吹き出し中の数字はボーリング孔深度。



能古島臨時地震観測



図4 能古島臨時地震観測点。左上写真：臨時地震計設置風景と観測井（50m）位置。右下写真：地震計および収録装置。

3) 地震活動

警固断層周辺に展開されている地震観測点のデータから、2005年福岡県西方沖地震発生後の余震活動と警固断層周辺の地震活動を調べた。

図5には福岡県西方沖地震の余震活動時空間分布を示している。余震活動は地震断層の両端部と最大余震の発生した警固断層北西端で他の部分よりも活発であることが見て取れる。これは、発震機構解から得られた応力場不均質で示唆される結果と整合的であり、2つの断層がその端において応力不均質の影響を受けて、微小地震活動が長期にわたっていることが示されている。また、図6には警固断層周辺の微小地震時空間分布図を示す。これによると、図5に示す通り断層周辺で数は多くないものの継続して微小地震が発生していることが分かる。この震源は深さ10kmより深いものが大半を占めており、浅いものはほとんど見出すことができない。これは、警固断層が“固着”していることによって活動が全く起こらないか、地震的滑りを発生し得ない極めて弱い断層であるかの両方の可能性がある。現在のところ判定はできないが、今後の詳細な構造と対比してみることが重要である。

33.7562N 130.3112E

T-S STNS VERT COPY QUIT RFSH

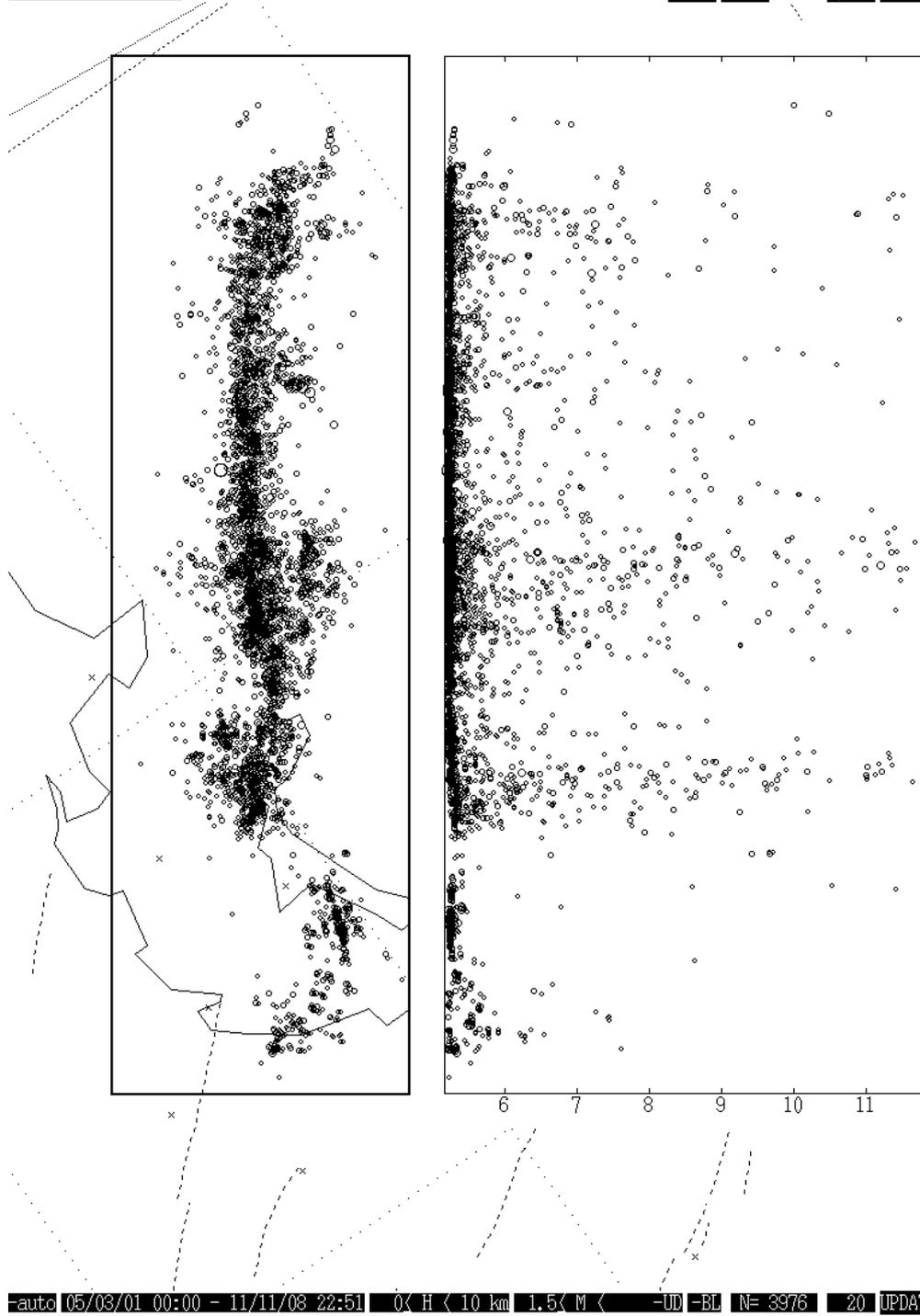


図5 福岡県西方沖地震の余震活動時空間分布図。 マグニチュードは1.5以上。深さ10kmより浅い地震をプロットしている。

33.5538N 130.4546E

T-S STNS VERT COPY QUIT RFSH

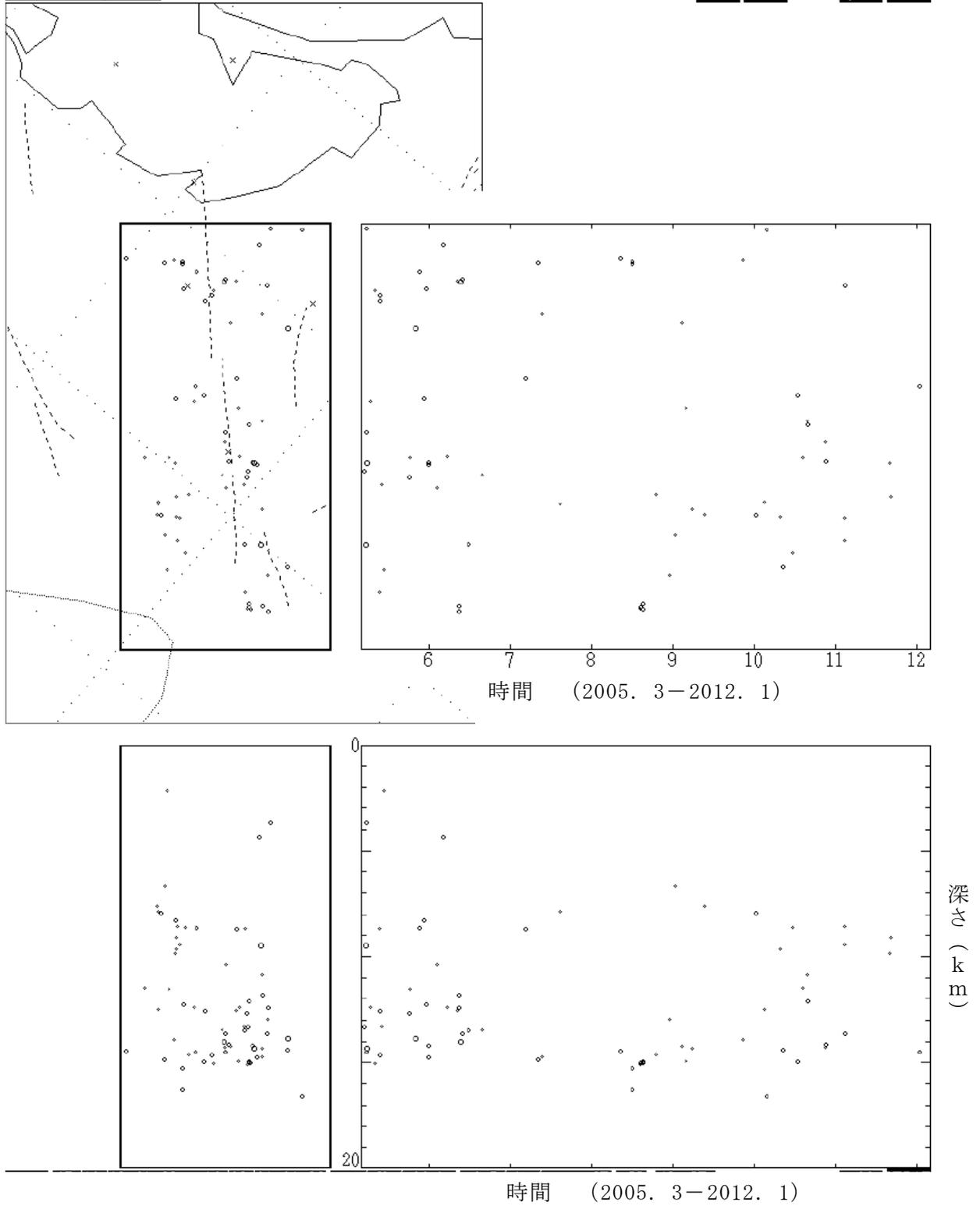


図6 警固断層周辺の地震活動時空間変化図。上図) 横軸を時間 (2005年3月~2012年1月) に取り、縦軸はN45W方向の位置を示す。下図) 時間-深さ図。ほとんどの震源が10kmより深い位置で発生している。

