

(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付けることができる。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、ひずみ集中帯の形成・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、鳥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。長野県西部地震及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及び補充観測によるデータをもとに更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、ひずみ計、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ひずみ観測を実施する。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 24 年度成果の概要：

山陰地方の地震帯中部，島根県東部から鳥取県西部地域における応力集中過程の解明のため，満点システムを用いた稠密地震観測を行っている．図 1 に 2009 年 11 月から 2011 年 10 月までのデータを用いて決定したメカニズム解の P 軸の方位分布を示す．この地域の地震はほとんど全てが横ずれ型であるが，P 軸の方位に関しては，南部ではほぼ東西であるのに対して，北へ行くほど北西-南東方向へ回転している空間変化が見られる．この傾向は Kawanishi et al.(2009) に報告されているが，今回，鳥取県西部地震の余震域以外の領域においてデータ量が飛躍的に増えたことにより，より明確な傾向が見えるようになった．

余震域では効率的に大量のデータを得ることができるが，一方，本震の滑りにより応力場に局所的な不均質が存在する可能性がある．そこで今回は，定常的な地震活動の見られる島根県東部において応力逆解析を行った．図 1 に解析区間を示す．この地域における P 軸の方位分布及び長さ 15km 幅 6.5km という小さなグリッドによる試験的な解析結果を参考にして，図に示すような R1～R4 の 4 つの解析領域を設けた．推定された最適解がブートストラップ法による 95%信頼区間とともに図 2 に表示されている．参考までに，Kawanishi et al.(2009) の中国地方広域 (W2) の結果も示されている．最適解を見ると，地震帯において最大主圧縮応力軸が回転していることが分かる．ただし，95%信頼区間では有意とはなっておらず，今後更にデータを蓄積する必要がある．

地震帯の直下の下部地殻に推定されている低速度・低比抵抗異常域（例えば，Nakajima and Hasegawa, 2007; Shiozaki et al., 2006）に延性的な断層帯を仮定し，その滑りによる応力場を広域の応力場と合成して示したものを図 2 の左側に示す．断層帯の滑りは 40m，広域の応力場としては，Kawanishi et al.(2009) の中国地方広域 (W2) における応力比の推定値 0.4 と摩擦係数 0.2，及び鉛直応力を被り圧と仮定して計算した．地震帯において最大主圧縮応力軸の方位が回転しているとともに，その大きさも周囲より大きくなっていることがよく分かる．図 2 の右側のカーブが AA' に沿う計算結果であるが，応力逆解析結果をよく説明している．

トモグラフィーによる山陰地方の地震帯中部での速度構造の推定も行った．その結果を，図 3 に，深さ 4km における S 波速度偏差として示す．チェッカーボードテストにより，この表示領域のほぼ全体で有意な結果となっている．微小地震活動は，顕著な低速度及び高速度域を避けるように分布しているように見える．黒線で示したものは，2000 年鳥取県西部地震の余震域，及び 2000 年 10 月に誘発された地震活動及び 1978 年の三瓶山の地震の余震分布を示している．これらの余震域は低速度異常域を結ぶような位置にあるように見える．低速度異常域では周囲より弾性定数が小さいと考えられるため，その周辺に局所的な応力集中を起こした可能性が示唆される．

以上まとめると，山陰地方の地震帯中部に位置する島根県東部においては，下部地殻の延性的な断層帯の滑りによると考えられる応力集中が生じていると考えられる．この応力集中の下，上部地殻の不均質構造により，それらに挟まれた領域に更に応力集中が発生して，大きな地震の発生に至った可能性が示唆される．

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た．また，山崎断層周辺のやや長期的な地震活動について調べ，M4 以上の地震に着目すると，1984 年以降，25 年間静穏化していること（図 4），最近の小さな地震の活動は，2005 年初頭から南東側で活発化していることが分かった（図 5）．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ため，ハイドロフォン観測は観測

点を追加する予定であったが、適当な観測地点が見つからなかった。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た。

一方、昨年度行った琵琶湖西岸地域の InSAR 時系列解析に関し、更なるノイズ軽減を目的とし、再解析を行った。データとしては、昨年度と同様、2006 年 12 月から 2010 年 10 月に西上空から撮られた 21 枚の ALOS/PALSAR 画像を用いた。今年度は、短基線長解析という新たな解析手法を用いたところ、変動を追跡できる画素数が大幅に増え、結果の信頼性が向上した。さらに、1km 半径のウィンドウでの平滑化処理を施すことにより、ホワイトノイズを除去した。平均速度結果(図 6)では、おおよそ $\pm 1\text{cm/year}$ に収まる範囲の空間的ゆらぎが見えるが、ここには真の地殻変動と対流圏遅延ノイズが重畳されていると考えられる。最終的に目指していた活断層(琵琶湖西岸断層: BWF, 花折断層: HF) 周辺の局在的な変形を調べるためには、気象モデル等を用いた更なるノイズ軽減が必要である。なお、本来シグナル点を得られないはずの琵琶湖内に若干の点があることと、その東側に琵琶湖の形に点が少ない領域があり(赤破線)、今後原因の精査が必要である。

