

2. 平成 12 年（2000 年）鳥取県西部地震（2000 年 10 月 6 日，M7.3）

瀬谷 拓郎（京都大学防災研究所地震予知研究センター）

1. はじめに

平成 12 年（2000 年）鳥取県西部地震は，2000 年 10 月 6 日 13 時 30 分に鳥取県西部から島根県東部にかかる地域を震源として発生した（図 1）．気象庁マグニチュード（以下 Mj と記す）は 7.3，モーメントマグニチュードは 6.6 と推定された．

この地震では，日野町根雨と境港市東本町で震度 6 強を観測するなど，中国，四国，近畿地方を中心に関東地方から九州地方にかけての広い範囲で有感となった．被害としては，負傷者 182 名，全壊家屋 435 戸，半壊家屋 3,101 戸，斜面崩壊・落石による道路・鉄道の不通，ライフライン被害約 15,000 件，海岸部での液状化などが報告されている¹⁾．

2. 地震発生の背景

近畿から中国地方にかけての日本海側の海岸線にほぼ平行して微小地震が帯状に分布している．この地震帯では，東から 1927 年北丹後地震（M7.3），1943 年鳥取地震（M7.2），880 年出雲地震（M7.0），1872 年浜田地震（M7.1）というように M7 級の地震が 4 つ発生していた．2000 年

鳥取県西部地震は，出雲地震の近くで発生したことになるが，出雲地震の震源位置が不明であるため，両者が同じ断層で発生したかどうかはわからない．

2000 年鳥取県西部地震の震源域周辺では，1983 年に鳥取県中部の地震（Mj6.2）や 1991 年に島根県東部の地震（Mj5.9）が発生した．さらに震源域では，1989 年と 1990 年と 1997 年に Mj=5.1～5.4 の主震 6 個を含む群発的な地震活動が発生した²⁾．これらと鳥取県西部地震の関係については後ほど議論したい．

近畿地方北部から中国地方にかけての地域の応力場は東西圧縮場であると考えられる．このことは，この地域に発生したほとんどの地震の発震機構がほぼ東西方向の P 軸をもつことからわかる．この東西圧縮場の成因としては，この地域を含むアムールプレートが東進し，新潟～神戸歪集中帯においてそれ以東のブロックと衝突しているためと考えられている．ところが，2000 年鳥取県西部地震の震源域では，直前 2 年間（1997 年～1999 年）の歪速度も過去 100 年間（1883 年～1994 年）の蓄積歪も小さかったことが報告されている³⁾．

