

( 1 ) 実施機関名：

九州大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

内陸地震断層およびセグメント境界での不均質構造とひずみ集中機構の解明

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-1 ) 地震準備過程

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-1 ) 地震準備過程

ア．アスペリティの実体

( 3 ) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

( 3-2 ) 地震破壊過程と強震動

ア．断層面の不均質性と動的破壊特性

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

内陸地震発生過程を理解するためには断層にかかる応力の蓄積過程，断層上の強度分布を知ることが必要である．現在までに地震モーメント，発震機構解から広域の応力状態を推定する試みがなされている．また，地震発生時のすべり分布と速度構造との対応からアスペリティが高速度域と対応していることが示され，強度の不均質を間接的に示唆するものとして考えられている．しかしながら，個別の断層に対しての応力集中機構が明らかになっていないのと同時に，断層上の推定されてきた不均質構造と強度を結びつける直接的な証拠は見出されていない．特に，地震発生準備過程や地震時に重要なアスペリティや断層端の状態は重要であるにもかかわらず，詳細な物理特性が明らかになっていない．そこで本研究では，福岡県西方沖地震断層 警固断層地域を中心とし，それ以外にも規模の大きな内陸地震発生域および将来発生が憂慮される断層において，応力集中機構の解明と断層上およびその周辺における詳細な媒質特性把握を目指す．さらに，地震観測網，地震計アレイ観測，GPS 観測等によって推定される地殻活動や構造の結果を有機的に結合し，媒質の物理定数と強度との関連や非弾性変形に寄与する媒質特性の推定を試み，内陸地震発生のモデル構築を目指す．

本課題では下記の 3 つの項目において研究を進める．対象とする領域は 2005 年福岡県西方沖地震震源域および警固断層周辺域である．ただし，他の内陸地震発生域との比較研究や突発的な内陸地震が発生した場合は同様の研究をその地域でも進める．

1．断層上およびその周辺における詳細な媒質特性把握

2．媒質の物理定数と強度との関連や非弾性変形に寄与する媒質特性の推定

### 3. 応力集中機構の解明およびモデル化

断層における応力集中機構は周囲の強い不均質、たとえば下部地殻や断層端近傍の弱面や非弾性媒質によって引き起こされる。そのため、まずこれらの分布形態を明らかにする必要がある。これらを稠密地震観測網によってイメージングする。また、GPS観測や応力テンソルインバージョンによって断層の部分的すべりや局所的応力場の不均質を把握し、不均質構造との関連を見出す。この定性的対応関係からまずは第1近似的なモデル化を行う。さらに、地震計アレイ観測によって不均質構造の詳細分布や散乱特性を把握し、減衰構造、速度構造との定量的な関連を検討する。特にアスペリティや断層端にターゲットを絞って行うことで、より精度の高い構造モデル化を図る。この地震のアスペリティは玄界島の近傍に位置し、高速度域がほかの地域と異なり、地表付近にまで達している。ここでアレイ観測を行うことで低速度域に邪魔されることなく、より精度の高い不均質構造が検出可能である。また、断層端に位置する小呂島、志賀島においてもおこなう。これらの観測研究は、非弾性変形に寄与する媒質特性の把握を行う第1歩でありチャレンジングな試みである。非弾性変形の時間スケールは地震波動の周期スケールとは数オーダーの違いがあり、単純に減衰構造を非弾性変形のパラメータと同一視することができない。これを減衰構造や散乱構造のスケール依存性と地震時すべり量や特徴的な地震サイズなど地殻変動や地震活動との関係を見出す試みを行う。この広帯域不均質構造

動的な活動の関連性から、より定量的に強度との関係を考察する。また、稠密地震観測網によって、福岡県西方沖地震によって応力が増加した警固断層の地震活動を詳細に把握し、その発生可能性についての判断材料となる構造を詳細に推定する。