(8) 平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
なし

(9) 平成 25 年度実施計画の概要:

鳥根県東部、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するとともに、不均質構造と応力場の関係の解明を試みる。長野県西部地震及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。得られた結果をまとめ内陸地震の断層への応力集中モデルを構築するとともに、近畿地方における応力集中のモデルを構築する。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も継続する。

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。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、データの評価を行う。さらに、これらの手法を近畿中北部の他の断層へ適用できるかどうかの検討を行う。

InSAR 時系列解析に関しては、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 画像データを基にした解析を継続する。

(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/>

(12) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 大志万直人

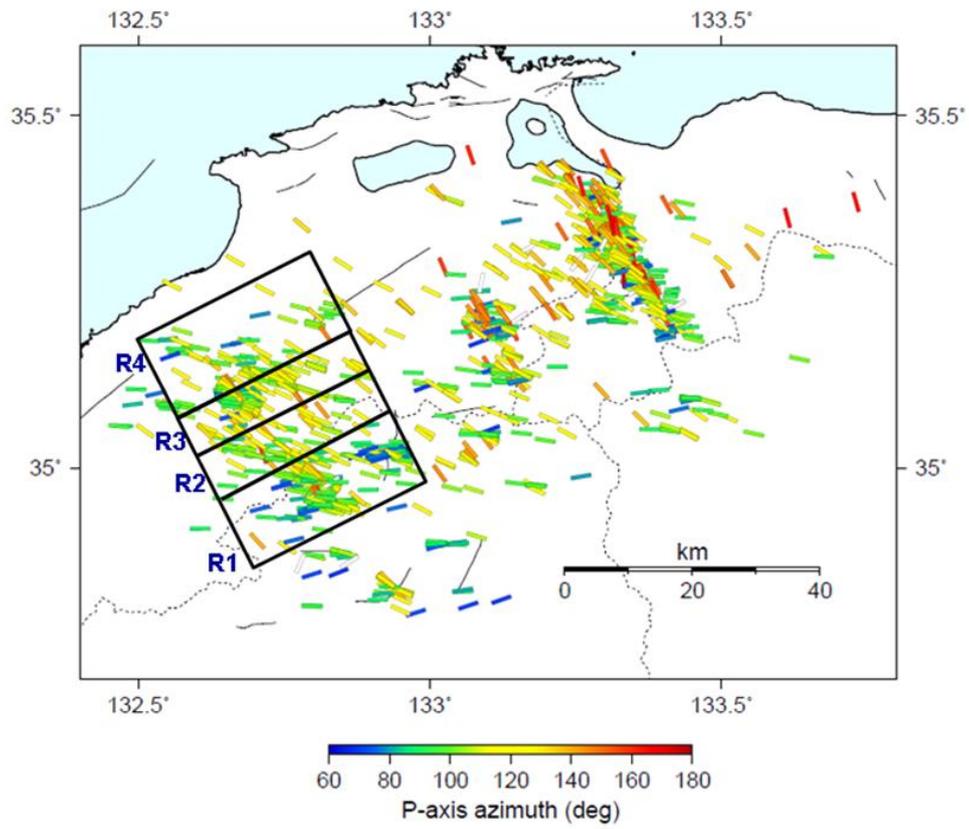


図1 メカニズム解のP軸の方位分布と応力逆解析の解析領域。
P軸は2009年11月から2011年10月までのデータを用いて決定。

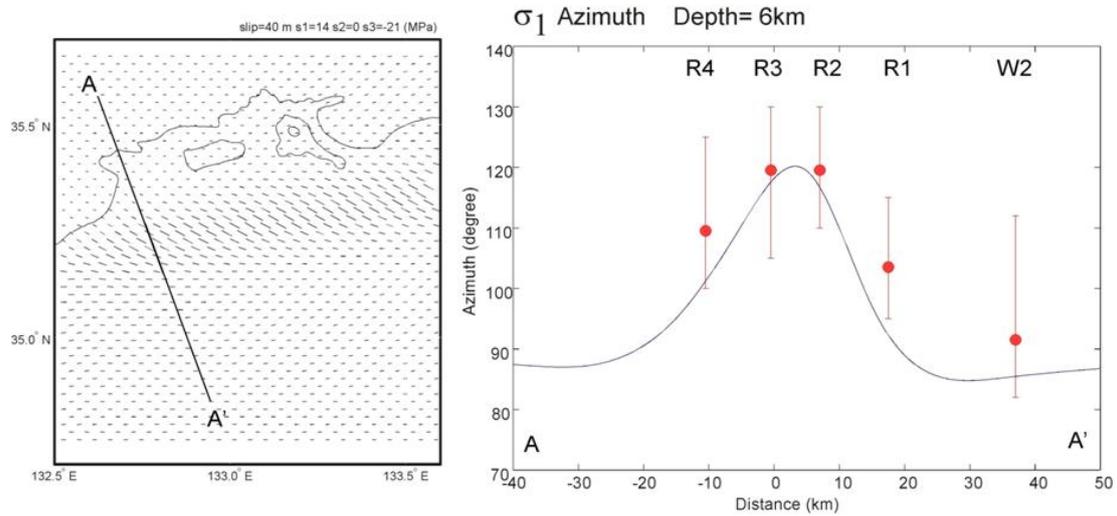


図 2

左：山陰地方の地震帯とその周辺における応力場（計算値）．深さ 6km における最大主圧縮応力の方位とその相対的な大きさ変化が示されている．右：応力逆解析結果（赤丸）と計算結果（左図の測線 AA'）との比較．エラーバーは 95%信頼区間．Kawanishi et al.(2009) の中国地方広域 (W2) の結果も示されている (水平位置は仮定) ．

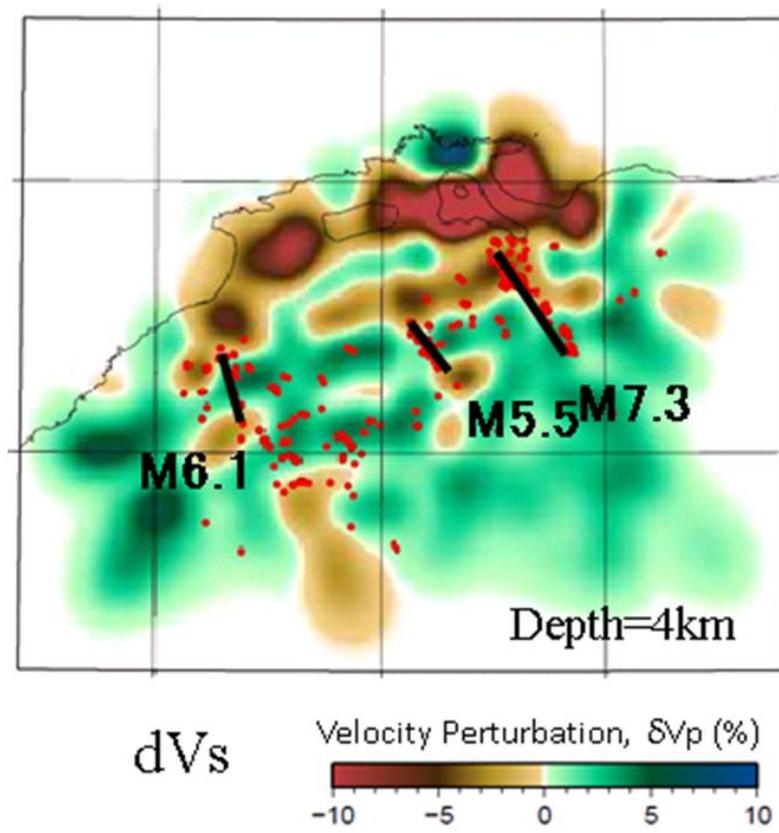


図3 深さ 4km における S 波速度偏差 .
断面から深さ 0.5km 以内の微小地震の震源がプロットされている .

