

### 3. 4. 2. 2 活断層における地震活動特性・発震機構等の不均質性に関する研究

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目：活断層における地震活動特性・発震機構等の不均質性に関する研究

(b) 担当者

| 所属機関      | 役職  | 氏名   | メールアドレス                          |
|-----------|-----|------|----------------------------------|
| 京都大学防災研究所 | 助教授 | 澁谷拓郎 | shibutan@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp |
| 京都大学防災研究所 | 助教授 | 竹内文朗 | takeuchi@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp |
| 京都大学防災研究所 | 助教授 | 片尾 浩 | katao@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp    |
| 京都大学防災研究所 | 助教授 | 飯尾能久 | iio@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp      |

(c) 業務の目的

活断層における地震活動の解析（高精度の震源再決定、地震活動度および  $b$  値の空間分布、微小地震の発震機構解の空間分布、等）から、活断層に沿った不均質な地震活動、応力場の特性を抽出し、強震動予測のための震源モデルにおける断層パラメータの推定、特に破壊開始点および主破壊域（アスペリティ）の推定に寄与することを目的とする。

(d) 5 年間の年次実施計画

- 1) 平成 14 年度：解析手法の検討、データのコンパイル、処理・解析プログラムの準備、等を実施した。
- 2) 平成 15 年度：山崎断層における JHD 法震源再決定およびアスペリティ位置の推定を行った。丹波山地を中心とする近畿圏の地震発震機構解のデータベース整備を行った。
- 3) 平成 16 年度：山崎断層における高精度震源分布および  $b$  値の詳細な分布に基づいて、断層近傍の応力状態と破壊開始点を推定した。近畿圏の発震機構解のデータベースを拡充し、活断層に沿った応力場について詳細に検討した。
- 4) 平成 17 年度：琵琶湖西岸断層帯、花折断層帯について、高精度震源分布および  $b$  値の詳細な分布に基づいてアスペリティ、破壊開始点を推定した。発震機構解のデータベースを拡充するとともに、応力テンソルインバージョンにより、近畿圏中央部の応力場の時空間特性を検討した。
- 5) 平成 18 年度：有馬高槻構造線周辺の地震や  $b$  値不均質分布を求め、アスペリティや破壊開始点を推定した。近畿地方中央部の主な活断層周辺の微小地震の発震機構と断層不均質構造の関係について検討した。

(e) 平成 18 年度業務目的

有馬高槻構造線周辺域の地震を JHD により再決定し、得られた精度のよい震源分布に基づいて、断層近傍の地震や  $b$  値の不均質分布を求める。(1) 応力集中が起きていると考

えられる低  $b$  値域＝破壊開始域、(2) 断層間のカップリングが強く定常的な地震があまり発生しない低地震活動域＝アスペリティ、という半経験則を用いて、将来の大地震における破壊開始点とアスペリティの位置などを推定する。近畿地方中央部の主な活断層周辺の微小地震の発震機構と断層不均質構造の関係について検討を行う。

## (2) 平成 18 年度の成果

### (2-1)活断層帯の微小地震の活動特性

澁谷拓郎（京都大学防災研究所）  
shibutan@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp  
竹内文朗（京都大学防災研究所）  
takeuchi@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp  
片尾 浩（京都大学防災研究所）  
katao@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

#### (a) 業務の要約

有馬・高槻構造線周辺地域の 30 年間の地震に対して JHD による震源再決定を行った。得られた精度のよい震源分布に基づいて、有馬・高槻断層帯に対して断層近傍の地震分布の不均質性および  $b$  値の水平不均質性の評価を行った。

如意谷断層付近に地震の低活動域が検出された。この領域の  $b$  値はやや高い値(1.15)を示すが、これは大きめの地震の発生が少ないためであり、 $M>3$  の地震はほとんど発生していない。このような低活動域は断層のカップリングが大きい状態にあり、アスペリティの候補と考えられる。

断層帯東端部に  $b$  値の小さな領域( $b=0.78$ )が検出された。高い応力状態にあると考えられ、破壊開始点の候補である。

#### (b) 業務の実施方法

##### はじめに

強震動の予測に用いられる震源モデルにおいては、想定地震断層の位置、長さ、幅、走向、傾斜や地震モーメントなどの巨視的パラメータに加えて、各断層内のアスペリティの位置、大きさ、個数、応力降下量やすべり速度時間関数などの微視的パラメータと破壊開始点や破壊伝播様式などを与える必要がある。

本研究の目的は、活断層における地震活動の解析から、上記のパラメータのうちのいくつかの決定について有用な情報を提供することである。まず、巨視的パラメータのうちの断層の位置、長さ、走向、幅、傾斜については、地震分布と活断層図などの情報とあわせることにより、推定することが可能である。さらに、アスペリティの位置、大きさ、個数という微視的パラメータについては断層面近傍での地震活動の不均質分布から、破壊開始セグメントについては  $b$  値の空間分布の不均質性から、推定できると考えられる。本研究では、Joint Hypocenter Determination (JHD)法(Kissling et al., 1994<sup>1)</sup>)により震源精度(とくに深さ精度)を改善したデータを用いて、地震活動や  $b$  値の不均質分布からアスペリティの位置、大きさ、個数や破壊開始点の位置を推定する手法についての研究を行う。