以上の結果に基づき、後半においてはFEMによる地震活動等地殻活動のモデル化を試みる。また、警固断層周辺の地震活動特性を臨時観測網の検知能力向上に取り組むことで、詳細に調べる。さらに、過去の内陸地震発生域等のデータを解析し、比較研究を行う。

#### (6) 本課題の5か年計画の概要：

平成21年度は稠密地震観測網展開、GPS観測、アレイ観測(玄海島)を実施し、地震活動特性の詳細把握、断層周辺不均質構造解明、アスペリティの特性把握のための基礎的データ蓄積を開始し、福岡県西方沖地震断層周辺の短波長不均質の分布特性解析を始める。

平成22年度は稠密地震観測、GPS観測を継続するとともに、アレイ観測(小呂島)を実施し断層端の不均質構造のためのデータを収集する。また、21年度得られたデータ解析を進め、断層周辺不均質構造(散乱体分布)を得る。また、内陸地震発生域での観測を機動的に行い、比較研究のためのデータ蓄積を行う。

平成23年度は稠密地震観測、GPS観測を継続し、データを蓄積する。また、アレイ観測(志賀島)を行い、福岡県西方沖地震断層南東端の断層不均質構造解明を行う。また、蓄積されたデータの解析を進め、この地域の応力場推定と減衰構造推定を行う。

平成24年度は稠密地震観測、GPS観測を継続し、データを蓄積する。また、地震発生が危惧されている警固断層地域でアレイ観測をおこない、短波長不均質構造解明のためのデータを蓄積する。また、他地域で得られているひずみ速度場、応力場と福岡県西方沖地震断層周辺での結果を比較し、非弾性変形と不均質構造の解明を目指す。

平成25年度は稠密地震観測、GPS観測を継続する。24年度までにアレイ観測や稠密地震、GPS観測から得られた不均質構造と活動様式から、この地域を有限要素法等によってのモデル化を試みる。また、他地域との比較研究を進める。

#### (7) 平成22年度成果の概要：

今年度は断層端の不均質構造検出のために福岡県西方沖地震周辺域の応力場解析と警固断層周辺の不均質構造をより解明するために、アレイ観測を小呂島の島から三日月湖へ変更し実施した。また、アレイによる不均質構造推定の手法高度化のため、中竜鉾山におけるアレイ観測による短波長不均質構造推定に取り組んだ。

## 1. 福岡県西方沖地震

余震観測データの詳細な解析を行った。3次元トモグラフィによる速度構造を用いた発震機構解の決定と応力場のモデリング手法の開発に取り組んでいる。

応力場の不均質構造を広域応力場と応力不均質を生じさせる moment tensor によってモデル化することを試みた。

ここでは稠密余震観測によって得られた、データを Hori et al. (2006) で得られた3次元速度構造によって再決定された震源を用いた (Matsumoto et al., 2009)。図1に得られたP, T軸分布を示す。これらの軸は余震域の両端によって若干回転しているように見える。本研究ではこれらが広域応力場中に存在する moment tensor によって乱されていると考え、応力場のモデル化を試みた。

発震機構解で推定される滑りと断層法線ベクトルは応力テンソルの絶対値で規格化された応力テンソルと線形で結ばれる。ここで、応力主軸の一つは鉛直であると仮定する。この応力場を広域応力と moment tensor を用いてあらわす。この場合も鉛直成分が無視できると仮定する。メカニズム解データをもっともよく説明できる広域偏差応力と空間的に分布した点での moment tensor を非線形最小2乗法によって求める。ただし moment tensor は広域応力の差応力によって規格化した。モーメントテンソルを置いた位置は深さ 3.75, 11km で水平方向に 5km 間隔で配置した。ここでは領域を 7.5km より浅部と深部に分け、それぞれ独立に推定を行った。図2に結果を示す。図からわかるように広域応力は深さによらずほとんど同じである。余震域の両端で大きなモーメントテンソルが推定されていることが分かる。これは両端において、このようなモーメントテンソルを作る非弾性的な変形が起こっていると考えられる。また、断層深部において滑り過剰による応力場を作る、モーメントテンソルが得られた。これらは断層深部もしくは下部延長において滑りが周囲よりも大きいことを示唆している。