(c) 結論ならびに今後の課題

機動的な地震観測点設置を行い、従来展開された地震観測点とともにデータの蓄積を開始した。地震活動を詳細に調査した結果、警固断層の深部以外では微小地震活動が発生していない。この結果は断層の状態を把握する上で極めて重要である。今後は反射・散乱波を用いた断層周辺の詳細構造を推定することで、断層の状態を解明する必要がある。

一方では、観測データが増加することによってその処理を迅速に行うべく、効率的な処理プロセスの設計が重要である。

(d) 引用文献

Matsumoto, S., K. Uehira, T. Matsushima, and H. Shimizu, Modeling heterogeneous deviatoric stress field around the hypocentral area of the 2005 Fukuoka earthquake (M7.0) by spatially distributed moment tensors, J. GEOPHYS. RES., VOL. 117, B03303, doi:10.1029/2011JB008687, 2012.

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., 179, 2, 1039-1054, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04313.x, 2009.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし

3. 2-2 断層帯および周辺の基盤モデルと表層地盤モデルの高精度化

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造の解明のための調査観測
(断層帯および周辺の基盤モデルと表層地盤モデルの高精度化)

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人九州大学	教授	渡邊 公一郎
国立大学法人九州大学	准教授	藤光 康宏
国立大学法人九州大学	助教	西島 潤

(c) 業務の目的

警固断層帯陸域南東部について、測定点を高密度に配置し、これまでより微小なグリッドサイズによる地形補正を行う重力探査を適用して地下深部における断層帯の位置や三次元的形状を明らかにする。また、調査地域の多数のボーリングデータを収集してデータベースを作成し、重力探査等の情報を加味した表層地盤モデルを作成する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成 23 年度：

警固断層帯陸域南東部を含む福岡市及びその周辺地域の既存重力データ収集とともに、福岡平野西部において高密度測点配置の重力探査を実施した。また、地盤モデル作成のための資料収集とデータ入力を行った。

2) 平成 24 年度：

福岡県春日市、大野城市、太宰府市、筑紫野市において、高密度測点配置の重力探査を実施する。また前年度に引き続き、データ空白域のボーリングデータ、基盤情報、地下水情報などの地盤情報の追加収集とデータ入力作業を進めるとともに、防災科研収集分データ（紙ベース数千件）から必要な情報の抽出を行う。

3) 平成 25 年度：

2年間の重力探査で不足している地域の重力探査を行うとともに、これらの結果と纏められたボーリングデータから地盤モデルを作成し、調査結果のまとめを行う。

(2) 平成 23 年度の成果

(a) 業務の要約

警固断層帯陸域南東部を含む福岡市及びその周辺地域の既存重力データを収集するとともに、既存データで西区福重周辺に重力異常の急傾斜が見られたことから、福岡平野西部において高密度測点配置の重力探査を実施した。その結果、西区長垂から城南区荒江にかけて約 5 km の西北西－東南東方向の重力異常の急傾斜が続いていることが判明した。

また、警固断層帯周辺の地盤モデル化に必要と思われる既存のボーリング調査の報告書や地質関連資料及び文献について、警固断層帯を含む広域を対象に、公的機関を中心に情報を収集し、データベース化を行った。まだ空白域が存在するものの、平成 23 年度には約 3000 本のデータ収集・データベース化ができた。

(b) 業務の実施方法

重力調査については、まず警固断層帯陸域南東部を含む福岡市及びその周辺地域の既存重力データを収集した。今回の調査以前に福岡市内では九州大学他の機関により1994点の重力測定が行われており、収集した重力データより重力異常図を作成したところ、警固断層付近に明瞭な重力の急傾斜が見られるだけでなく、いくつかの急傾斜が確認できる中で、西区福重付近に東西方向の重力異常の急傾斜があることが判明した（図1の赤丸）。しかし、周辺に測定点が無いため東西方向の広がりや明確になっていない。またこの地域は、警固断層帯の活動による強震動予測を行う際に必要な基盤構造が不明瞭である。そこで、今年度はこの急傾斜の広がりを明らかにするとともに、福岡市西部の基盤構造を推定するために、西区下山門から福重にかけて及び早良区西新から城南区荒江にかけての地域で重力探査を実施した（図1の黄枠）。

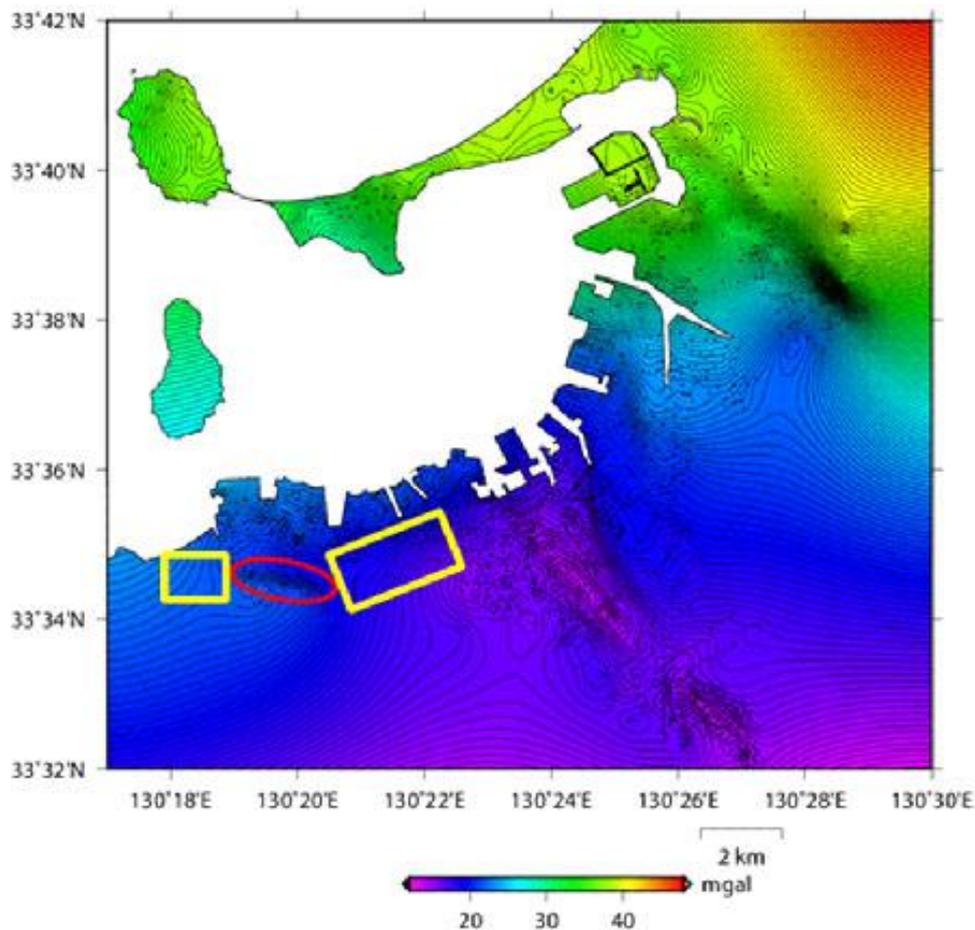


図1 既存重力データより得られた重力異常図
赤丸の範囲が東西方向の重力異常の急傾斜部。黄枠の範囲が平成 23 年度の調査範囲。

使用した重力計はシントレックス社製CG-3+及びCG-5相対重力計で、測定点を数10 m～

100 m程度の高密度な間隔で配置し、測定点の座標はGPSと携帯電話回線を利用したリアルタイムキネマティック (RTK) 測量により決定したが、GPSの受信状況が悪くRTK測量ができない場合には、福岡市が発行する1/2500都市計画図で標高が決定されている地点に測定点を設定した。

表層地盤モデルについては、警固断層帯周辺の地盤モデル化に必要と思われる既存のボーリング調査の報告書や地質関連資料及び文献について、警固断層帯を含む広域を対象に、公的機関を中心に情報を収集した。収集したデータは、ボーリングの位置情報（緯度・経度）、各ボーリングデータ情報（掘進長、孔口・地層境界の標高、構成岩相、N値など）を一元化したフォーマットにしてデータベース化することで取りまとめると共に、GISを用いてマップ上に表現し、データの疎な部分を中心にさらに収集を進めた。これらには一部重複する情報も存在する。