#### 有馬・高槻構造線周辺域における地震活動解析

有馬・高槻断層帯は、北摂山地と大阪平野の境界部にほぼ東北東 - 西南西に延びる全長約 55km の活断層帯である。右ずれ北側隆起で活動度は高い。東部は過去 3 千年間に 3 回活動していて、最新は 1596 年の慶長伏見地震と推定される（地震調査委員会, 2001<sup>2)</sup>）。

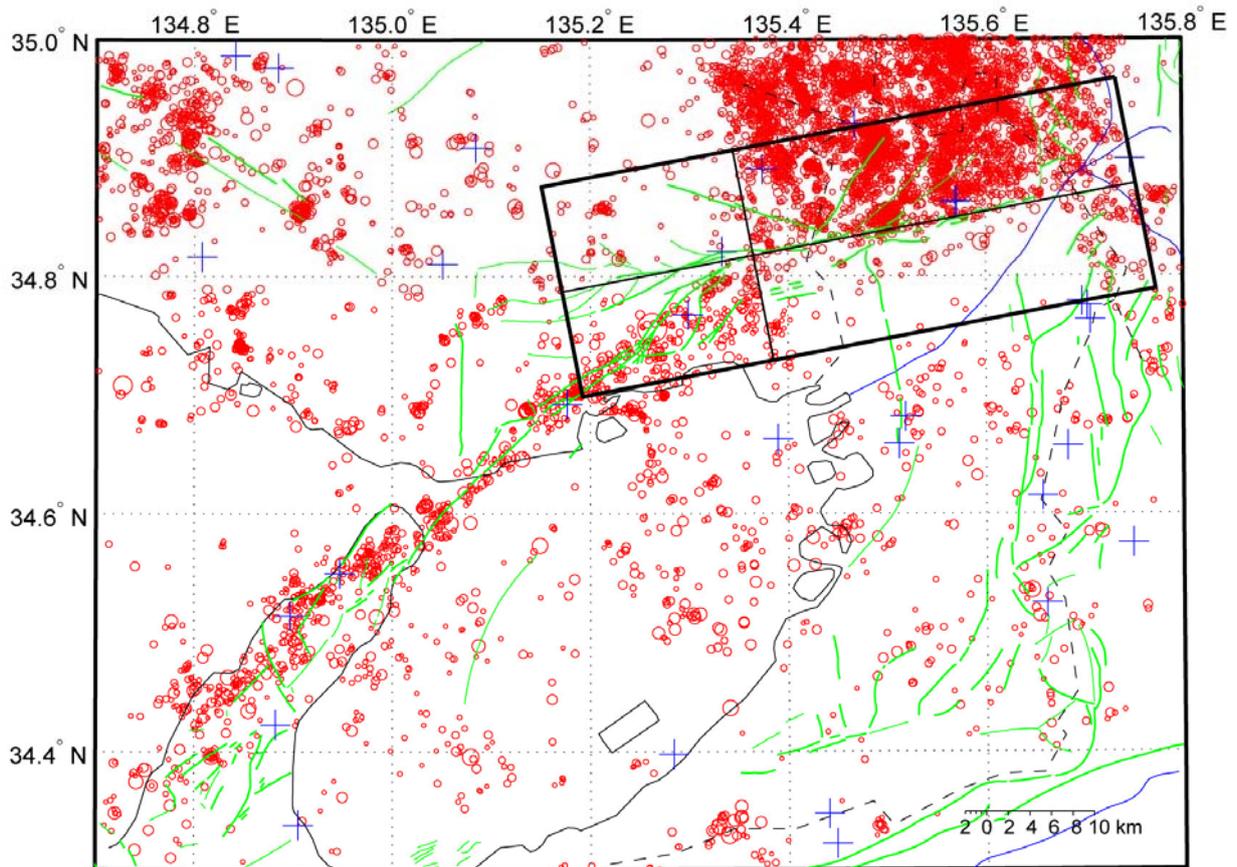


図1 震源再決定を行った領域。赤丸は再決定した地震の分布。青い+は用いた観測点。緑の実線は活断層。波線は県境。青い実線は河川。太線で囲った領域を有馬・高槻断層帯の周辺域とし、本研究の対象領域とする。細い実線のうち有馬・高槻断層帯に沿うものを x 軸、それに直交するものを y 軸とする。

本研究では、京都大学防災研究所地震予知研究センター阿武山観測所と同鳥取観測所の1976年6月から1997年9月までの検測値データと気象庁の1976年6月から2006年4月までの検測値データを統合した。図1に本研究において震源再決定を行った領域を示す。統合した検測値データの中から抽出した約2,400個の地震にJHD法を適用し、観測点補正值と1次元地震波速度構造を求めた。それらを用いて統合データのすべての地震の再決定を行った。さらに、デクラスタ処理(Resenberg, 1985<sup>3)</sup>)を行った。このような処理の結果得られた震源カタログから誤差が1km以下の地震を抽出し、震央分布図や断面図を作成し、地震の空間分布の不均質性について詳細に検討した。

つぎに、有馬・高槻断層帯周辺の解析領域内に2km×2kmのグリッドを配置し、各グリッドを中心とする半径2kmの円筒内に存在する地震に対してb値を最尤法で求めた。この際の地震の最小値は、領域内の全地震のマグニチュード頻度分布から求めた1.05に固定した。地震数が100に満たない場合は、100になるまで半径を大きくする。このようにして得られたb値の水平不均質分布について、地震の不均質分布とあわせて、詳細に検討した。