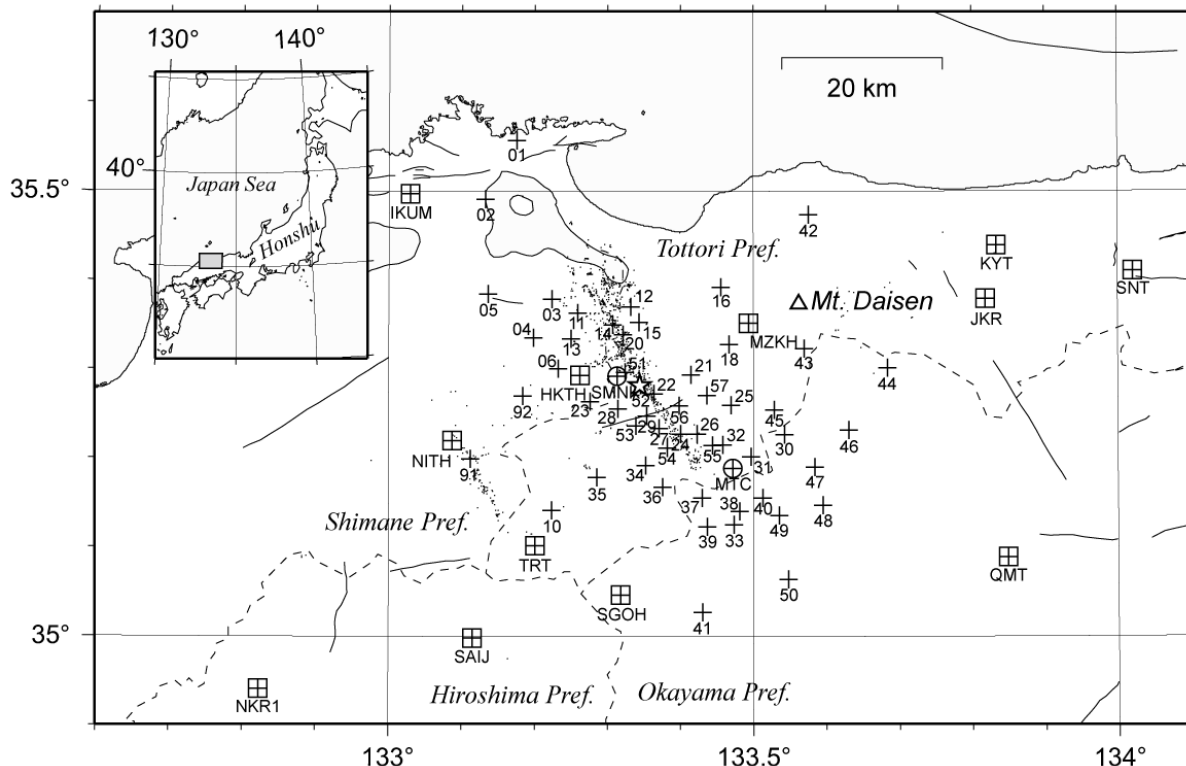


図 1 2000 年鳥取県西部地震の震源域．星印が震央（破壊開始点）．ドットで余震を示す．プラスはオフラインの臨時観測点．丸付きのプラスは衛星テレメータの臨時観測点．四角付きのプラスは定常観測点．実線は活断層トレース．破線は県境．

