

(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，地震発生時の滑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とも，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及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及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及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．断層上及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及びモデル化

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滑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、志賀島においても行う。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滑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行い、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) 計画期間中(平成21年度~25年度)の成果の概要：

本研究では内陸地震発生過程を理解するために、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応力集中機構の解明と断層上及びその周辺における詳細な媒質特性把握を目指してきた。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こころみた。

本課題では目的で挙げた 3 つの項目すなわち、1) 断層上及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及びモデル化、について研究を進め、対象とする領域 2005 年福岡県西方沖地震震源域及び警固断層周辺域を中心として地震観測網、地震計アレイ観測、GPS 観測を展開すると同時に、過去の大地震震源域でもデータ解析を進めた。これらの目的を達成するために、福岡県西方沖地震震源域において、高分解能減衰構造を求める手法を開発し、これらを用いて推定を行った。その結果、断層両端において高減衰域が発達していることが明らかになった。これらは同時に、散乱強度も高いことが明らかになっている。応力場の不均質は、臨時観測によって蓄積されたデータから決定された精度の高い発震機構解のデータを用い、広域応力とモーメントテンソルを用いて応力場不均質の検出を行った。その結果、断層両端部に大きな非弾性変形が見出された。これらは高減衰域周辺に位置し、10Hz 程度の地震波の周波数で見積もられた減衰域が非弾性変形帯として振舞う可能性を示唆でき、今後の想定断層の断層長を規定するひとつのパラメータになりうるということが明らかになった。一方、断層深部破壊開始点付近に本震のモーメントの数割に相当する滑りが発生していることが明らかになった。余震を用いたこの推定は本震発生後の応力場を反映しているものであり、現在もなお、この滑りの影響が残っていることを示している。GPS を用いた本震や余効変動モデルによると、この滑りは本震時もしくは発生後のものではないことを示している。これは地震前に滑りを起こしたことを示唆しており、地震発生前の滑りが本震破壊開始点付近で発生し、本震の破壊を引き起こす要因の一つとなった可能性がある。このように、発震機構解の空間変化から地震前の断層に影響を及ぼす変形や滑りを検出できる可能性が示された。

これらの結果を比較するために、同じ横ずれ型地震で近年発生した最大規模の内陸地震である 1995 年兵庫県南部地震の震源域を対象として同様の解析を京都大学防災研と協力して行った。Katao et al. (1997)、Yamanaka et al. (2002)、小笠原・他 (2006) で用いられた発震機構解に加えて、今回、更に処理をしたものでデータを作成し、応力テンソルインバージョンを適用した結果、

あ) 1 軸はほぼ東西で安定。

い) 応力比が小さく (0.1-0.3)、2、3 が近接

う) 北東方向は横ずれ場、南西方向は逆断層場。明石海峡付近ではメカニズムのばらつきが大きく、安定してもとまらない、

という結果が得られた。これらは断層南西部では地震の滑りによって鉛直応力 < 水平最小圧縮力となった可能性が考えられる。さらに、Matsumoto et al. (2012) による手法を用いて広域応力場と非弾性変形源を推定した。非弾性変形はモーメントテンソルとして与えて推定した結果、淡路島側に断層端で大きな非弾性変形がみられた。これは断層端の応力集中を示している。また、明石海峡周辺でも非弾性変形がみられ、これが周辺の応力場を乱していることが示された。断層端および破壊開始点では大きな非弾性変形が見られることが明らかになり、これは福岡県西方沖地震震源域で得られた特徴と同様な結果であり、地震発生及び停止に関連している可能性を示唆している。

さらに、平成 25 年度には同年 4 月に淡路島で発生した地震 (M6.3) とその余震を用いて、地震前後の発震機構解の比較からこの地震の発生場についての解析を行った。これは地震時に解放されたモーメントテンソルと、地震前後の発震機構解の空間変化から地震が断層における応力集中によって発生したか、強度低下によって発生したかを見出す手法を開発し、淡路島のデータに適用したものである。これによると、地震発生以前から、断層上には周辺より応力が集中していたことが明らかになった。また、この地域の差応力が 25MPa 程度であることが得られ、断層周辺域において必ずしも低応力ではないことが見出された。これらの手法は、既存活断層のうち地震前から地震活動のある地域においてこの手法を適用することによって、応力集中によって発生する地震の発生ポテンシャルについてのひとつの尺度が得られる可能性が示唆している。

(8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

(9) 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

(10) 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

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 松本聡
所属 : 九州大学大学院 理学研究院 地震火山観測研究センター