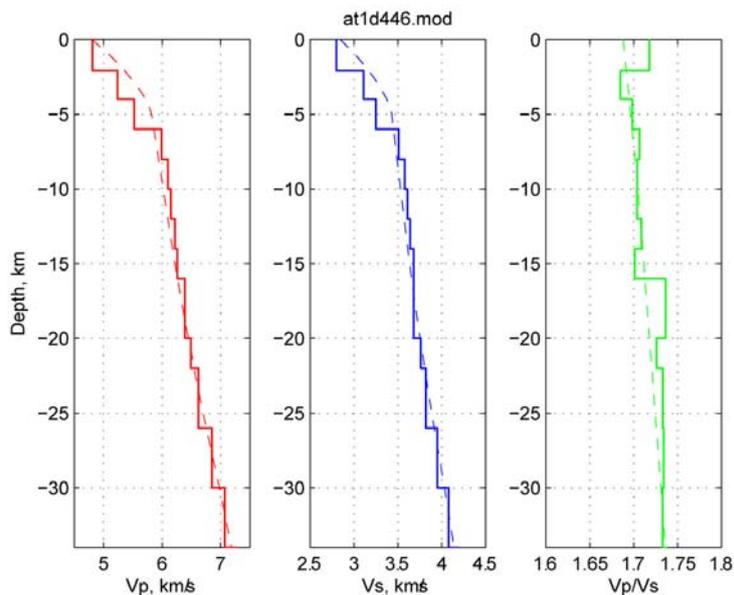


図2 JHD法により求められた1次元速度構造。赤：P波速度、青：S波速度、緑： $V_p/V_s$ 。点線は気象庁の震源決定用速度構造 JMA2001モデル(上野・他, 2002<sup>4)</sup>)。

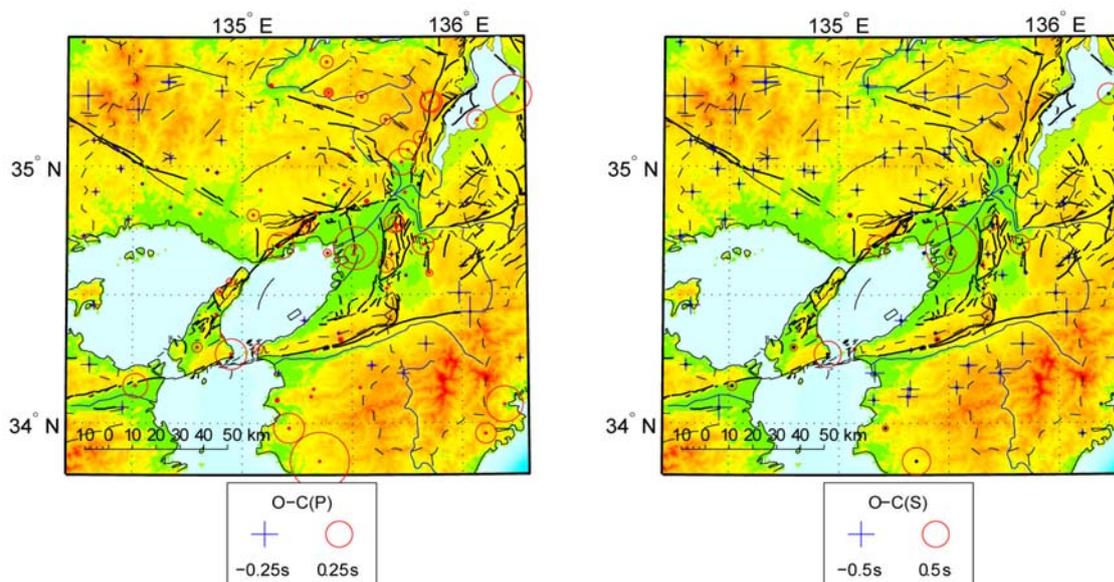


図3 JHD法により求められた観測点補正值。左：P波の走時残差、右：S波の走時残差。

(c) 業務の成果

観測点補正值と1次元地震波速度構造

JHDにより得られた1次元速度構造を図2に示す。点線で示す気象庁の速度構造 JMA2001モデル(上野・他, 2002<sup>4)</sup>)と似た増加傾向を示すが、6kmより浅い部分での値は