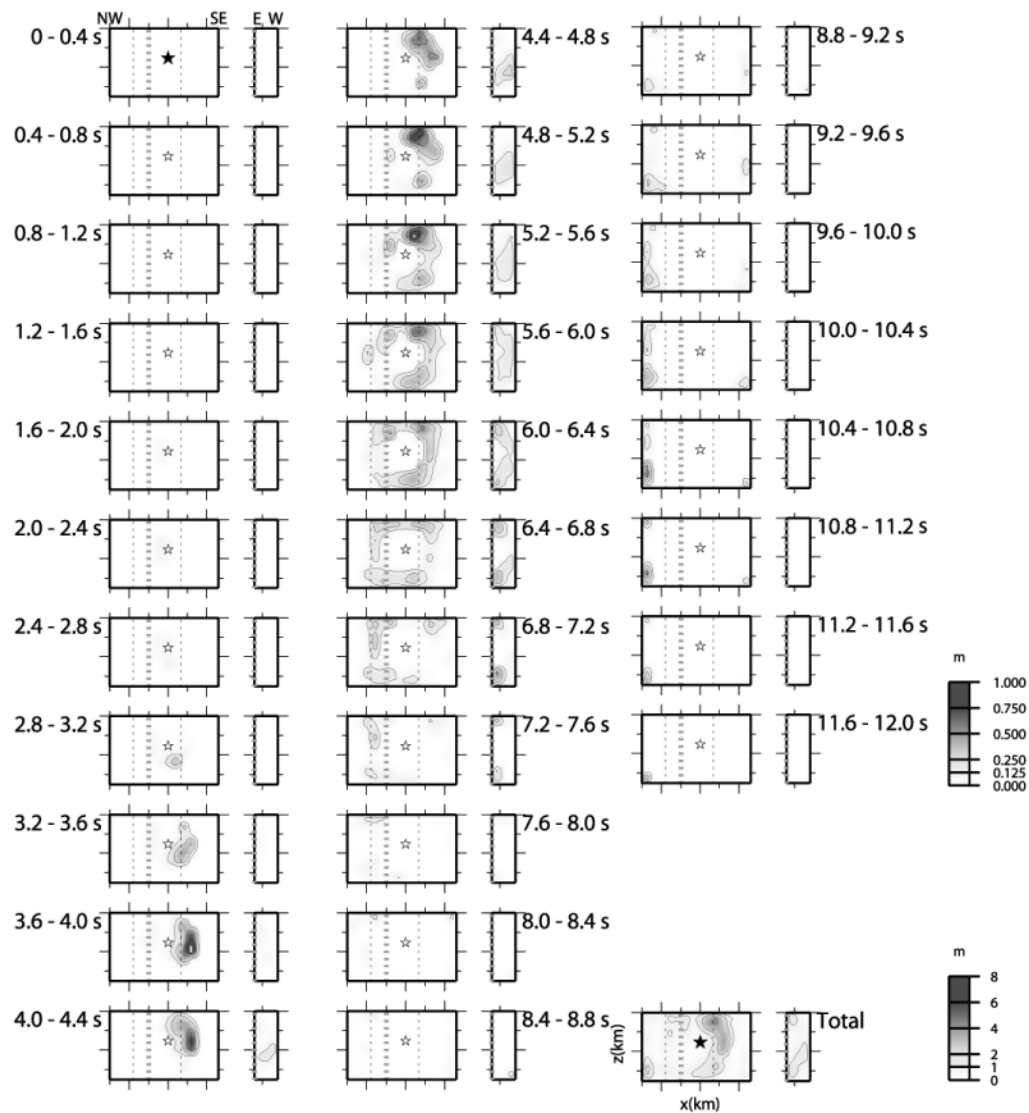


図2 本震の破壊過程. 破壊開始から12秒後まで, 0.4秒ごとの破壊進展の様子. 右下はトータルのすべり分布. 星印が破壊開始点. ひとつのスナップショットにおいて, 左側が本震断層でのすべり分布, 右側が分岐断層での分布.

2000年鳥取県西部地震震源域における活断層としては, 震央の南東約4kmのところに北東-南西方向の走向をもつ確実度Ⅲの鎌倉山南方断層⁴⁾があるが, 発震機構や余震分布などから推定される鳥取県西部地震の断層モデルとは合致しない.

3. 本震の破壊過程

1995年に大きな被害を出した兵庫県南部地震以後, 地震観測等の強化が図られた. 2000年鳥取県西部地震は, 観測網の整備後に最初に発生したM7級の inland 地震であった. それゆえ, この地震の破壊過程は, 震源域やその周辺の多数の観測点で得られたデータを用いて, 詳細にモデリングされた.

岩田・関口(2002)⁵⁾は, K-NETとKiK-netの強震データ, および気象庁震度計の波形データと, GEONETによる地表変位の水平変動データ, および水準測量による上下変動データを用いたインバージョンにより本震の破壊過程を推定した. その結果を図2に示す. この図から, 破壊開始後3秒間は小さなすべりの破壊が比較的ゆっくりと伝播し, その後破壊開始点の南東側の少し深い位置から大きなすべりをもつ主破壊が上方に伝播していく様子が見てとれる.