(c) 業務の成果

重力調査については、今年度の調査で重力探査を実施した161点に、過去の測定データおよび地質調査所（現：産業技術総合研究所）測定のデータ（地質調査所（編），2000）を加え、器械高補正、地球潮汐補正、ドリフト補正、フリーエア補正、ブーゲー補正、地形補正を施すことにより重力異常図を作成した（図2）。その際、補正密度はMurata（1993）の方法を用いて 2.47 g/cm^3 と決定した。また、高密度に配置した測定点による高分解能な重力探査においては、従来の地形補正で用いられるグリッドサイズ（100 mオーダー）は粗すぎるため、より微小なグリッドサイズによる地形補正が必要になる。そこで西島（2009）の手法により、国土地理院基盤地図情報10 mメッシュの地形データを用いて地形補正を行った。

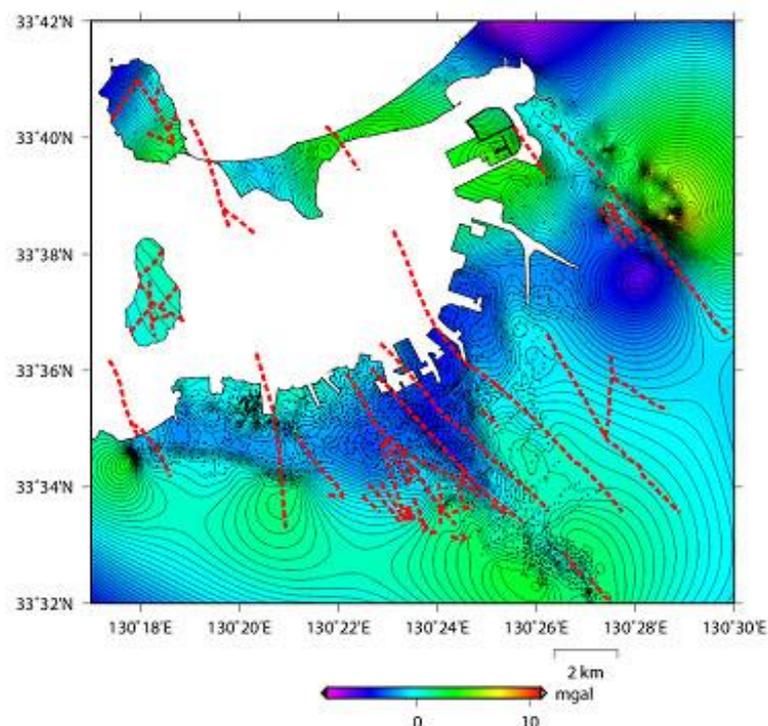


図2 今年度の調査結果を加えた重力異常図

得られた重力異常図には、今回ターゲットにしている断層による重力異常のほかに深部

構造を反映した長波長の重力異常が含まれるため、この長波長成分を2次曲面で近似し分離して、比較的浅部の地下構造を反映した残差図を作成した（図3）。

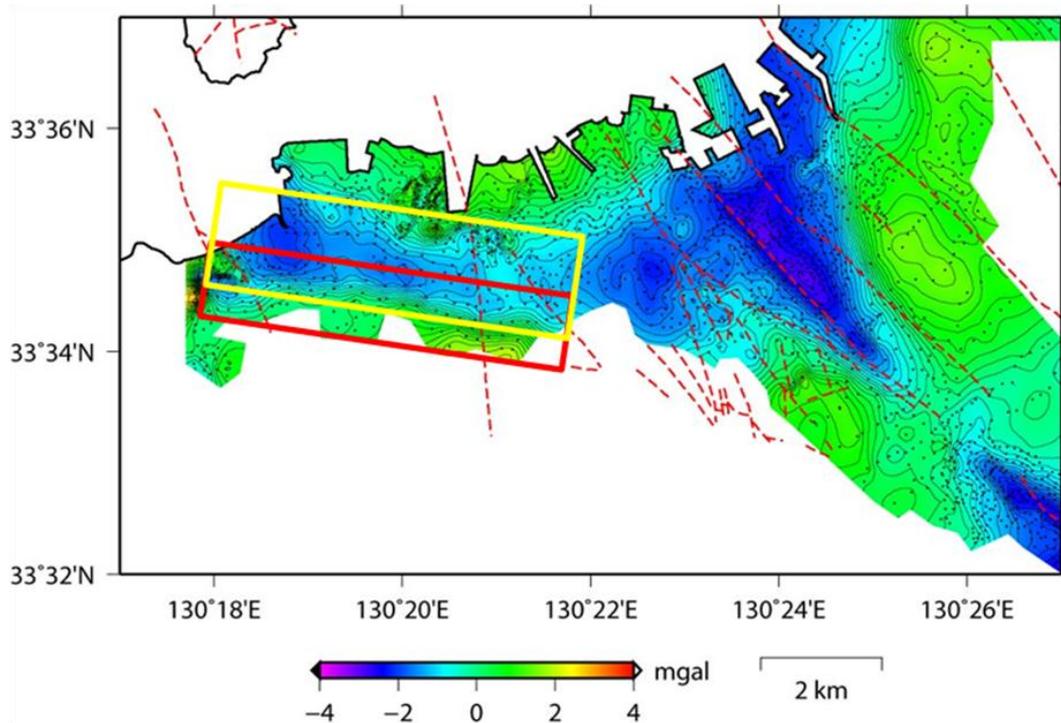


図3. 2次傾向面残差図（対象地域を拡大）
赤枠の範囲が東西方向の重力異常の急傾斜部。黄色の枠内が基盤の凹地。

2次傾向面残差図より、西区長垂から城南区荒江にかけて約5kmの西北西－東南東方向の重力異常の急傾斜が続いていることが判明した（図3の赤枠）。ただし、東端は荒江で止まっているのかまだ東に続いているのかは今回の調査では不明である。また、この重力異常の北側にも緩やかに南落ちする傾向が見られ、この南北の傾斜部分に挟まれる形で西北西－東南東方向に凹地が続いていることが判った（図3の黄枠）。

表層地盤モデルについては、まだ空白域が存在するものの、平成23年度には約3000本の坑井についてデータ収集・データベース化ができた（図4）。

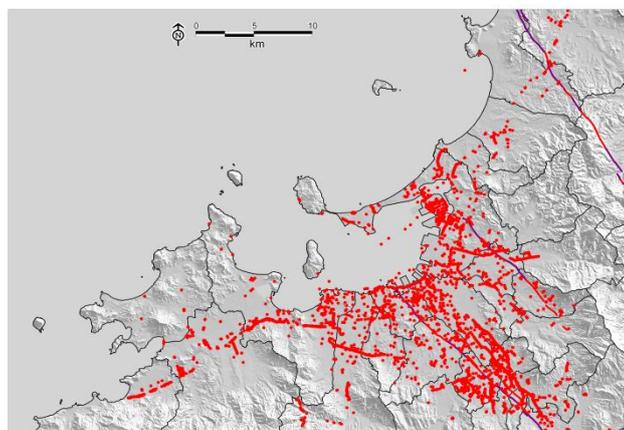


図4 平成23年度にデータベース化した坑井の位置

地盤モデル作成には、微動探査（単点・アレー）、反射法地震探査、検層、ボーリング、重力探査など、既存の地下構造情報（特に弾性波速度と密度）が必要となるため、風化層を含む基盤部等の物性情報の収集を行う必要がある。

(d) 結論ならびに今後の課題

重力調査については、今年度の調査で重力探査を実施した161点に既存の重力データを加え、これまでより微小なグリッドサイズによる地形補正を含む各種補正を施すことにより重力異常図を作成した。さらに重力異常図中の長波長成分を2次曲面で近似し分離して、2次傾向面残差図を作成した。2次傾向面残差図より、西区長垂から城南区荒江にかけて約5 kmの西北西－東南東方向の重力異常の急傾斜が続いていることが判明した。ただし、さらに東方へ連続しているかどうかは今回の調査では不明であり、次年度測定を行う必要がある。また、この重力異常の北側にも緩やかに南落ちする傾向が見られ、この南北の傾斜部分に挟まれる形で西北西－東南東方向に基盤の凹地が続いていることも判明した。次年度以降、重力データが十分に得られた地域については基盤深度の推定を試みる。

表層地盤モデルについては、平成23年度には約3000本の坑井についてデータ収集・データベース化ができたものの、まだ空白域があるため追加収集する必要がある。次年度以降の作業として、地盤工学会作成の九州地盤情報共有データベースが更新されており、同学会九州支部に問い合わせ内容を確認のうえ、同データベースより追加収集を行う。また、平成23年度第1回運営委員会において、防災科研が独自に収集しているデータが存在することが判明したが、問い合わせた結果これらは紙ベースのものであることから、数千件の該当データから重複するものを除いたのちに必要な情報の抽出を行いデータベース化する。さらに、地盤モデル作成に必要な基盤部（風化層を含む）等の物性情報の収集を行う必要がある。

(e) 引用文献

地質調査所(編), 日本重力 CD-ROM, 数値地質図 P-2, 2000.