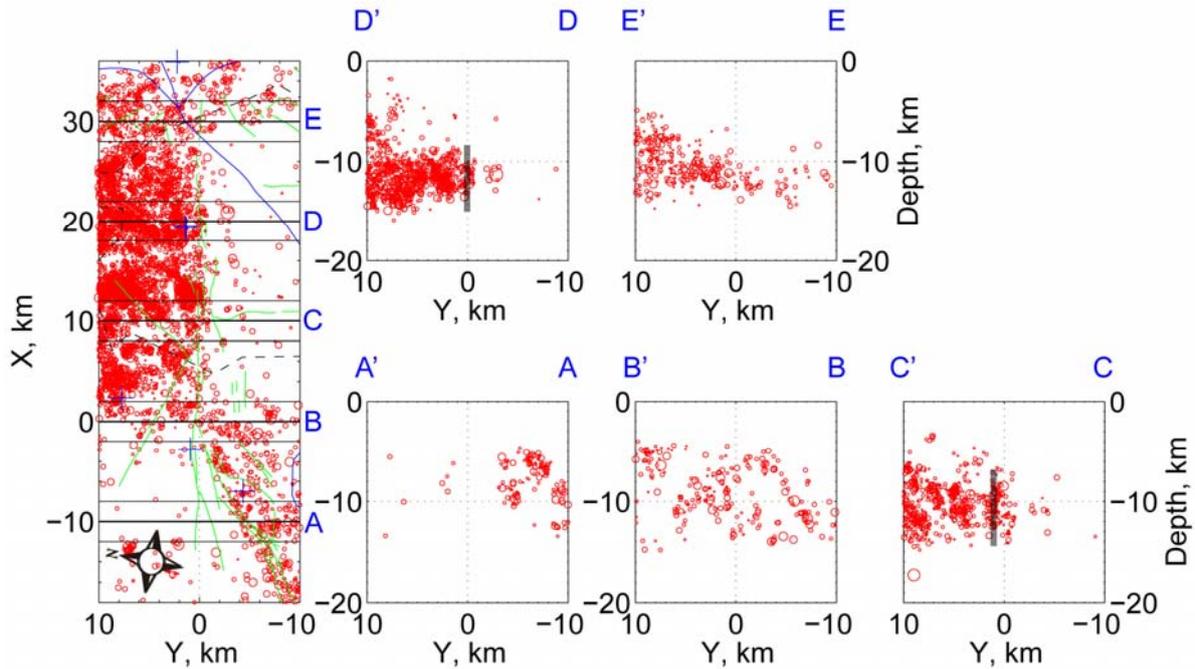


図4 有馬・高槻断層帯周辺の震央分布とそれに直交する5つの断面(AA'~EE')での深さ分布。震央分布図において、青い+は観測点、緑の実線は活断層、黒い破線は県境、青い実線は河川を示す。深さ分布では、各断面の±2kmの範囲内の地震をプロットした。

やや小さめである。 $V_p/V_s$ は4km~16kmで1.70程度、16km以深では1.73程度である。

JHDにより得られた観測点補正値を図3に示す。平野部で正の走時残差、山地部で負の走時残差が見られる。多くの観測点において、S波の観測点補正値はP波の観測点補正値の2倍弱である。これは表層の $V_p/V_s$ が1.72であることに対応している。しかし、丹波山地北部のように、S波の走時残差は負であるのに、P波の走時残差は正であるという地域もあり、表層の $V_p/V_s$ には地域差があることが窺える。

### 地震分布の不均質性

有馬・高槻断層帯周辺の震央分布とそれに直交する5つの断面での深さ分布を図4に示す。BB'断面より東側では、有馬・高槻断層帯近傍の地震活動とその北側の丹波(北摂)山地の地震活動を区別するのは難しい。しかしながら、CC'断面やDD'断面のように、丹波山地の地震活動との間にギャップが見られる箇所もある。このような箇所では、図4に薄い黒線で示すように、ほぼ鉛直に深さ方向に伸びている。一般に、震源決定において深さ方向の精度が落ちることを考えると、上のことから有馬・高槻断層帯の断層面が鉛直であるとは言い切れないが、傾斜を示す特徴もない。ここでは、有馬・高槻断層帯の断層面が鉛直である可能性を指摘したい。BB'断面より西側では、六甲・淡路島断層帯に沿う地震活動は見られるが、有馬・高槻断層帯に沿う地震活動はほとんど見られない。

図5には、有馬・高槻断層帯の走向方向における深さ分布を示す。地震は5km~15kmの深さで発生しているが、東側では10km~15kmに集中する傾向が見られる。六甲・淡