4. 余震分布

地震発生直後の余震分布は, 本震震央の北西側約5kmから南東側約10kmまでの範囲であった. 数時間後までは

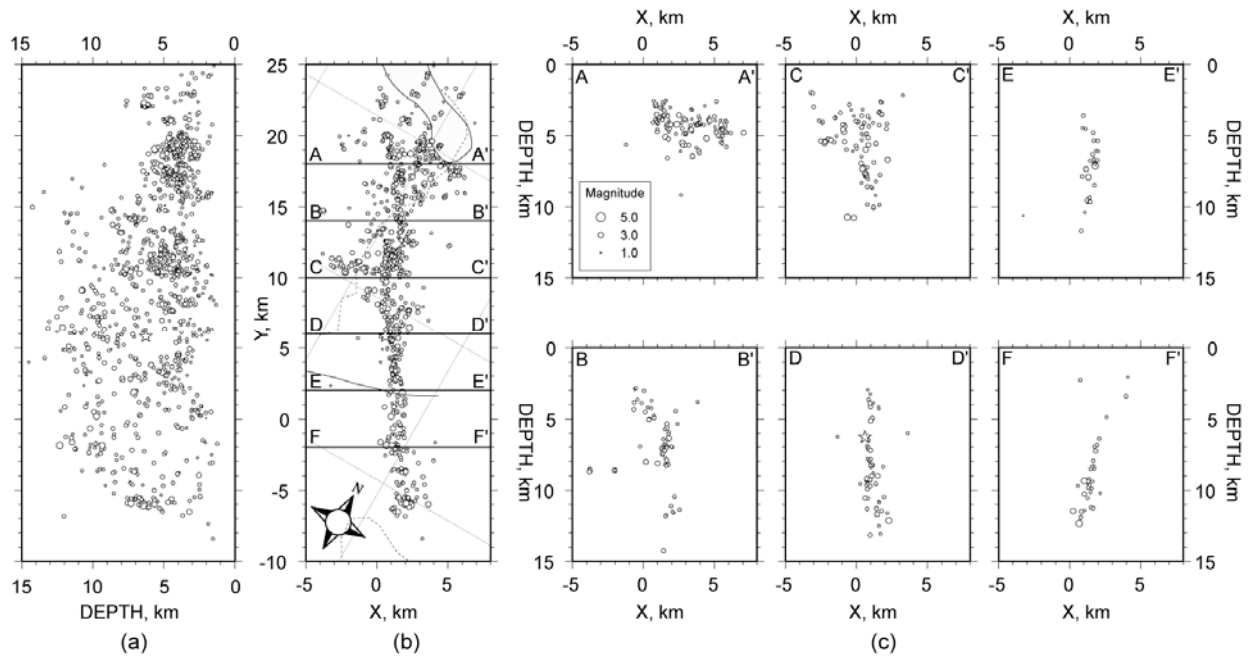


図3 余震分布. 2000年10月15日から10日間に発生した $M_j \geq 1.7$ の余震約1,000個を用いた走時トモグラフィーにおいて不均質速度構造とともに求められた. (a)断層面に沿う断面での深さ分布. (b)震央分布. Y軸は北から 30° ほど反時計回りに回転している. (c)断層面に直交するAA'からFF'までの6断面での深さ分布. 各断面を中心として $\pm 1\text{km}$ の範囲の地震をプロットした.

北西側と南東側に少し拡大した. それ以後は北東側への拡大が顕著であった⁶⁾.

4.1 稠密余震観測

地震発生から1週間後の10月13日から臨時地震観測が行われた⁷⁾. この余震観測では, 54のオフライン観測点と2つの衛星テレメータ観測点を臨時に展開した. 加えて震源域とその周辺に展開されている12の定常観測点も組み入れ, 全部で68点からなる地震観測網を構築した(図1). 観測点間の平均間隔は, 震源域で4~5km, 周辺域で10~20kmであった. 臨時観測は12月初旬まで約1か月半行われた.

Shibutani et al. (2005)⁷⁾は, 10月15日からの10日間に発生した $M_j \geq 1.7$ の余震約1,000個の読み取りを行い, 走時トモグラフィーにより震源パラメータと3次元速度構造の同時推定を行った. 得られた余震分布を図3に示す.

4.2 余震分布

図3bの震央分布を見ると, 星印で示す本震の北西側CC'から南東側FF'までの範囲で直線性がよいことがわかる. この範囲は上述の地震発生直後の余震分布域にほぼ対応する. また, CC'付近で南西方向への分岐断層が見られる. CC'より北西側では, 分布の直線性が失われている.

図3aの断層面に沿う深さ分布でもCC'からFF'まで

の範囲では, 余震が深いところまで分布し, その外側ではしだいに浅くなっていることが見て取れる. BB'より北西側ではほとんどの余震が7km以浅で発生している.

図3cに示す断層面に直交する深さ分布では, 本震の破壊開始点付近のDD'断面で断層面はほぼ垂直であり, DD'より南東側では, 北西方向に傾斜していることがわかる.

5. 震源域の不均質構造

走時トモグラフィーの結果得られた不均質速度構造の断層面に沿う断面での深さ分布を図4に示す. 高速度異常域が, 星印で示す本震の破壊開始点を挟むように2つ, さらに余震域南東端に1つ, パッチ状に存在している. 速度異常の大きさは+4%以上に達し, 上部地殻でありながらP波速度にして6.5km/s程度の値をもつ. V_p/V_s 比も1.75と下部地殻なみの値をもつ. 南東端の高速度異常域は地表付近まで達していて, 表層地質と比較すると, 白亜紀後期の深成岩や高压型の三郡変成岩に対応する. おそらく他の2つの高速度異常域もこのような種類の岩体で構成されているものと考えられる. これらの高速度異常域に囲まれるように存在する低速度異常域は, 古第三紀初期に貫入したとされる根雨花崗岩体に対応するものと考えられる.