一方、不均質構造解明のための観測研究としては、警固断層の北部に位置する三日月湖において、2 Hz<sup>3</sup> 成分地震計 67 台を用いたアレイ観測を 10 - 11 月に実施し、現在データを処理、解析中である。

## 2. 中竜鉦山における地震計アレイ観測

濃尾地震断層から約 20 km 離れた、福井県大野市、中竜鉦業所有の中竜鉦山坑道内において、2009 年 9 月から 2010 年 2 月まで、京都大学防災研究所、防災科学技術研究所と共同研究として地震計アレイ観測を行った。地震計アレイ観測は坑口から約 200 m 下の坑道内で行った。アレイの位置図及び波形例を図3に示す。この坑道は非常にノイズが低く、100Hz を超えてもなお、十分な S/N 比をもった記録が得られた。センサーは 2 Hz<sup>3</sup> 成分地震計を用い、20 - 40 m 間隔で 80 点設置した。今年度はこの観測で得られた自然地震記録を用いこの地域を中心とした散乱体分布の推定を試みた。

Matsumoto et al. (2006) などと同様な slant stack を用いて行った。震源は防災科学技術研究所によって決定されたものを用いた。波形から空間への投影は、S-S 散乱を仮定し、震源決定の際の構造を用いた。図4に例として、アレイ近傍で発生した2つの地震の記録から 2-4, 4-8, 8-16, 16-32Hz の周波数帯域において散乱体のイメージングを行った。得られた結果を断面でみると、濃尾断層と空間的位置が対応する散乱体が深さ 10km 程度に見られる。さらにはアレイ直下深さ 22km, 35km にも強い散乱が見られる。また、下部地殻に多くの不均質が分布することを見ることが出来る。特に 32-35km の散乱が強い部分はモホ面からの反射であると考えられる。この比較的深部の散乱体は低周波数帯で顕著であるが、すべての周波数でイメージされている。これらの解析を通じて、かなりの広い周波数帯域にわたって下部地殻が強い不均質をもつことが示された。

## (8) 平成 22 年度の成果に関連の深いもので、平成 22 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

松本聡, 松島健, 平野憲雄, 池端慶, 中元真美, 山下裕亮, 糸谷夏実, 栢橋志郎, 佐々木裕樹, 千葉慶太, 千藏ひろみ, 宮崎真大, 野村和正, 李哲俊, 武田哲也, 浅野陽一, 小原一成, 飯尾能久, 中竜鉦山における 3 成分地震計アレイ観測, 九州大学大学院理学研究院 地球惑星科学部門年報 第 17 号(印刷中)

## (9) 平成 23 年度実施計画の概要 :

平成 23 年度は 22 年度に開発着手した応力不均質のモデル化手法をより、進めると同時に 22 年度に得られたデータの解析を進め、警固断層にかかわる不均質構造解明を進める。また、福岡市内においてアレイ観測を行うと同時に、S/N の高いデータを得るための観測点増強を行う。

( 10 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

九州大学大学院 理学研究院 地震火山観測研究センター  
他機関との共同研究の有無：無

( 11 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：九州大学大学院 理学研究院 地震火山観測研究センター  
電話：0957-62-6621  
e-mail：webmaster@sevo.kyushu-u.ac.jp  
URL：www.sevo.kyushu-u.ac.jp