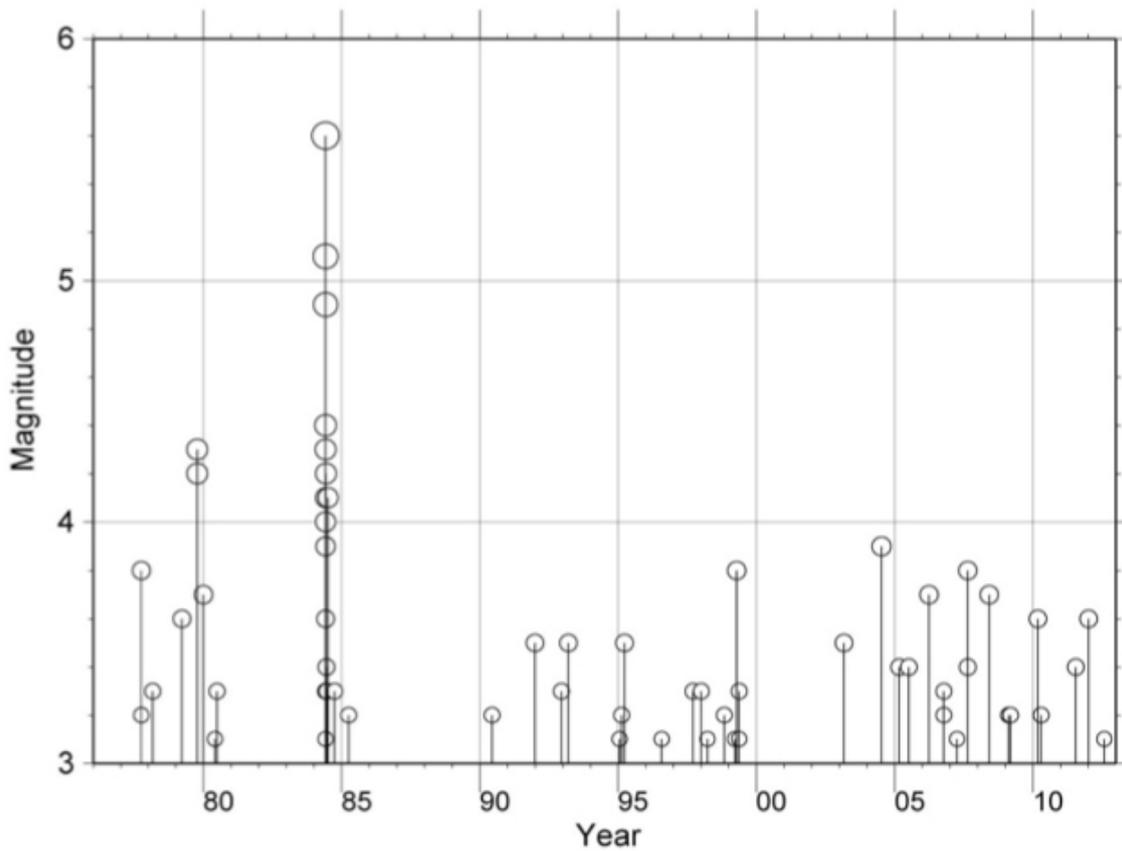


図4 山崎断層周辺の1976年～2012年の地震 ($M > 3$) の発生の様子。横軸は時間、縦軸はマグニチュード。

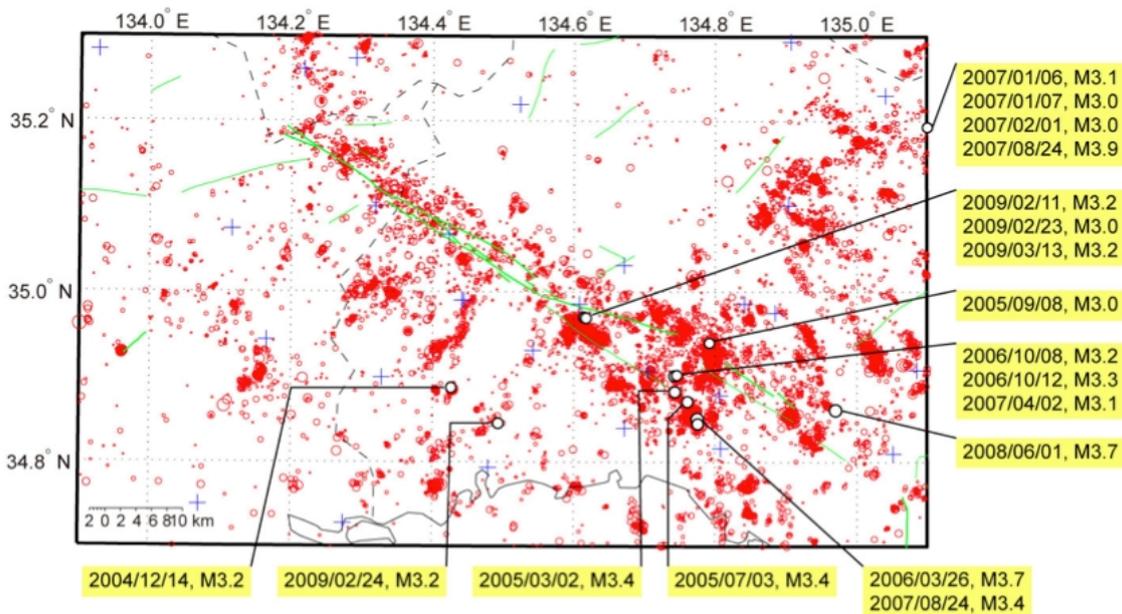


図5 山崎断層周辺の最近の地震活動 ($M3$ 以上の地震)。2004年12月～2009年7月の震央をプロットした。