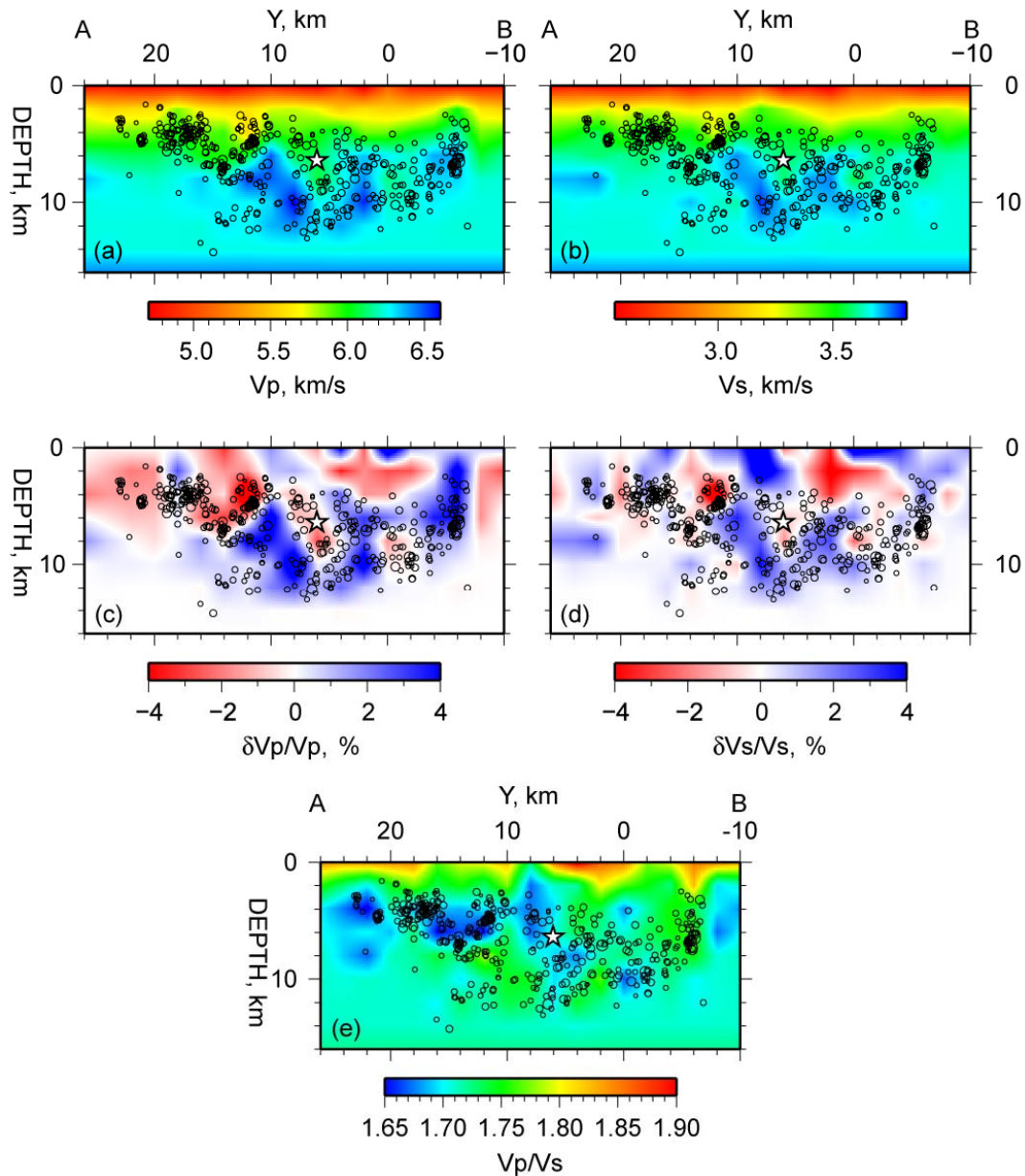


図4 本震断層面に沿う断面における地震波速度不均質分布. (a)P波速度. (b)S波速度. (c)P波速度の偏差. (d)S波速度の偏差. (e)P波速度とS波速度の比. 星印は破壊開始点. ○はこの断面の±1km内に発生した余震.

