

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

断層面および断層周辺の不均質性に基づく断層への応力集中過程の解明

( 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

( 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

( 4 ) 地震発生・火山噴火素過程

イ．地殻・上部マントルの物性の環境依存性

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究課題は、次期計画中の「地震準備過程」に関する研究課題のひとつとして位置づけることができる。特に、建議中にある「内陸地震に関しては、地震発生層である上部地殻と下部地殻・最上部マントルの不均質とその変形の空間分布を把握し、歪集中帯の形成・発達と地震発生に至る過程に関する定量的なモデルの構築を目指す」に沿った研究課題である。この研究課題の実施により、断層への応力集中を解明するための基礎的モデル構築に貢献する。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21～23 年は主に各地域での手法開発の期間とし、島根県東部から鳥取県西部地域において応力集中過程の解明のため、満点システムによる微小地震観測を開始し必要なデータを取得する。また、新しい応力逆解析手法の開発も合わせて開発する。長野県西部地震および鳥取県西部地震の震源域における稠密地震観測データを用い、震源断層や破壊開始点、アスペリティの位置の推定手法の開発を行なう。また、鳥取県西部地域でこれまでに取得されたデータおよび補充観測によるデータをもとにさらに深部までの比抵抗構造を求め地震断層周辺の不均質性の把握を行う。一方、山崎断層で、歪計、臨時地震観測とハイドロフォンを使用した極微小地震の活動変化を解明するとともに、近畿地方北部のいくつかの活断層で地震波散乱解析による深部不均質構造の推定を行う。なお、山崎断層では断層の定常的な変位をモニターするため、断層をまたぐ伸縮計による歪み観測を実施する。また、平成 23 年からは上述の研究内容に加えて、花折断層・有馬高槻断層系、山崎断層系の地域をカバーする SAR データを入手し、他課題において開発される予定の InSAR 時系列解析を適用・拡張する。

平成 24～25 年は、平成 21～23 年の期間に実施した観測を必要に応じて継続するとともに、それまでに各地域で高度化されたそれぞれの手法をそれぞれ近畿地方中北部の断層（花折断層・有馬高槻断層系、山崎断層系）へ適用するとともに、地震波散乱解析により近畿地方北部の広い地域での地殻不均質構造の時空間分布特性の違いに着目して断層系への応力集中機構を解明するための特徴的な構造を抽出する。さらに、InSAR 時系列解析により地殻変動の詳細な時空間パターンをとらえ、花折断層・有馬高槻断層系、山崎断層系などでの応力集中機構のモデル化を図る。

( 7 ) 平成 22 年度成果の概要 :

平成 22 年度末までに、島根県東部、鳥取県西部、岡山県・広島県北部地域に、満点システムを 40 点追加し、合計 50 カ所での微小地震観測点設置が完了し、下部地殻の不均質構造を推定するためのデータを取得しつつある。

長野県西部地震の震源断層近傍において、地震メカニズム解を用いた応力逆解析により、0.5km 刻みのグリッドで応力場の 3 次元的な空間分布を求め、断層への応力集中過程および大すべり域 (アスぺリティ) の成因を推定した。当地域において 1995-2007 年に精度良く震源決定された地震は約 3 万個から、メカニズム解の節面の方位の誤差が 10 度以内である 1497 個のデータを用いた。各グリッド点を中心とした一辺 1km の立方体のメッシュ内の応力場を一様と仮定して、グリッドサーチにより、スリップベクトルの misfit を最小とする解を求めた。misfit の RMS はほとんどの点において 10 度より小さい。図 1 に、メッシュ内に 11 個以上のデータのある点について、代表的な 3 つの断面についての結果を示した。Yukutake et al.(2010) で指摘しているように、長野県西部地域の広い範囲では逆断層型の応力場となっているが、震源断層沿いにおいては横ずれ型の応力場が卓越することがよく分かる。