Murata, Y., Estimation of optimum average surficial density from gravity data: An objective Bayesian approach, J. Geophys. Res., 98, 12097-12109, 1993.

西島 潤, 50 m メッシュ標高データを用いた地形補正プログラム, 九大地熱・火山研究報告, 第18号, 35-38, 2009.

3. 2-3 断層帯周辺の広域地殻構造とその時空間変化の把握

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯周辺の広域地殻構造とその時空間変化の把握

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人防災科学技術研究所 地震・火山防災研究ユニット	主任研究員	汐見 勝彦
同 地震・火山防災研究ユニット	主任研究員	松原 誠
同 地震・火山防災研究ユニット	主任研究員	浅野 陽一
同 地震・火山防災研究ユニット	主任研究員	武田 哲也
同 地震・火山防災研究ユニット	主任研究員	木村 尚紀
同 地震・火山防災研究ユニット	主任研究員	齊藤 竜彦
同 地震・火山防災研究ユニット	研究員	上野 友岳

(c) 業務の目的

警固断層帯およびその周辺域の地殻構造の全体像を把握するため、ボアホール型の定常地震観測点1点を警固断層帯付近に整備する。当該観測点および周辺の既存定常地震観測点で得られた観測データを用いて地震波トモグラフィ等の解析を行い、断層帯周辺の大局的な三次元地震波速度構造の解明を行う。また、定常観測点で得られる雑微動の相関解析から断層近傍における地震波速度構造の時空間変化を検出することにより、断層における固着状態変化モニタリングの可能性について検討する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成23年度：

高分解能な三次元地震波速度構造や高精度な微小地震震源分布の把握のため、既存定常観測点が粗である福岡県小郡市にボアホール型地震計および傾斜計を各1式設置し、高精度かつ高品質の観測を開始した。観測データはオンラインでリアルタイム収集し、他の基盤的地震観測網データ等と併せて処理するとともに、他のサブテーマ担当者への配信を行った。警固断層帯やその周辺域に位置する基盤的地震観測網等の定常観測点で記録された自然地震の走時データベースを作成し、それを用いて警固断層帯（南東部）を含む200km四方程度の範囲を対象とした地震波トモグラフィ解析を行うことにより、断層周辺の大局的な三次元地震波速度構造を求めた。また、平成24年度以降に実施するより詳細な構造解析と構造の時空間変化の把握に必要な地震波形データの蓄積を行った。

2) 平成24年度：

平成23年度に福岡県小郡市内に整備したボアホール型高感度地震観測施設の維持・運用を行う。本観測施設ならびに必要なに応じて実施する臨時機動地震観測点の観測データを

既存定常観測点のデータと併せて処理することにより、警固断層南東部周辺域の微小地震の検知能力を高める。また、これらの観測点で記録された自然地震の走時データベースを構築し、地震波トモグラフィ解析を行うことにより、断層周辺のより詳細な広域三次元地震波速度構造を求めるとともに、高精度な微小地震震源分布を求める。定常観測点で得られる雑微動の相関解析により、断層周辺の応力状態や地下構造の時空間変化をモニタリングするためのシステム整備を行う。オンラインで収集した観測データは、全てのデータを保存するとともに、他のサブテーマ担当者に逐次配信する。

3) 平成 25 年度：

引き続き小郡市に建設した高感度地震観測施設を維持するとともに、基盤的地震観測網等の定常観測点ならびに臨時機動地震観測点の観測データと併合処理を継続し、断層帯周辺の地下構造と震源分布の空間的位置関係について調査を行う。さらに、定常観測点で得られる雑微動記録の相関解析を準実時間で行い、断層帯周辺の応力状態のモニタリングの可能性について検討する。オンラインで収集した観測データは、引き続き全てのデータを保存するとともに、他のサブテーマ担当者に逐次配信する。

(2) 平成 23 年度の成果

(a) 業務の要約

高分解能な三次元地震波速度構造や高精度な微小地震震源分布の把握のため、既存定常観測点が粗である福岡県小郡市にボアホール型地震計および傾斜計を 1 式設置し、高精度かつ高品質の観測を実施した。観測データはオンラインでリアルタイム収集し、他の基盤的地震観測網データ等と併せて処理するとともに、他のサブテーマ担当者への配信を行った。警固断層帯やその周辺域に位置した基盤的地震観測網等の定常観測点で記録された自然地震の走時データベースを作成し、それを用いて警固断層帯（南東部）を含む 200km 四方程度の範囲を対象とした地震波トモグラフィ解析を行うことにより、断層周辺の大局的な三次元地震波速度構造を求めた。また、平成 24 年度以降に実施するより詳細な構造解析と構造の時空間変化の把握に必要な地震波形データの蓄積を行うとともに、地震波干渉法解析の適用方法について、既存広帯域地震計記録を用いた検討を開始した。

(b) 業務の成果

1) 簡易型高感度地震観測施設の整備

a) 観測施設設置の目的

警固断層帯では、2005 年にその北西部において福岡県西方沖地震が発生しており、福岡市街地を通過する同断層帯（南東部）の活動が懸念されている。独立行政法人防災科学技術研究所（防災科研）では、「地震に関する基盤的調査観測計画」（平成 9 年 8 月 29 日、地震調査研究推進本部）に基づき、地震による災害の軽減に資する地震調査研究の推進を基本目標として、高感度地震観測網（Hi-net）の整備を進めてきた¹⁾。しかし、本観測網は日本全国を対象としたものであり、警固断層帯（南東部）の詳細な地震活動や高精度な地下構造を把握するためには、十分な観測点の密度を有しているとは言えない。そこで、詳細な震源分布や三次元地下構造を把握するため、新たに簡易型の高感度地震観測施設を警固断層帯の南東部延長に位置する福岡県小郡市内に建設した。本観測施設の整備により、

当該施設周辺の地震検知力および震源決定精度の向上が見込まれることに加え、断層帯南東端部の構造把握に必要なデータが取得出来ること、断層帯周辺における地殻応力状態の準実時間モニタリング手法の検討が可能となること等が期待される。

b) 簡易型高感度地震観測施設の建設

図1に、本件にて建設した簡易型高感度地震観測施設（施設名称：小郡三沢高感度地震観測施設）の概略位置を赤丸で、表1に観測点の諸元を示す。本観測点は九州歴史資料館（福岡県小郡市三沢）敷地内にあり、警固断層帯の南東延長に位置する。地表では自動車等の人為的あるいは風等の自然現象を原因とする雑微動が顕著であり、極微小な地震による信号を明瞭に記録することは難しい。このような問題を避けるため、本観測施設では深さ103mのボアホール（観測井）を掘削し、その孔底に観測装置を設置した。観測井の掘削は、平成23年12月上旬より平成24年2月末までを工期として実施した。掘削工事の様子を写真1および写真2に、建設した観測井の概略断面図を図2に示す。観測孔および組立孔の孔口はハンドホール内にあり（写真3、図3）、通常、ハンドホールは鉄製の蓋で閉じられている。なお、組立孔とは、観測装置を現地で組立てる際に使用する孔である。

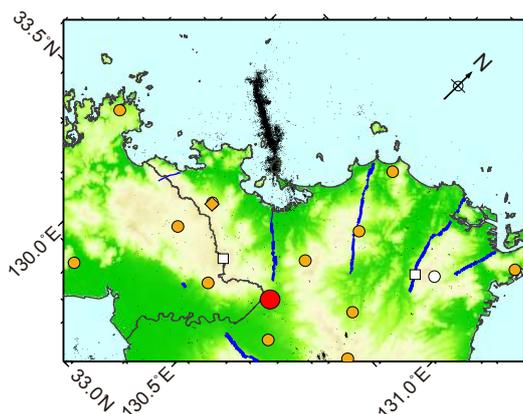


図1 小郡三沢高感度地震観測施設の位置（赤丸）。橙色の丸、菱形および白色の丸、四角は、それぞれ防災科研 Hi-net、F-net、九州大学、気象庁の定常地震観測施設の位置を表す。青線は活断層の概略位置、黒点は防災科研によって求められた2002年6月から2012年2月末までに発生した地震の震央位置を表す。

表1 小郡三沢高感度地震観測施設の諸元

観測施設名称	小郡三沢（おごおりみつさわ）高感度地震観測施設
観測点コード	N. OGMH
地震計設置位置	北緯 33.4384 度 東経 130.5586 度 標高-61.4m (地表面標高 40m / 掘削長 103m)
所在地	福岡県小郡市三沢 5208-3