5.1 先駆的群発地震との関係

本論第2節で述べたように、震源域では、1989年と1990年と1997年に $M_j=5.1\sim 5.4$ の主震6個を含む群発的な地震活動が発生した²⁾。これらの活動を先駆的群発地震と呼ぶことにする。これらの地震の震源を前節で求めた不均質速度構造を用いて再決定した。その結果、先駆的群発活動は2000年鳥取県西部地震の断層面上で発生していたことがわかった。再決定された震源を群発的活動の期間ごとに、前節で示した断層面に沿うP波速度不均質分布に重ねて示すと図5のようになる。1989年の活動は2000年の本震破壊開始点の南東側にある高速度異常域に集中し、1990年の活動は破壊開始点近傍の低速度異常

域に集中している。このことは、不均質構造が先駆的群発活動の発生様式に影響を及ぼしたことを示唆する。

5.2 本震の破壊過程との関係

第3節で述べた本震のすべり分布をP波速度不均質分布に重ねて示すと図6のようになる。すべり量は低速度異常域で大きく、高速度異常域で小さい。あたかも本震の破壊が高速度異常域を避けて起きたように見える。上で述べたように、高速度異常域は古い時代に地下深部で形成された深成岩や変成岩に対応し、低速度異常域は比較的新しい時代に貫入した花崗岩体に対応すると考えられる。ここで述べたすべり分布と不均質構造の関係は、このような岩体の強度の違いで説明できるものと考えら

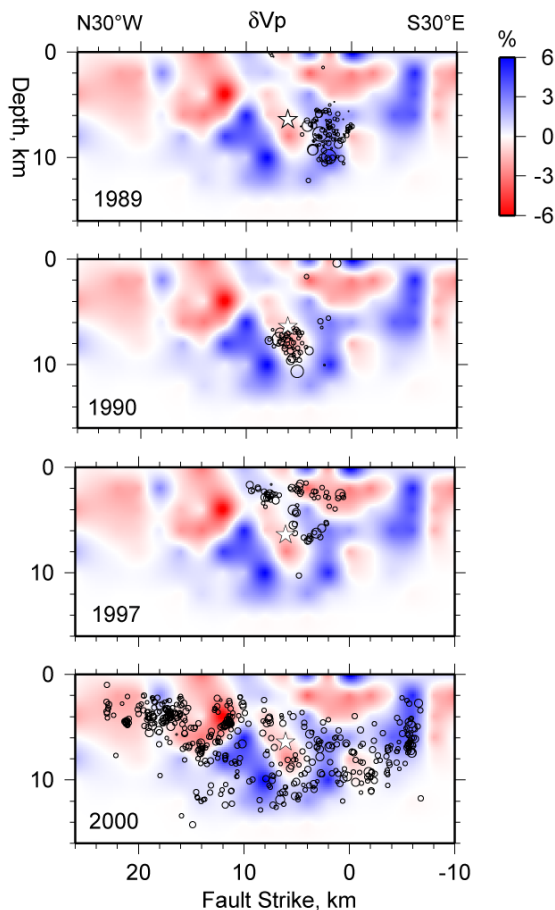


図5 先駆的群発地震の活動域と断層面でのP波速度不均質構造との関係. 上から1989年, 1990年, 1997年の群発地震, および2000年の余震を○で示す. 星印は2000年の本震の破壊開始点.

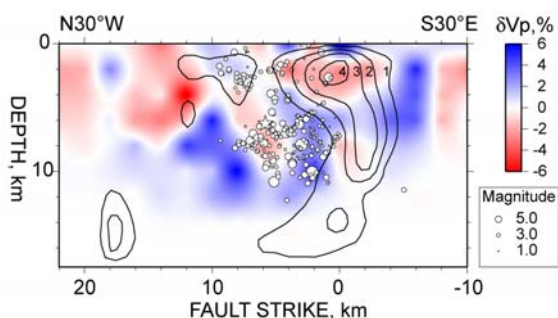


図6 本震のすべり分布と断層面でのP波速度不均質構造との関係. コンターですべり分布を表す. コンターの数値はトータルのすべり量(m). 星印は本震の破壊開始点. 白丸は先駆的群発地震.