図 2 に、断層に沿った鉛直断面における応力場、および、同じ断面における P 波速度偏差の分布を示す。地震すべりが起こったと推定される領域では横ずれ型の応力場であるのに対して、その東側の  $X=10.0-10.5\text{km}$ 、深さ  $2.0-2.5\text{km}$  では、逆断層に推定されている。P 波速度偏差を見ると、その付近では高速度異常となっている。一方、すべりの大きな領域は低速度となっている。また、逆断層型の領域では、すべり量が急激に小さくなっており、長野県西部地震の破壊を停止させたバリアーとして働いた可能性が考えられる。

図 3 に、大すべり域とバリアー領域の応力場の成因について模式的に示す。長野県西部地域の平均的な応力場は、(0) で示されるように、 $R$ (応力比) が 0.5 程度の逆断層型である。(B) で示されたバリアー領域では、深部すべりにより、水平面内最大圧縮応力は増加し、最小圧縮応力は減少している。一方、(A) で示された大すべり域では、低速度異常の原因となった水の効果による非弾性変形が進んで、水平面内の応力が減少する応力緩和が起こっていたと推定される。このことは、断層から離れた地点の応力場と速度構造および地震活動の比較からも支持される。大すべり域では、それに深部すべりによる効果が加わって、横ずれ型の応力場が形成されたと考えられる。バリアー領域では、水平面内最小圧縮応力の大きさが鉛直応力を下まわらなかったため、逆断層型の応力場のままであると考えられる。

新しい応力逆解析手法の開発のため、逆解析に正則化理論を用いた手法に関しての検討を行い、その場合に逆解析結果に生ずる偏差を補正する方法を新たに提案すると共に衛星データによる重力分布推定に適用しその有効性を確認した。また、比抵抗構造による地殻構造の不均質性の把握を行うため、鳥取県沖および鳥取県内で取得していた海域・陸域 MT データの解析を行った。

微小地震活動が活発な山崎断層において、臨時地震観測点 3 点による観測を継続した。これらを含む地震観測網によって得られた地震データに対して波形の相互相関を用いた震源再決定をおこない、微小地震の高精度の震源分布を求めた。これにより、山崎断層南西部のクラスターで、東落ちの面に沿って震源が分布していることが明瞭になった(図 4)。この面は、これまで求めてきた発震機構解とも調和的である。また、安富観測井でのハイドロフォン観測を継続し、イベント検出手法の改良を試みた。

( 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) :

Yukutake, Y., Y. Iio, and S. Horiuchi (2010), Detailed spatial changes in the stress field of the 1984 western

( 9 ) 平成 23 年度実施計画の概要 :

平成 22 年度までに設置した、島根県東部、鳥取県西部、岡山県・広島県北部地域の満点システムによる微小地震観測を継続し、下部地殻の不均質構造を推定するためのデータを取得する。長野県西部地震および鳥取県西部地震の震源域における稠密地震観測データを用いて、地震データから震源断層の正確な位置を推定する手法の開発を継続する。また、新しい応力逆解析手法の開発も継続する。また、山陰地域での比抵抗構造推定による地震断層周辺の不均質性の把握を継続する。その際必要に応じて長周期帯 MT 観測等の補充観測を実施する。一方、微小地震活動が活発な山崎断層において、臨時地震観測点 3 点による観測を継続し、これを含む地震観測網によって、微小地震の高精度の震源分布を求める。発震機構解析や  $b$  値の推定を行ない、断層トレースの形状と対比しながら、断層構造の不均質について継続して調べる。また、安富観測井でのハイドロフォン観測は観測点を追加し、より小さな地震の発生状況と断層の状態(地震活動)の相関について調べる。さらに、断層の定常的な変位をモニターするため、断層をまたぐ伸縮計によるひずみ観測を継続し、データの評価を行なう。平成 23 年からは上述の研究内容に加えて、花折断層・有馬高槻断層系、山崎断層系の地域をカバーする SAR 画像データをもとに InSAR 時系列解析を適用する。