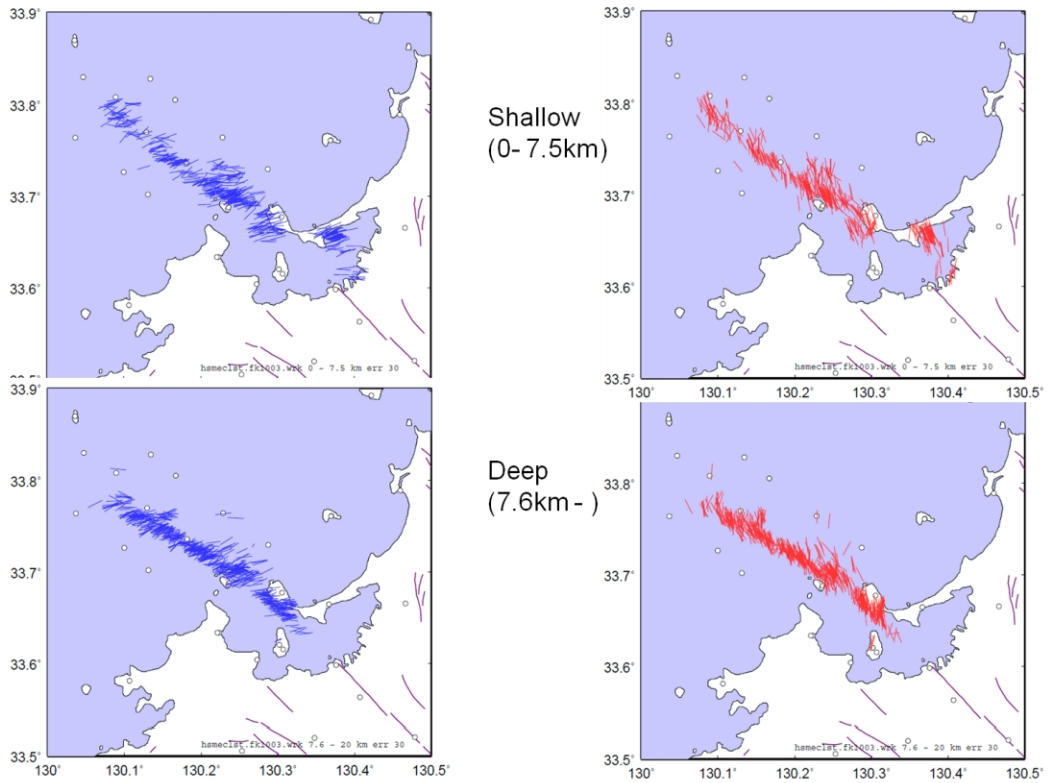


図1 稠密地震観測網データを用いた発震機構解のP軸(左), T軸分布(右). 上図は7.5kmより浅い地震, 下図はそれより深い地震の解を示す.

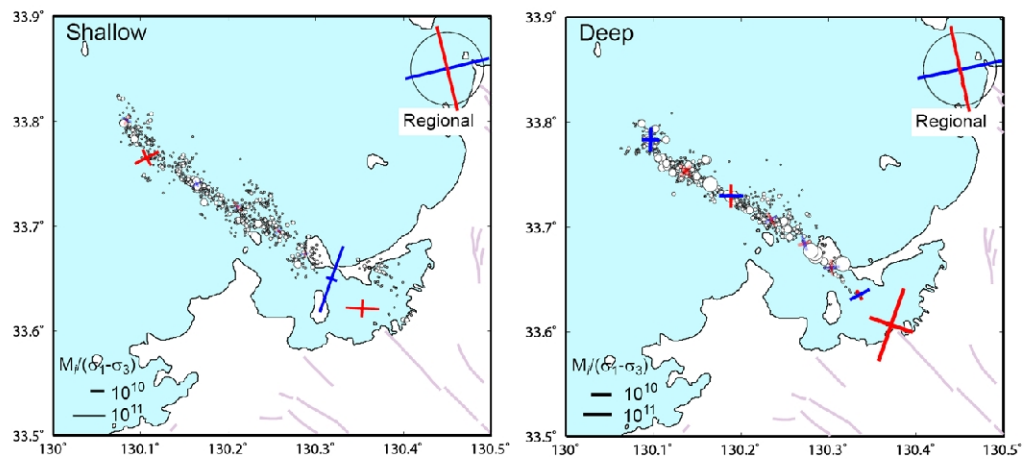


図2 得られた広域応力場の方向とグリッド上のモーメントテンソル. 浅部についての解を左図, 深部を右図に示す.