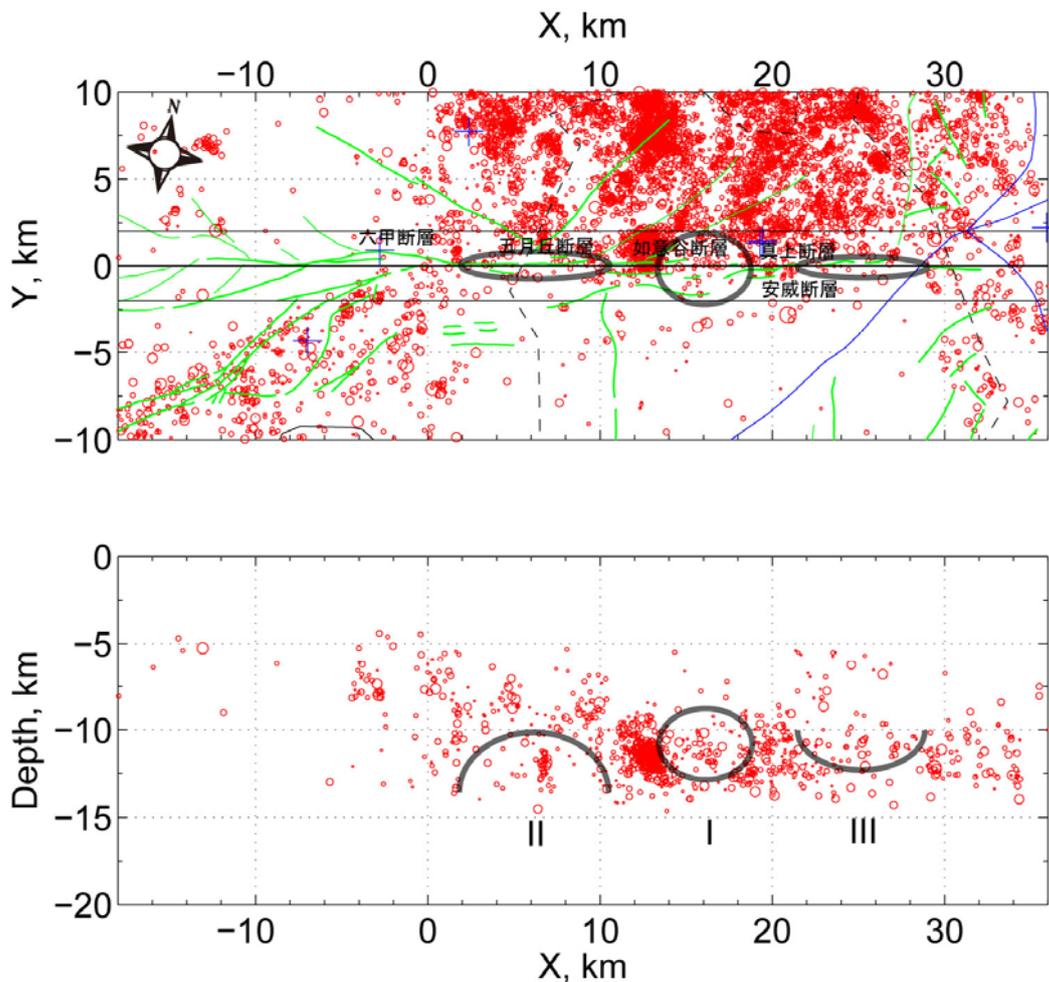


図5 有馬・高槻断層帯周辺の震央分布と断層帯走向方向の断面における深さ分布。震央分布図において、青い+は観測点、緑の実線は活断層、黒い破線は県境、青い実線は河川を示す。深さ分布では、断面の±2kmの範囲内の地震をプロットした。相対的な低活動域をI～IIIで示す。

路島断層帯とのジョイント部に近づくにつれて、5km～10kmでの地震活動度が増す。図5にI～IIIで示す箇所に相対的に地震活動が低い領域が見られる。低活動域Iは如意谷断層とその東側(真上断層・安威断層との間)の領域に対応する。低活動域IIは五月丘断層付近である。低活動域IIIは有馬・高槻断層帯の東端部に当たる。六甲断層の西半分から西側の領域では、上述のように有馬・高槻断層帯近傍では地震活動が非常に低い状態であり、本手法では評価できないので、議論の対象から外す。

### b 値の水平不均質分布

図6にb値の水平不均質分布を示す。低活動域Iはb値がやや高い領域( $b=1.15$ )に対応する。その領域のマグニチュード頻度分布を図6Bに示す。大きめの地震の発生が少ないためにb値が高くなっていて、 $M>2.6$ の地震は解析した30年間に発生していない。断層間のカップリングが強くて、大きな地震が発生しないと考えられる。このような低活動域はアスペリティの候補となり得る。