( 10 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

担当者 : 大志万直人

参加者 : 飯尾能久、片尾浩、澁谷拓郎、西上欽也、加納靖之、James MORI、吉村令慧、徐培亮、橋本学、福島洋、中尾節郎、西村和浩、他 : 計約 14 名

他機関との共同研究の有無 : 有

鳥取大学、神戸大学、高知大学との共同研究(参加人数 約 4 名)

( 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 : 京都大学 防災研究所 地震予知研究センター

電話 :

e-mail :

URL : <http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

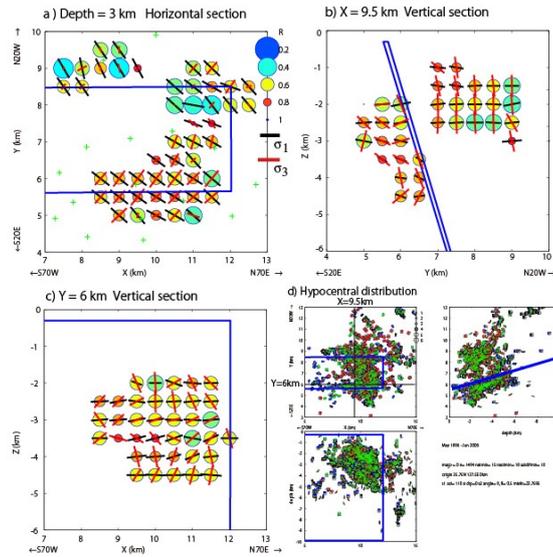


図 1 : 応力逆解析により推定された長野県西部地域の応力場

左上：平面図．右上：断層に鉛直な方向の断面図．左下：断層の走向方向の断面図．断面の位置は右下に示す．青実線は Yoshida & Koketsu(1990) による推定断層面 (実際の断層面は約 1km 南と推定される)．黒太線と赤実線はそれぞれ最大圧縮応力と最小圧縮応力の方向を示す．R(応力比)を の大きさと色で示す．

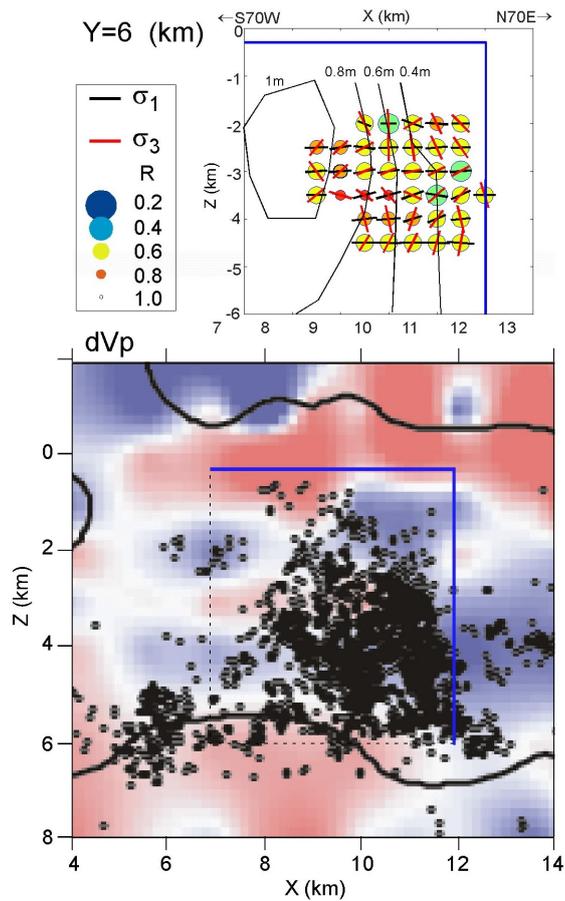


図 2 : 断層に沿った鉛直断面における応力場と速度構造

上：応力場に重ねたコンターは Yoshida & Koketsu(1990) によるすべり量分布．下：Doi et al.(2009) による P 波速度偏差．赤が低速度，青が高速度，黒線は精度のある範囲．