観測装置掘削に際して、全長においてスライムの採取を実施した。表2に、スライムの観察結果に基づく孔井の地質状況を示す。

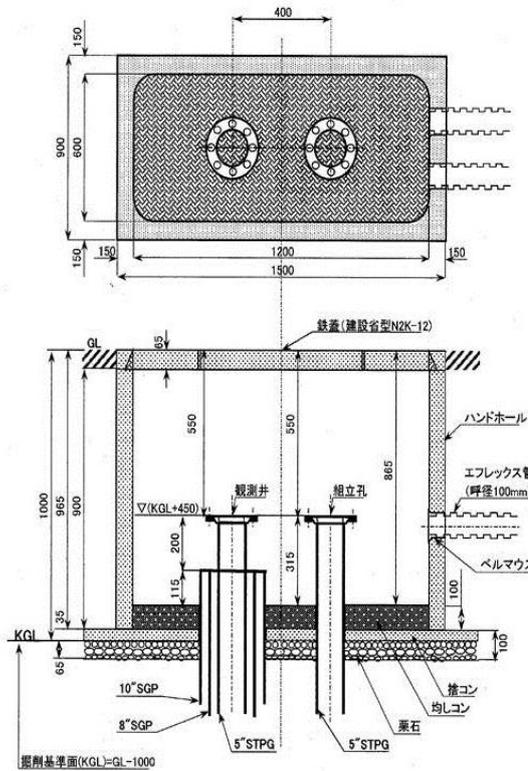


図3 観測井及び組立孔の構成概略図



写真3 観測井口元の様子

表2 小郡三沢高感度地震観測施設における地質状況

深度	岩種区分	色調	記事
0.0～ 1.0m	埋土		草根等を含む。
1.0～ 13.5m	マサ土	黄褐～黄白灰色	
13.5～ 44.5m	風化花崗閃緑岩	黄褐～黄白灰色	酸化汚染により淡褐色を呈する部分が多く見られる。
44.5～103.0m	花崗閃緑岩	黄白～白灰	酸化汚染は軽微となり、堅さはやや硬質となる。 スライムは52mまでは粗粒～小礫状を呈するが、52m以深は中粒～細粒状となる。

観測装置として、固有周期 1Hz の 3 成分速度型地震計と傾斜計を採用した。設置工事の様子を写真 4 に示す。信号線は地中に設置した管路を経て、別途設置した引込柱に取り付けた野外収納箱（写真 5）に引き込まれる。野外収納箱内には、上段から順に、データ通信ネットワーク装置（ルータ）、電源装置および蓄電池、高精度 AD 装置が据え付けられており（写真 6）、速度計出力については 100Hz、傾斜計出力は 20Hz サンプルングのデジタルデータに変換されて、NTT コミュニケーションズ株式会社による EarthLAN サービスを介して、茨城県つくば市にある防災科学技術研究所地震・火山観測データセンターまで伝送される。データセンターでは、日本各地から収集している基盤的地震観測網データ等と統合した運用管理を実施するとともに、これらのデータを併合した自動震源決定処理などを行い、震源位置および走時データベースを構築している。観測波形の一例として、2012 年 3 月 19 日に発生した福岡県北西沖を震源とする地震（M2.3）の観測波形を図 4 に示す。



写真 4 観測装置設置の様子。クレーンに吊り下げられている銀色の筒状のものが観測装置である。



写真5 引込柱および野外収納箱外観



写真6 野外収納箱内部。

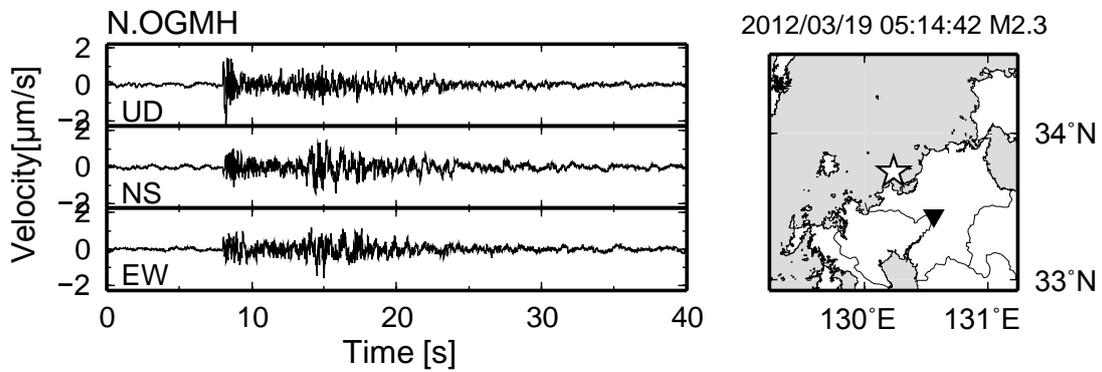


図4 小郡三沢高感度地震観測施設 (N. OGMH; 右地図の黒三角) の速度計観測記録の一例。
2012年3月19日に発生した福岡県北西沖を震源とする M2.3 の地震による記録を示す。

各観測点の雑微動レベルに基づき、計算により求めた微小地震の検知率を図5に示す。地震時の最大振幅はS波で記録されることが多いが、震源決定のための地震の検知は、通常、P波で行う。防災科研で運用している高感度地震データ処理システムでは、雑微動レベルの2.5倍の振幅が記録された場合にトリガー検知としていること、S波振幅はおおよそP波振幅の3倍に相当すると考え得ることから、S波で雑微動レベルの7.5倍の振幅が観測されると検知可能とする。この振幅値とある場所の深さ15kmを震源とした場合の震央距離から、その場所で発生した検知可能な地震の最小マグニチュード M_{min} を求めることが出来る²⁾。震源決定には異なる4観測点で地震動を検知することが望ましいことから、ここでは、ある場所について複数の観測点で M_{min} を評価し、小さい方から4番目の M_{min} をその場所で検知可能な最小マグニチュードとした。この結果によると、警固断層南東端で検知可能な微小地震は、これまではM0.5程度が最小であったが、小郡三沢観測点(図5bの白丸)の整備によりM0.2程度まで検知可能となることが期待される。

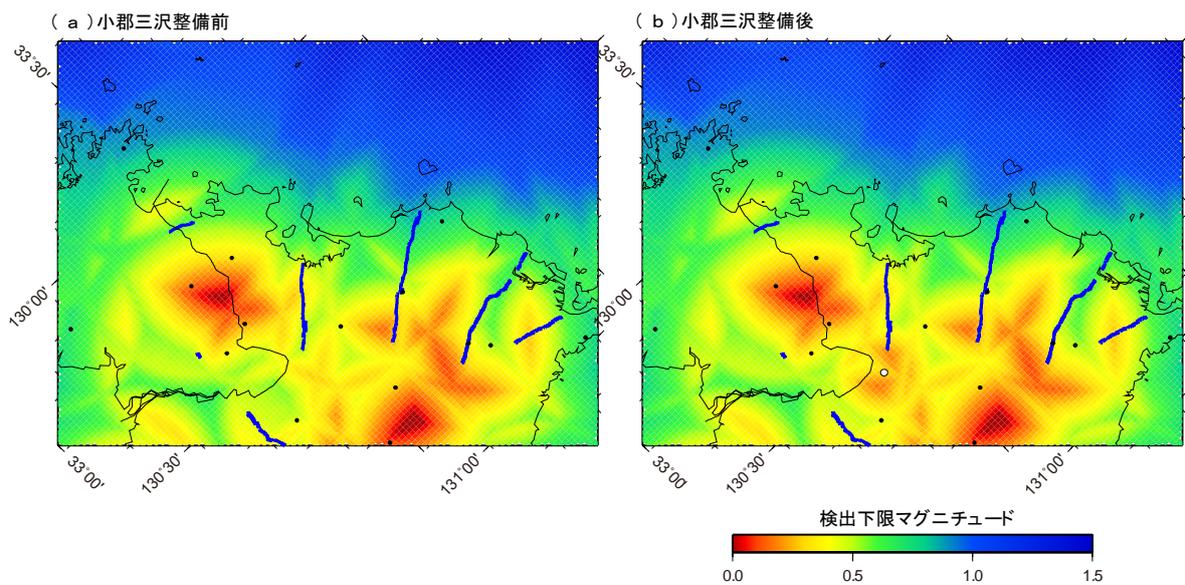


図5 微小地震検知率。(a)小郡三沢高感度地震観測施設(白丸)建設前。(b)建設後。黒点は、既存定常観測点の位置、青線は活断層の概略位置を表す。

2) 三次元地震波速度構造解析

a) データ・手法

解析には、2000年10月から2011年8月までに発生した54,928個の地震を対象とした。このうち、2005年4月30日以前に発生した19,146個の地震については、防災科研の高感度地震観測データ処理システムで位相到着時刻を読み取った。また、同年5月1日以降の35,782個の地震データについては、九州大学が実施した臨時機動的地震観測点のデータを含め、九州大学が読み取った位相情報を用いた。ただし、震源分布には偏りがあるため、全ての地震を用いて解析すると、解析結果に地震の多寡による影響が生じうる。そこで、まず、解析対象範囲 $0.01^\circ \times 0.01^\circ \times 1\text{km}$ のブロックに分割し、各ブロックにおいて検出数が最大となる地震のみ計12,313個を抽出し、トモグラフィ解析に用いた。解析に用いた震源分布を図6に示す。