れる.

図6には, 本震の破壊開始点(星印)と先駆的群発地震(白丸)が重ねて示されている. 本震の破壊過程と先駆的群発活動, および不均質構造の関連性をまとめると,

以下のように言うことができる. すなわち, 破壊開始後3秒間は小さなすべりの破壊が, 先駆的群発地震の発生域を比較的ゆっくりと伝播し, その後破壊開始点の南東側の少し深い位置から大きなすべりをもつ主破壊が, 高速度異常域の間を縫うように上方に伝播して, 浅いところにある低速度異常域において大きなすべりを解放した.

5.3 余震分布との関係

分岐断層より北西側の領域は, 広範囲に低速度異常を示す. この領域の地質は初期～中期中新世の非アルカリ岩または火山砕屑岩であり, この領域の南側の花崗岩体とは異なる. すなわち, 分岐断層は地質境界に発達したと言うことができる.

余震の分布の仕方を細かく見ると, 4%以上の高速度異常域には余震がほとんど発生していないことがわかった.

6. おわりに

上で述べたように, 2000年鳥取県西部地震は, 地震観測やGPS観測の基盤観測網が整備された後に発生した最初のM7級の内陸地震であった. これらの定常観測のデータを用いて, 断層モデルや破壊過程を精度よく推定することができた. 加えて, 大学等による合同稠密余震観測により震源域の地震波速度の詳細な不均質構造が推定された.

ここで紹介したこれらの研究成果のうち, 次の2点を重要なポイントとして挙げたい. すなわち, (1)先駆的群発地震の活動域が不均質構造の影響を受けた可能性があること, および(2)本震の破壊過程が不均質構造によって拘束された可能性があることである.

2000年鳥取県西部地震の約10年前から始まった先駆的群発活動におけるM5級の主震が, なぜM7級の地震に成長しなかったのかという疑問に対しては, 断層面上の不均質構造が破壊の伝播を妨げたためであろうと答えることができる.

断層面上の不均質構造が破壊過程に影響を与え得ることから, 逆に, 地震前にあらかじめ断層面上の不均質構造を推定できれば, 破壊様式などを推測することが可能であると考えられる. ただし, 数多く発生する余震を使わずに断層近傍の不均質構造を推定するためには, 観測点の数を1桁以上増やす必要があると思われる. さらに, 2000年鳥取県西部地震の場合は, 高速度異常域ではすべり量が小さくバリア的であったが, 他の地震では, 高速度異常域ですべり量が大きくアスペリティ的であるという事例も報告されている. この点については, 今後事例を増やして, 高速度異常域がどのような場合にバリア的に働き, どのような場合にアスペリティ的に働くかを探っていく必要があると考える.

参考文献

- 1) 鳥取県防災局防災危機管理課, 2007. 平成 12 年 (2000 年) 鳥取県西部地震震災誌, p. 156.
- 2) Shibutani, T., S. Nakao, R. Nishida, F. Takeuchi, K. Watanabe and Y. Umeda, 2002. Swarm-like seismic activity in 1989, 1990 and 1997 preceding the 2000 Western Tottori Earthquake. *Earth Planets Space*, **54**, 831-845.
- 3) 国土地理院, 2001. 中国地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **65**, 592-618.
- 4) 活断層研究会, 1991. 新編日本の活断層, 東京大学出版会, p. 440.
- 5) 岩田知孝・関口春子, 2002. 2000 年鳥取県西部地震の震源過程と震源域強震動, 月刊地球, 号外 **38**, 182-188.
- 6) Ohmi, S., K. Watanabe, T. Shibutani, N. Hirano, and S. Nakao, 2002. The 2000 Western Tottori Earthquake – Seismic activity revealed by the regional seismic network –. *Earth Planets Space*, **54**, 819-830.
- 7) Shibutani, T., H. Katao, and Group for the dense aftershock observations of the 2000 Western Tottori Earthquake, 2005. High resolution 3-D velocity structure in the source region of the 2000 Western Tottori Earthquake in southwestern Honshu, Japan using very dense aftershock observations. *Earth Planets Space*, **57**, 825-838.