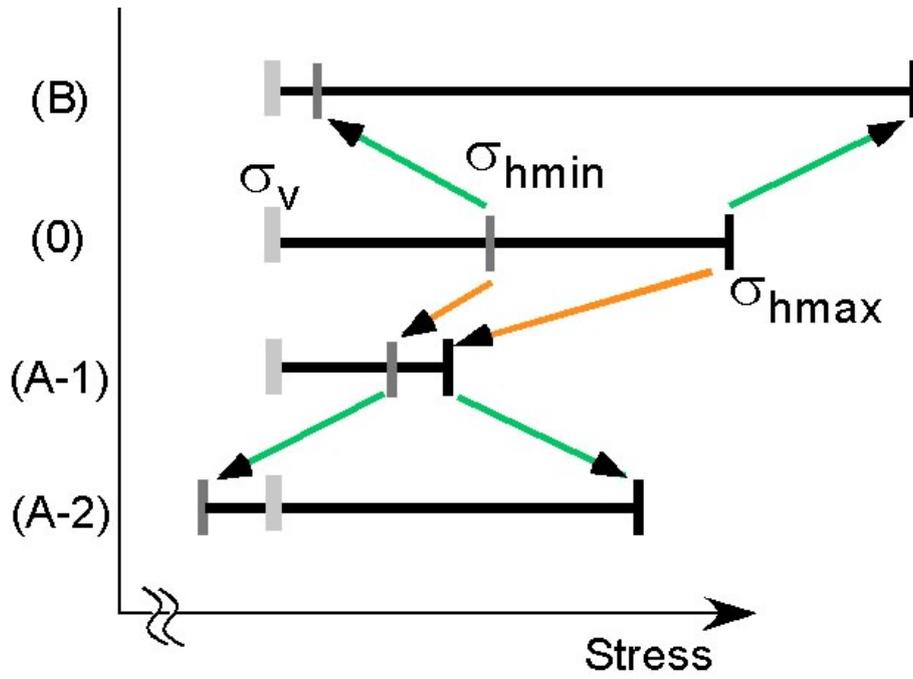


図3：長野県西部地震の断層近傍の応力場の成因  
 (A)：大すべり域．(B)：バリヤー領域．

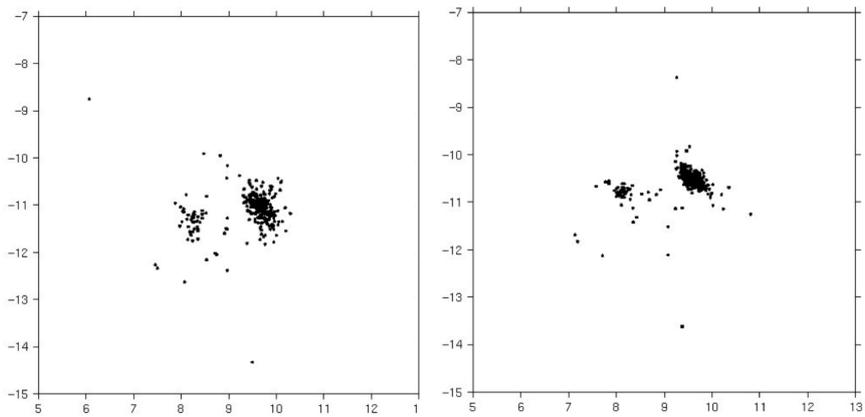


図4：(左)従来の読み取りによる震源分布と(右)波形の相互相関を用いた震源決定の結果  
 東西の断面に沿ってプロットしてある．東落ちの面に沿って震源が分布していることがわかる．