解析には、Zhao et al. (1992) のトモグラフィ法³⁾にスムージングを導入し観測点補正値も考慮する手法^{4),5)}を用いた。トモグラフィ解析の解析領域は、解析に使用する波線数を考慮して、東経 $129.2^\circ \sim 131.2^\circ$ 、北緯 $32.5^\circ \sim 34.5^\circ$ とした。

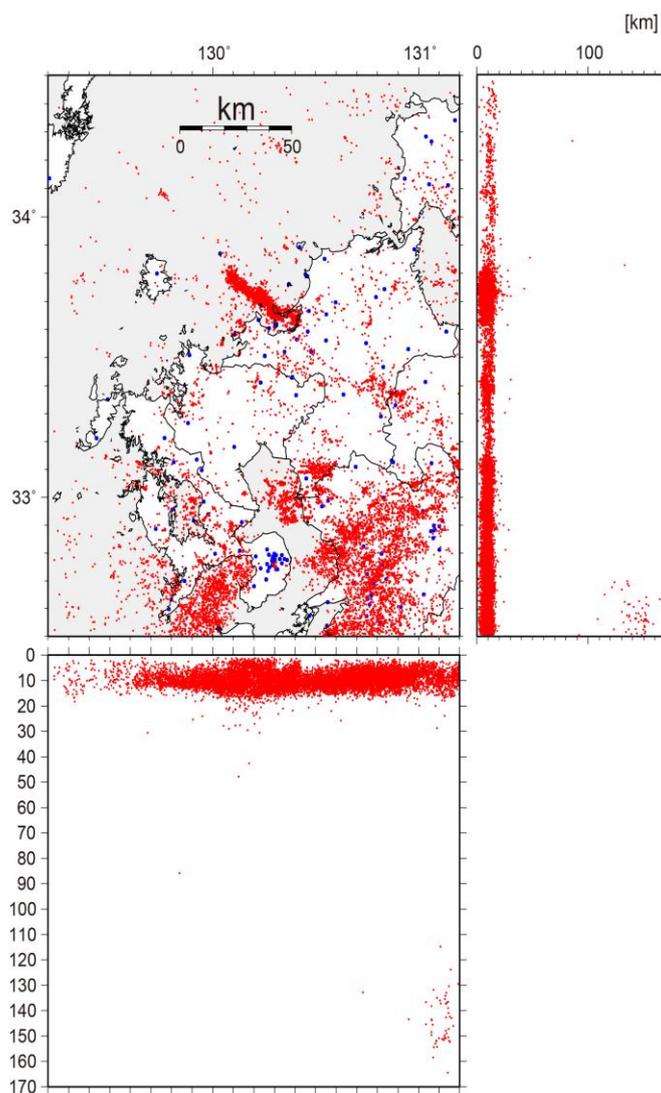


図6 トモグラフィ解析に用いた地震の震源分布

チェッカーボードテストの結果を図7に示す。深さ方向においては10kmの分解能が存在することを確認した。全体としては深さ30km程度までは、水平方向に 0.2° （約20km）の分解能がある。局所的には、深さ20km程度までは水平方向に 0.1° （約10km）の分解能があると言える。

b) 結果

本解析により得られた観測点補正値を図8に示す。雲仙・九重など火山地域において、補正値が非常に大きな正の値を示している。また、福岡平野・熊本平野・筑紫平野・海ノ

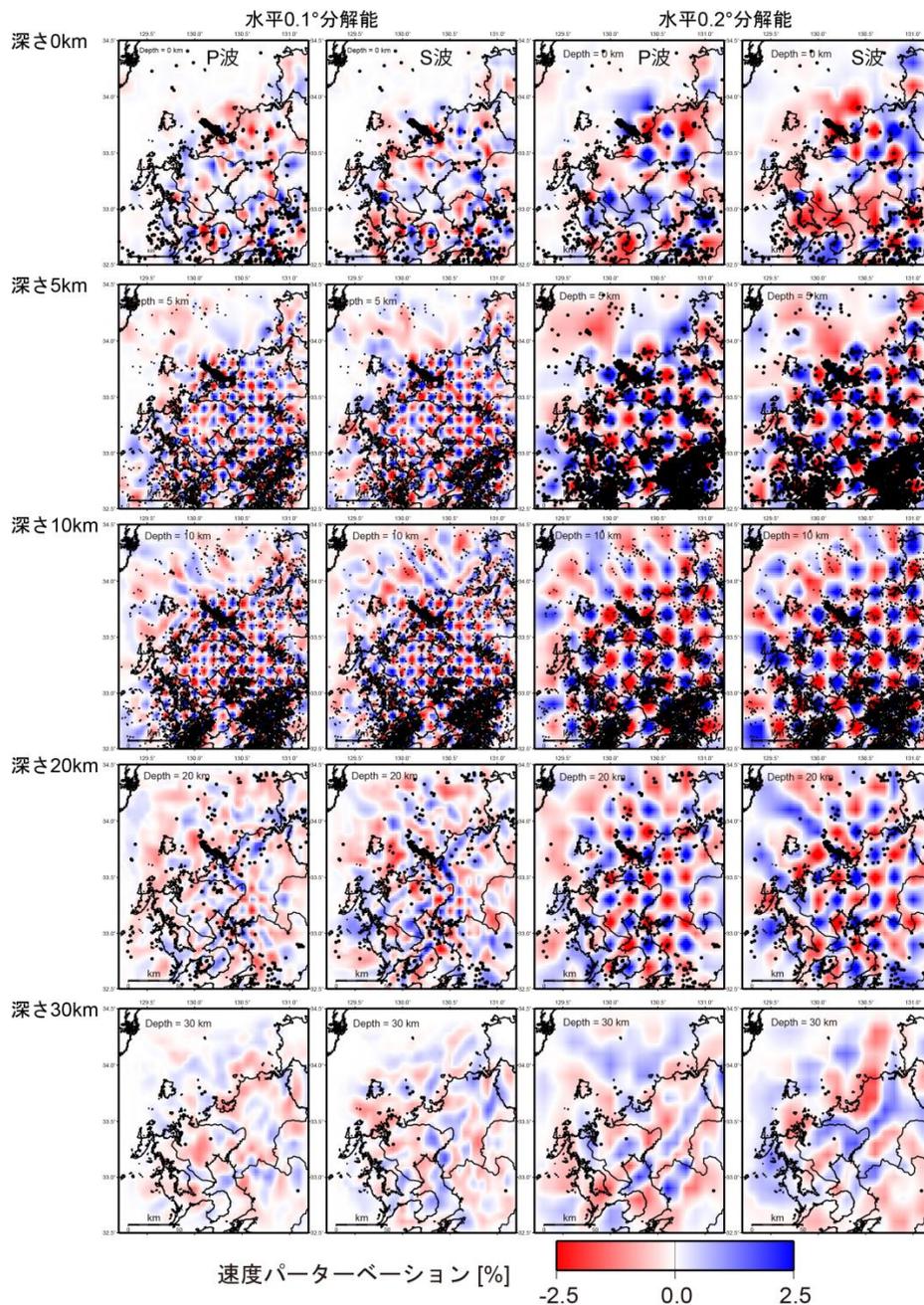


図7 チェッカーボードテストの結果。点は解析に用いた地震のうち、それぞれの深さから ± 5 km以内の震源分布を示す。

中道なども大きな値を示すほか、島嶼部の観測点の補正值も比較的大きくなっている。これは、これらの地域で観測される地震波の走時が理論走時よりも大きく遅れることを表しており、表層付近の局所的に地震波速度が低い媒質が存在することを示唆している。観測点補正值については、P波とS波について独立に求めたが、大小の傾向は同様であった。

深さ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40km における水平断面を図 9 および図 10 に示す。P波速度は、深さ 5~15km で福岡県西方沖地震の余震列の南西側が低速度で北東側が高速度だがS波速度の変化は小さい。そのため、北東側が中庸な V_p/V_s を示すのに対し、南西側は低 V_p/V_s となっている。一方、警固断層帯南東部の速度構造は中庸となっている。