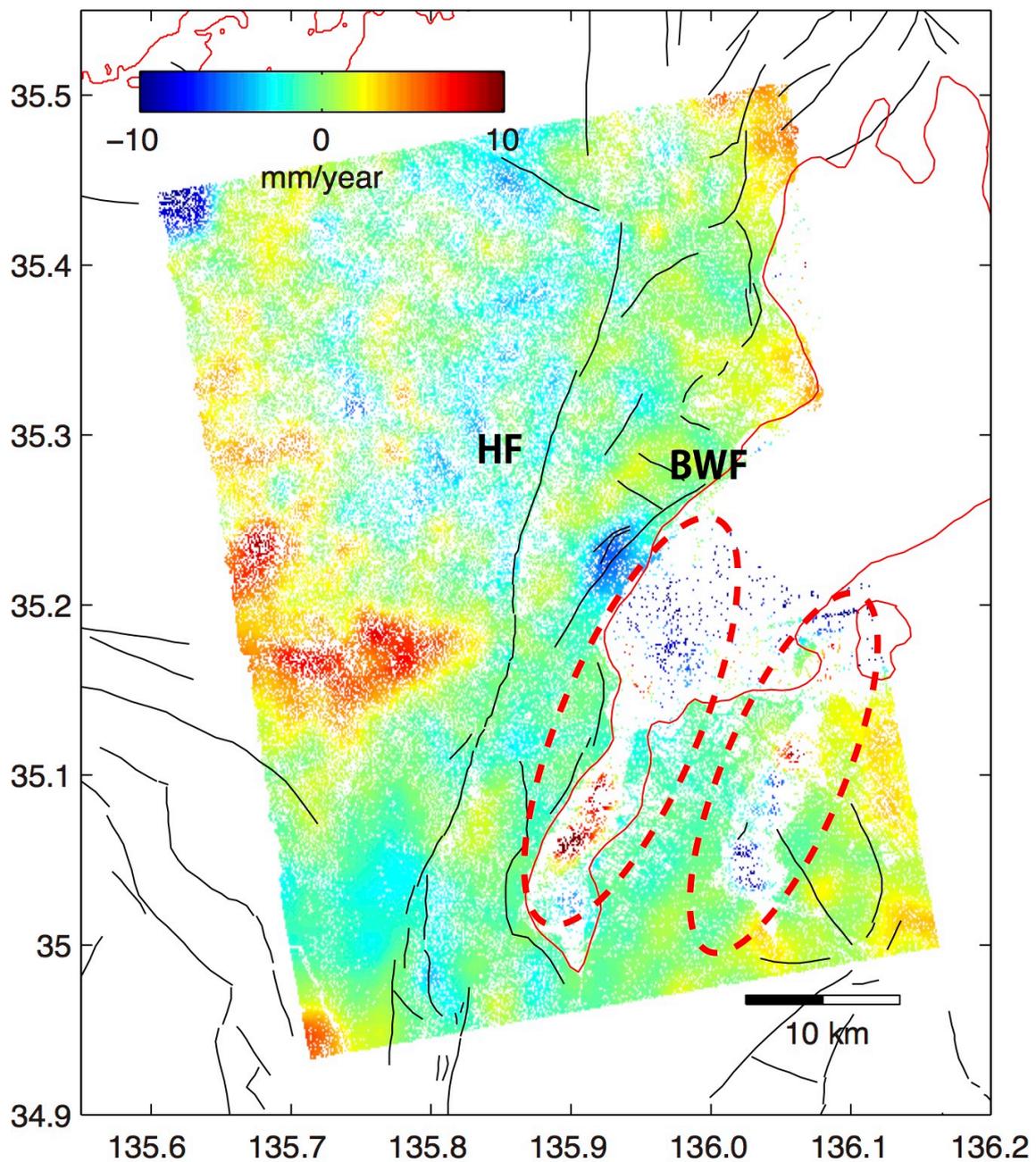


図6 InSAR 時系列解析により求めた琵琶湖西岸地域の活断層周辺における平均変位レート。
 図中のカラーバーの単位は mm/year で、時系列データとしては、2006 年 12 月から 2010 年 10 月に北行軌道から撮られた 21 枚の ALOS/PALSAR 画像を用いている。