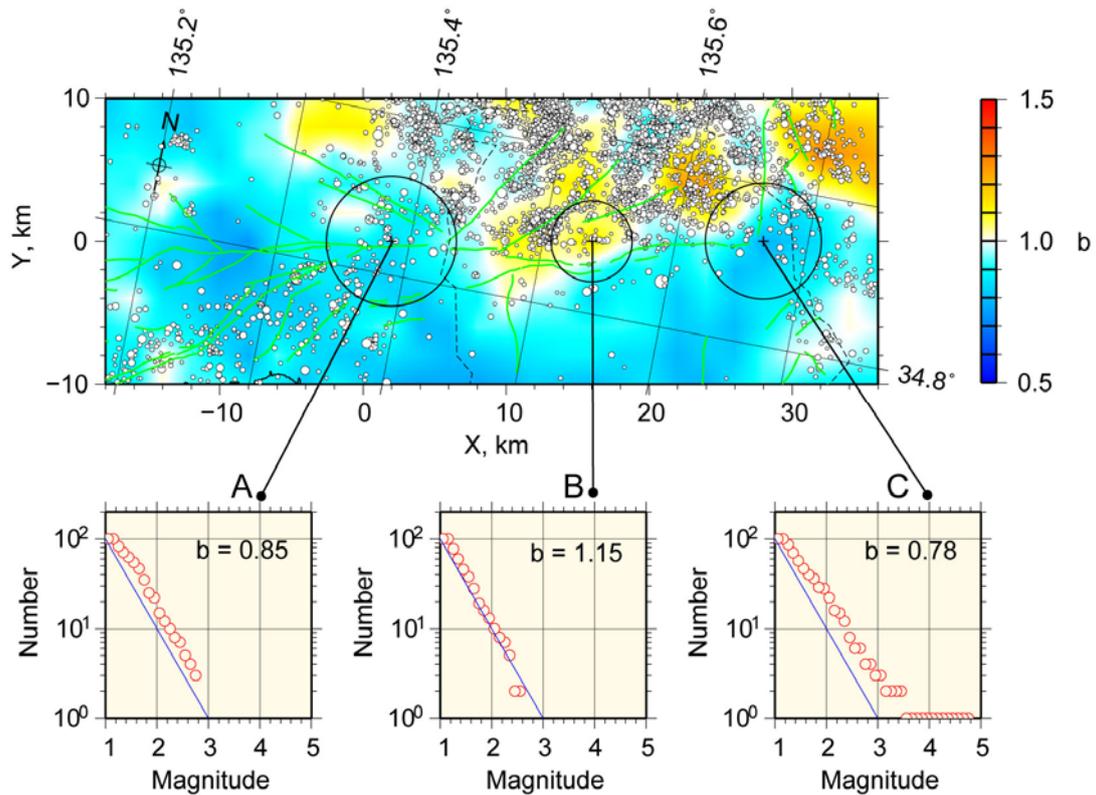


図6 b 値の水平不均質分布と領域 A~C のマグニチュード頻度分布。領域を示す円の大きさは b 値を算出した範囲。緑：活断層、破線：県境。

断層帯東端部では b 値がやや小さな値( $b=0.78$ )をとる。図6 C に示すように、マグニチュードが 1~4 において頻度分布の傾きが 1 より小さくなっている。低 b 値は高応力状態を示し(Scholz, 1968<sup>5)</sup>、1999 年 Izmit 地震や 2000 年鳥取県西部地震では破壊開始点に対応した(Westerhaus et al., 2002<sup>6)</sup>; Shibutani et al., 2002<sup>7)</sup>)。したがって、有馬・高槻断層帯東端部は破壊開始点の候補となり得る。

六甲断層付近にも b 値がやや小さい値( $b=0.85$ )をとる領域がある。この領域のマグニチュード頻度分布を図6 A に示すが、傾きが小さいのは  $1 < M < 2$  の範囲であり、最尤法による b 値の推定においてマグニチュードの最小値の設定に問題がある可能性がある。したがって、この領域は破壊開始点の候補とは考えない。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

如意谷断層付近に地震の低活動域が検出された。この領域の b 値はやや高い値(1.15)を示すが、これは大きめの地震の発生が少ないためであり、 $M > 3$  の地震はほとんど発生していない。このような低活動域は断層のカップリングが大きい状態にあり、アスペリティの候補と考えられる。断層帯東端部に b 値の小さな領域( $b=0.78$ )が検出された。高い応力状態にあると考えられ、破壊開始点の候補である。

30 年という長期間の震源データに対して JHD 法を適用して再決定することにより、過去にさかのぼって、震源の絶対精度を向上させることができた。再決定した震源データに基づき、活断層近傍での地震や b 値の不均質分布を解析することにより、将来の大地震時

におけるアスペリティや破壊開始点の推定を試みた。山崎断層帯、琵琶湖西岸断層帯、花折断層帯、有馬・高槻断層帯での解析を通して共通して見られた特徴は、低活動かつ高  $b$  値を示す領域があり、この領域では大きな地震が発生していないということである。このような低活動域では、断層のカップリングが大きい状態にあり、アスペリティの候補と考えられる。もうひとつの共通する特徴は、断層帯あるいはセグメントの端部には低  $b$  値域が検出されたということである。このような低  $b$  値域は破壊開始点の候補と考えられる。当初の目的をほぼ達成できたと考える。さらに、より直接的に応力状態を知るために、震源メカニズムの解析研究とのリンクが必要である。

(e) 引用文献

- 1) Kissling, E., Ellsworth, W. L., Eberhart-Phillips, D. and Kradolfer, U.: Initial reference models in local earthquake tomography, *J. Geophys. Res.*, Vol. 99, pp. 19,635-19,646, 1994.
- 2) 地震調査委員会：有馬・高槻断層帯の評価，平成 13 年 6 月 13 日，2001.
- 3) Reasenber, P.: Second-order moment of central California seismicity, 1969-1982, *J. Geophys. Res.*, Vol. 90, pp. 5,479-5,495, 1985.
- 4) 上野寛，畠山信一，明田川保，舟崎淳，浜田信生：気象庁の震源決定方法の改善－浅部速度構造と重み関数の改良－，*験震時報*，65, pp.123-134, 2002.
- 5) Scholz, C. H.: The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 58, pp. 399-415, 1968.
- 6) Westerhaus, M., Wyss, M., M. Yilmaz, M. and Zschau, J.: Correlating variations of  $b$  values and crustal deformations during the 1990s may have pinpointed the rupture initiation of the Mw=7.4 Izmit earthquake of 1999 August 17, *Geophys. J. Int.*, Vol. 148, pp. 139-152, 2002.
- 7) Shibutani, T., Nakao, S., Nishida, R., Takeuchi, F., Watanabe, K. and Umeda, Y.: Swarm-like seismic activity in 1989, 1990 and 1997 preceding the 2000 Western Tottori Earthquake, *Earth Planets Space*, Vol. 54, pp. 831-845, 2002.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

## (2-2)活断層帯の微小地震の発震機構

片尾 浩（京都大学防災研究所）

katao@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

飯尾能久（京都大学防災研究所）

iio@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

### (a) 業務の要約

平成 17 年度に続き、丹波山地の定常活動を中心に近畿地方北部における微小地震の発震機構データをまとめて解析した。今年度は、これまで本研究においてまとめてきた近畿地方北部の発震機構データを用いて、同地域に存在する主要な活断層とその周辺の微小地震の発震機構の関係について比較解析を行った。