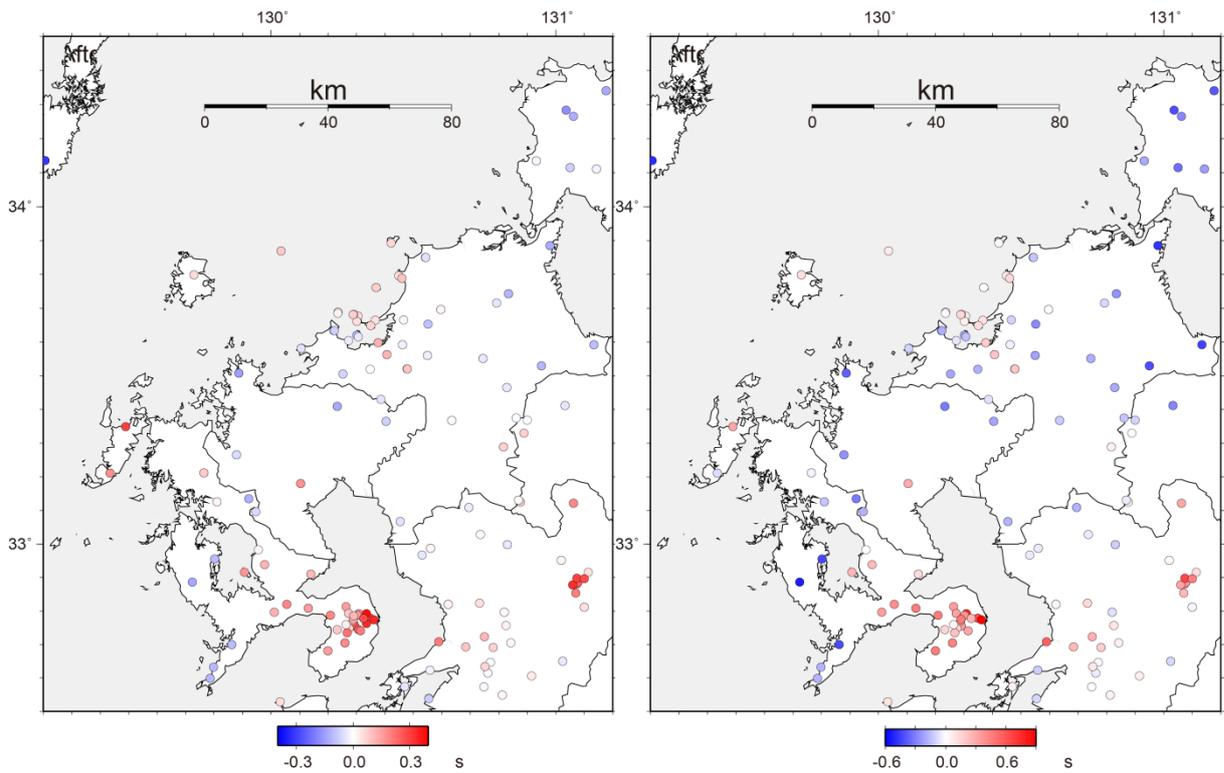


図 8 本解析で得られた観測点補正值の分布。左) P波。右) S波。

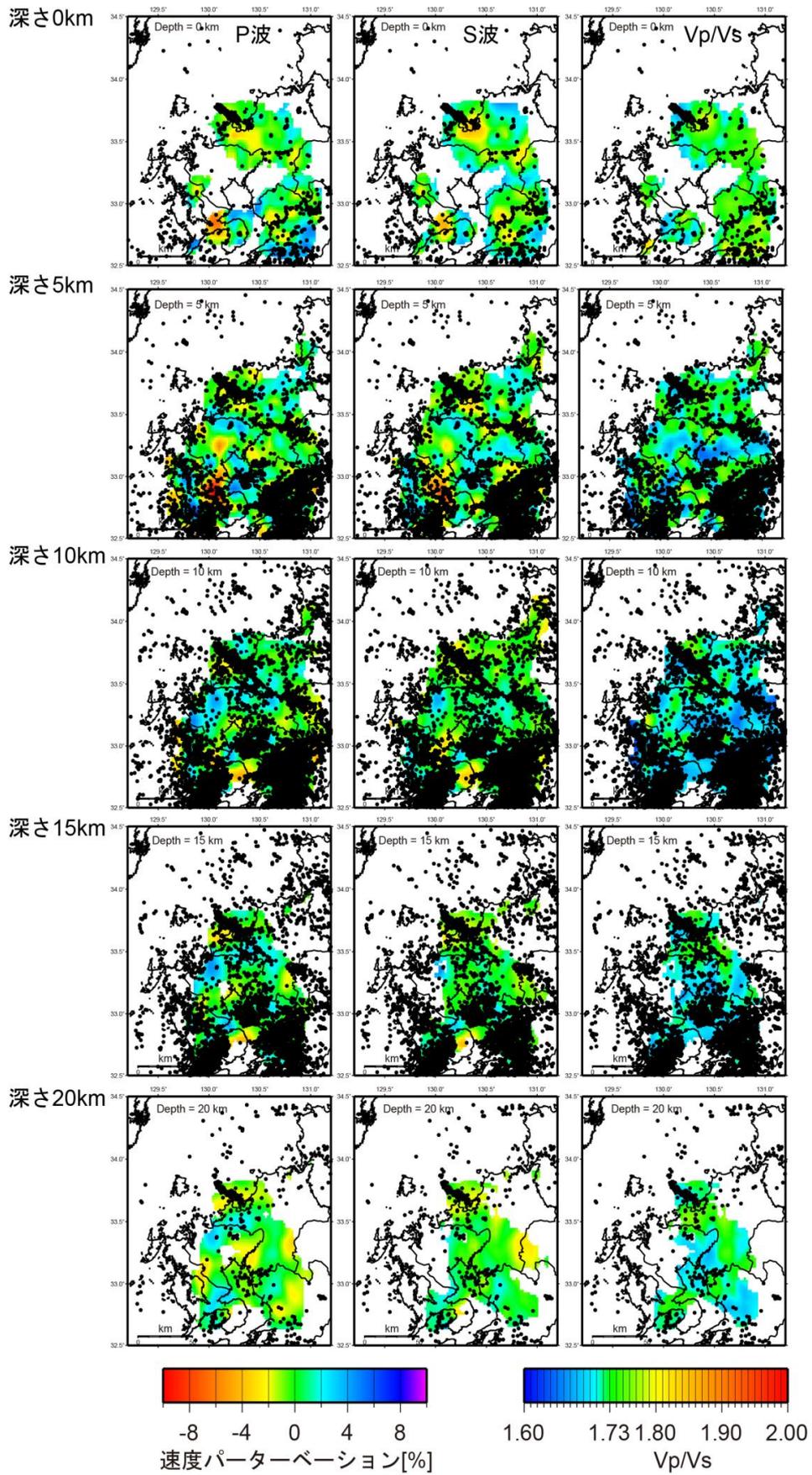


図9 水平分解能10kmの結果

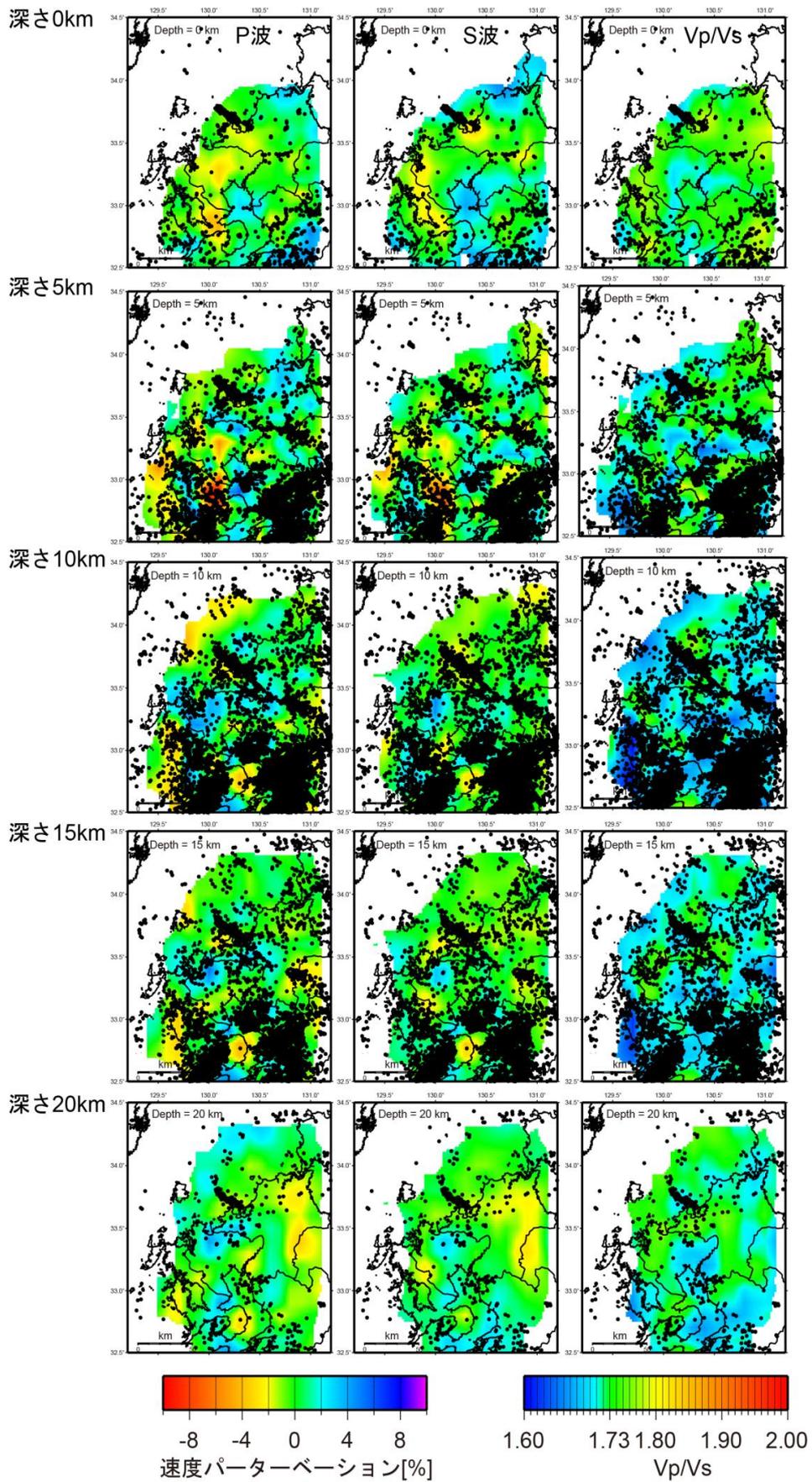


図 10 水平分解能 20km の結果

3) 地震波干渉法解析

a) 概要

近年、雑微動の相関関数が観測点下あるいは観測点間の地下構造の影響を強く受けていることが明らかになってきた。また、顕著な地震活動等を境として、観測点周辺の地震波速度構造にごくわずかな変化が生じることが数多く報告されている⁶⁾。地震波速度が変化する理由について、未だ明確な結論が得られている訳ではないが、地震波速度の変化が地殻深部あるいは地殻全体で発生している場合、地殻の応力状態の変化と密接に関係している可能性がある。その場合、地震波干渉法解析により得られる自己あるいは相互相関関数を定常的にモニタリングし、その変化を追跡することで、地下の応力状態の変化を捉えることが出来る可能性がある。平成 23 年度は、防災科研 F-net の背振観測点 (N. SBRF) のデータを対象に、効率的な相関解析の方法の検討を行った。

b) 解析方法および結果

解析は、N. SBRF 観測点の 2011/04/01～2012/02/29 の上下動成分記録を用い、自己相関関数の計算のみを行った。

従来の地震波干渉法解析では、求めた相関関数の安定性を確保するため、数日から 10 日程度のデータをスタックすることが多い。長期間のデータをスタックすることにより相関関数は安定するが、その分、時間変化を検知するための分解能は低下する。そこで、スタック数を稼ぐことを目的として、今回はブートストラップ法を適用することとした。まず、N. SBRF 観測点で得られた記録を 1 時間単位で切り出す。データを 20Hz サンプリングに変換し、0.5～2.0Hz の帯域通過フィルタを適用したのち、1 ビット化処理を施す。このように作成したデータに対し、無作為に 51.2 秒間 (1024 サンプル) のデータを 200 回～1000 回抽出し、それぞれのデータについて自己相関関数を計算した。得られた相関関数は、日単位でスタックし、その結果を当該日の相関関数とした。結果の一例を図 11 に示す。1 時間あたりの相関関数のスタック数について、200 回と 1000 回に優位な差は見られなかったため、本図は時間あたり 200 回スタックした結果を示した。図 11 の右側には、当該期間において、観測点から震源距離 50km の範囲における地震の発生状況を示す。本結果は、ラグタイムが小さい 4 秒から 8 秒で相関関数が不安定となっている。ただし、170 日目以降では、8 秒目以降が安定しているようにも見られることから、今後、2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震の影響も鑑みつつ、解析周波数帯域や相関解析に供するデータ長、スタック数、成分組み合わせ等を検討する必要がある。

(c) 結論ならびに今後の課題

今年度は、既存高感度地震観測点を補完する形で、福岡県小郡市に簡易型高感度地震観測施設を建設し、連続観測を開始した。全てのデータは、防災科研データセンターにて保存するとともに、九州大学に配信を行った。本観測施設の建設により、警固断層南東端部の微小地震検知力が向上し、警固断層南東部における地震発生場の理解につながることを期待される。また、九州大学が実施した臨時機動観測の検測データと基盤的地震観測等の定常観測点のデータを併合処理することにより、断層帯周辺の概略的な三次元速度構造を求めた。警固断層帯北東部において、以前のモデル 5) では不明瞭であったが、今回の解析

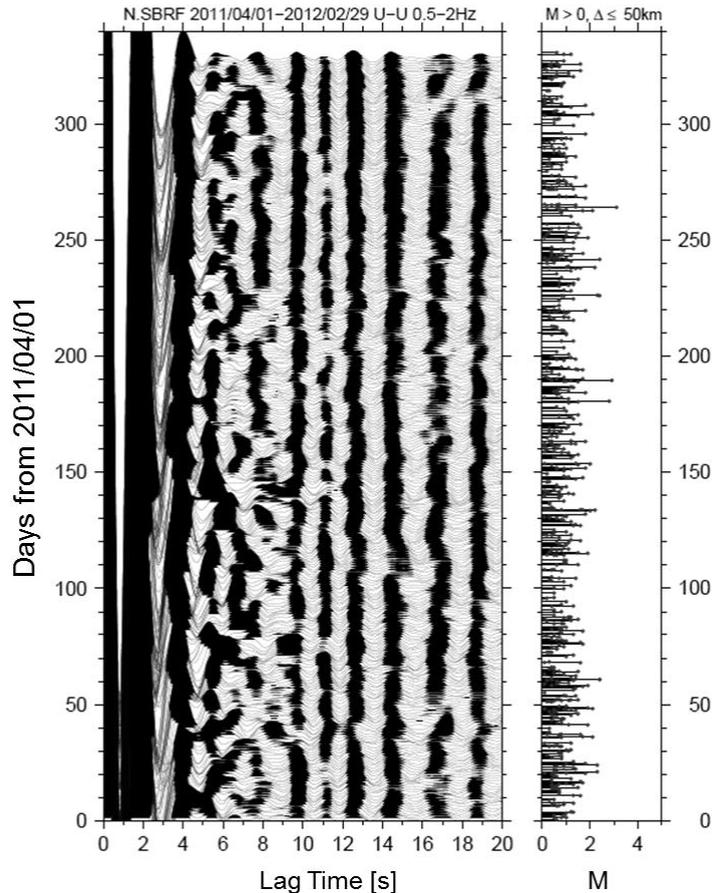


図 11 防災科研 F-net の N.SBRF 観測点における上下動成分の自己相関関数と観測点から 50km 以内で発生した地震の M-T 図 (2011/04/01~2012/02/29)