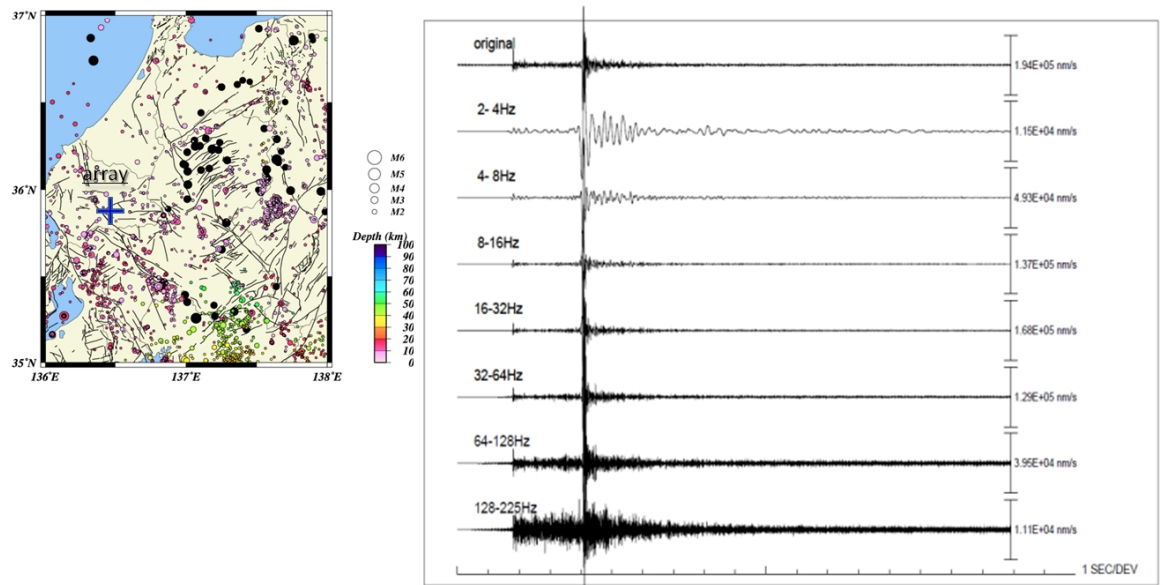


図3 中竜鉦山アレイの位置図と得られた波形のバンドパスフィルタ記録

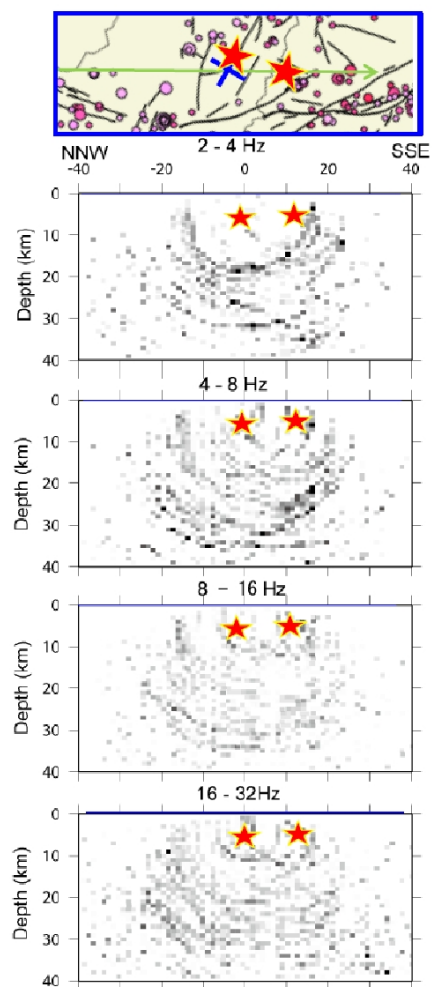


図4 2つの自然地震を用いてイメージされた中竜鉦山から北北西—南南東方向の散乱体分布