### (b) 業務の実施方法

微小地震の発震機構を調べることは、その地域の応力場やテクトニクス、過去あるいは将来の被害地震の発生機構を知る上でも重要である。地殻の応力を直接測定する手段は一部の地表近くにおける実験／測定に限定されており、特に本来の地震発生層である地下深部における応力場を推定する方法としては、自然地震の発震機構解析以外にほとんど手が無い。本研究では、近畿地方北部の丹波山地の定常地震活動を中心に、微小地震の発震機構データを整理／解析することにより、近畿大都市圏における大地震時の強震動予測に資する情報を得ることを目的としている。

大阪府北部から京都府中部にかけての丹波山地の微小地震活動は定常的で非常に活発である。もっとも活動的な地域だけでも 40km 四方におよび、日本列島の他の定常活動域や群発域に比べて大きな面積を占める。他の多くの地震活動帯が、近年の大地震の余震活動あるいは火山活動に起因するものである中で、複数の活断層を内部に持つ比較的広域において、純粋に地域応力場のみによって駆動されている（と考えられる）丹波山地の活動は、応力場と地震活動の関係を考察するために格好のフィールドと言えよう。また、丹波山地は近畿三角帯の西縁に位置し、新潟神戸歪み集中帯の一翼を担う場所である。従って、近畿地方や広域のテクトニクスを論じる上でも重要であると考えられる。また、丹波山地内、およびその周辺には、有馬高槻構造線、花折断層、琵琶湖西岸断層帯、西山断層帯など活動度の高い活断層が数多く存在しており、それらの活動による内陸大地震に備える防災研究も重要である。

丹波山地周辺には、京都大学防災研究所阿武山観測所系の微小地震観測網が設けられており、従来から観測点密度が高く、精度のよい震源データが集められている。しかし、ルーチンのメカニズム解の決定はされていなかった。

本研究では、これまで解析が行われていなかった 1992 年から 1998 年までの期間の微小地震のメカニズム解を新たに決定し、1991 年以前の既存のデータセット(Iio, 1996<sup>1)</sup>)と統合することで、20 年間弱にわたるデータセットを整備し、それらを基に近畿地方北部の地震活動や活断層と発震機構および地域応力場について考察した。これまでの本研究の解析の流れは以下のようなものである。

### 1) P 波初動の押し引きによるメカニズム解の決定

P 波初動の押し引きに基づき、Maeda(1992)<sup>2)</sup>の方法を用いて、丹波山地におけるメカニズム解の決定をおこなった。1 個の地震について複数求めたメカニズム解候補の P 軸の方位のバラつきが  $\pm 15^\circ$  以内であるものを精度のよいものとして解析に用い、それより精度の劣るものは解析から除外した。

データセットとしては、1980～1988 年の期間、近畿地方北部で発生したマグニチュード 2.5 以上の地震 4000 個余りを対象としている。

近畿地方北部では、これまでの解析でも見られたように P 軸方位はほぼ東西方向を示すものが卓越し、広域応力場の主圧縮軸 ( $\sigma 1$ ) もこの方向であると考えられる。しかし断層型は横ずれ断層と逆断層が混在しており、 $\sigma 2$ 、 $\sigma 3$  はほぼ拮抗した大きさであることが分かる。

### 2) 応力テンソルインバージョンによる応力場の推定

単一の微小地震のメカニズム解の P 軸や T 軸は必ずしも地域応力場の主応力軸とは一致しない。そこで応力テンソルインバージョン法をもちいて、丹波山地における応力方向の空間分布を定量的に推定した。(平成 17 年度成果報告書参照)丹波山地においては、P 軸方位分布のみならず応力テンソルインバージョン解析の結果からも、兵庫県南部地震の前後ともに、P 軸方位および主圧縮応力軸は概ね東西方向で変化は見られない。ただし例外的に、兵庫県南部地震震源域に隣接する丹波山地南西部においては、P 軸方位が北東—南西方向に変化したことが示されている。またその変化は兵庫県南部地震本震断層運動による応力の変化と整合的であることが示された。(小笠原ほか, 2006<sup>3)</sup>)

### 3) 近畿地方北部の主要な活断層と発震機構データとの比較

今年度は、これまで本研究においてまとめてきた近畿地方北部の発震機構データを用いて、同地域に存在する主要な活断層とその周辺の微小地震の発震機構の関係について比較解析を行った。

### (c) 業務の成果

以下では、今年度の解析結果について述べる。

図 1 は、近畿地方北部において、本研究で解析した微小地震の発震機構の分布である。解析期間は 1980 年から 1998 年まで、解析対象とした 4000 余りの地震の中から、精度の高いもの 2377 個がプロットされている。精度の善し悪しは、スコア値 (各観測点における押し引きを満足する割合)、解の数 (Maeda の方法において、観測点分布等の要因により、押し引きを満足する解は複数求まることがあり、その数が少ないほど解の任意性が低い) を基に判断した。図 1 には、各々地震の断層型を震央の円の色で表している。黒丸は横ずれ断層型を、白丸は逆断層型を、震央の円が小さいものは中間型を表している。型の分類は、Yamanaka et al. (2002)<sup>4)</sup>に従って T 軸の *plunge* が 60 度以上立つものを逆断層型とし、null 軸の *plunge* が 45 度以上立つものを横ずれ断層型とし、P 軸の *plunge* が 60 度以上立つものを正断層型とし、それらのいずれにもあてはまらないものを中間型としている。また、図 1 には P 軸の方位分布を表すローズダイアグラムも付してある。P 軸方位の平均は N 91.3°E で、標準偏差は 20.7°である。