により 2005 年福岡県西方沖の地震活動を境として速度構造に有意な違いが存在すること、断層帯南東部では中庸な速度構造が支配的であることが明らかになった。ただし、断層帯南東部は、図 6 に示すように、十分な地震データが観測されている訳ではない。来年度以降は、今年度新設した観測点や断層帯南東部を中心に機動的臨時観測点を増設するなどして、解像度の向上に努める必要がある。

さらに、既存広帯域地震観測施設の観測データを元に、雑微動を用いた地震波相関解析を開始した。地震波干渉法解析では、膨大な組み合わせの相関計算を実施し、速度構造の時空間変化を検出することを目的としている。そのためには、時間分解能や相関関数の安定性の向上および解析方法のさらなる効率化は欠かすことが出来ない。次年度以降も引き続き、効率的・効果的な解析方法の構築を進める必要がある。次年度は、2005 年福岡県西方沖地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震を挟んだ期間を検証の対象とし、相関関数の変化の有無を調査することも必要である。

(d) 引用文献

- 1) Okada, Y., K. Kasahara, S. Hori, K. Obara, S. Sekiguchi, H. Fujiwara, and A. Yamamoto: Recent progress of seismic observation networks in Japan -Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net-, *Earth, Planets and Space*, 56, xv - xviii, 2004.
- 2) 渡辺 晃: 近地地震のマグニチュード, *地震* 2, 24, 189 - 200, 1971.
- 3) Zhao, D., A. Hasegawa, S. Horiuchi: Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath Northeastern Japan. *J. Geophys. Res.* 97, 19909-19928, 1992.
- 4) Matsubara, M., H. Hayashi, K. Obara and K. Kasahara: Low-velocity oceanic crust at the top of the Philippine Sea and Pacific plates beneath the Kanto region, central Japan, imaged by seismic tomography, *J. Geophys. Res.*, 112, B12304, doi:10.1029/2005JB003673, 2005.
- 5) Matsubara, M., K. Obara and K. Kasahara: Three-dimensional P- and S-wave velocity structures beneath the Japan Islands obtained by high-density seismic stations by seismic tomography, *Tectonophysics*, 454 86-103, 2008.
- 6) Wegler, U., H. Nakahara, C. Sens-Schonfelder, M. Korn, and K. Shiomi: Sudden drop of seismic velocity after the 2004 Mw 6.6 mid-Niigata earthquake, Japan, observed with Passive Image Interferometry, *J. Geophys. Res.*, 114, B06305, doi:10.1029/2008JB005869, 2009.