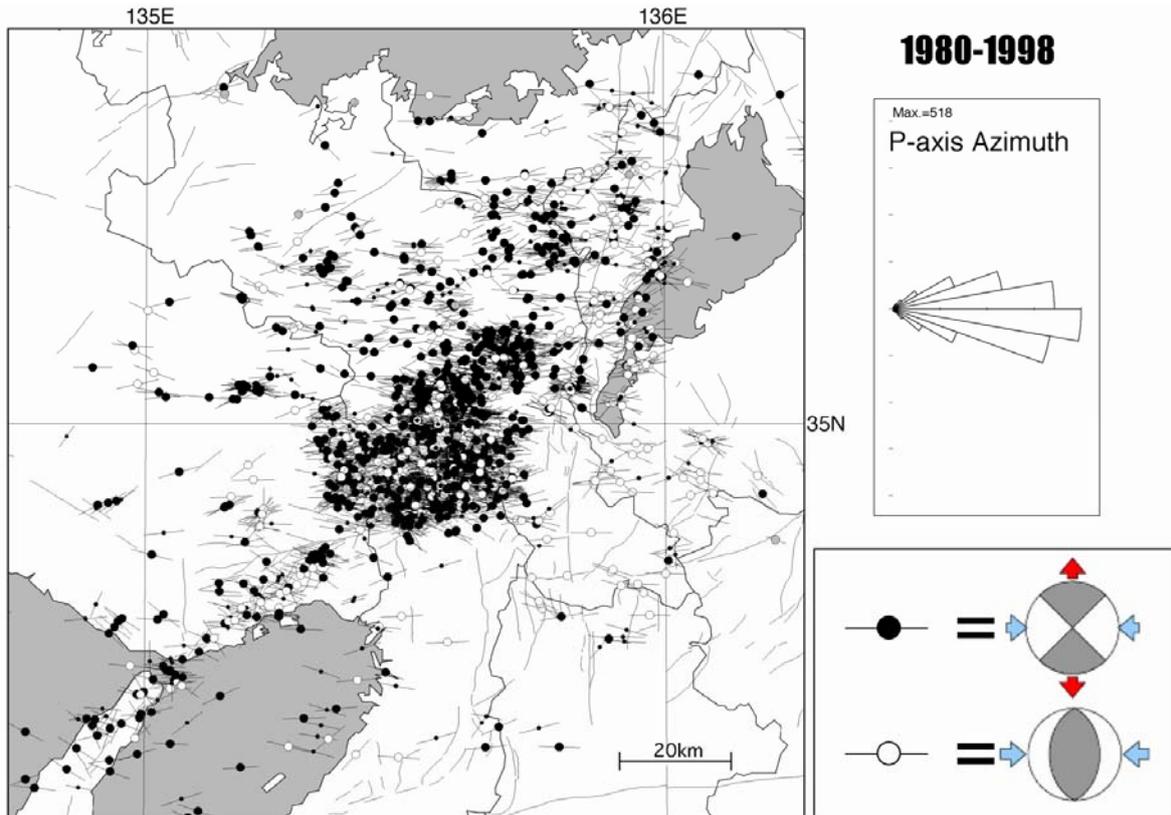


図1 1980年から1998年までのP軸方位と断層型分布を示す。○は震央を、色は断層のタイプをあらわす。○に付属する棒はP軸の azimuth を示す。右上はP軸 azimuth を10°ごとに区分したローズダイヤグラム。

Yamanaka et al. (2002)<sup>4)</sup>は兵庫県南部地震の余震の発震機構を解析し、余震の大部分は東西方向のP軸を持つことを示した。しかし余震域の中には、東西方向から大きく偏った方向のP軸を持つものが存在し、それらは震源断層のセグメント境界付近に多く分布することを指摘した。これは、断層運動による局所的な応力場の乱れによるもので、断層セグメント境界付近では特にその影響が顕著であるためと推定された。丹波山地の活動は、特定の大地震の余震活動ではなく、定常的な活動であると考えられる。また、丹波山地周辺の活断層の最新活動時期からは十分な時間が経過していると考えられる。そのため、兵庫県南部地震の余震の例で見られたような局所的な応力場の不均質は、緩和されていると思われる。しかしながら、何らかの定常的な地殻活動によって局所的な応力場の変化が現れる場合は、発震機構の空間変化として捉えられるかもしれない。図2は図1のデータの中から、P軸の方位が平均P軸方位(91°)から30°以上偏っている地震304個のみをプロットしたものである。

図2を見ると、これらの典型的でないP軸方位を持つ地震は、通常の震央分布の密度の高い地域にまんべんなく分布しているように見える。また、45°以上平均方位から偏るような地震は極めて少ないことも分かる。よって、この手法によっては、発震機構(応力場)の局所に異常な場所は検出されなかった。

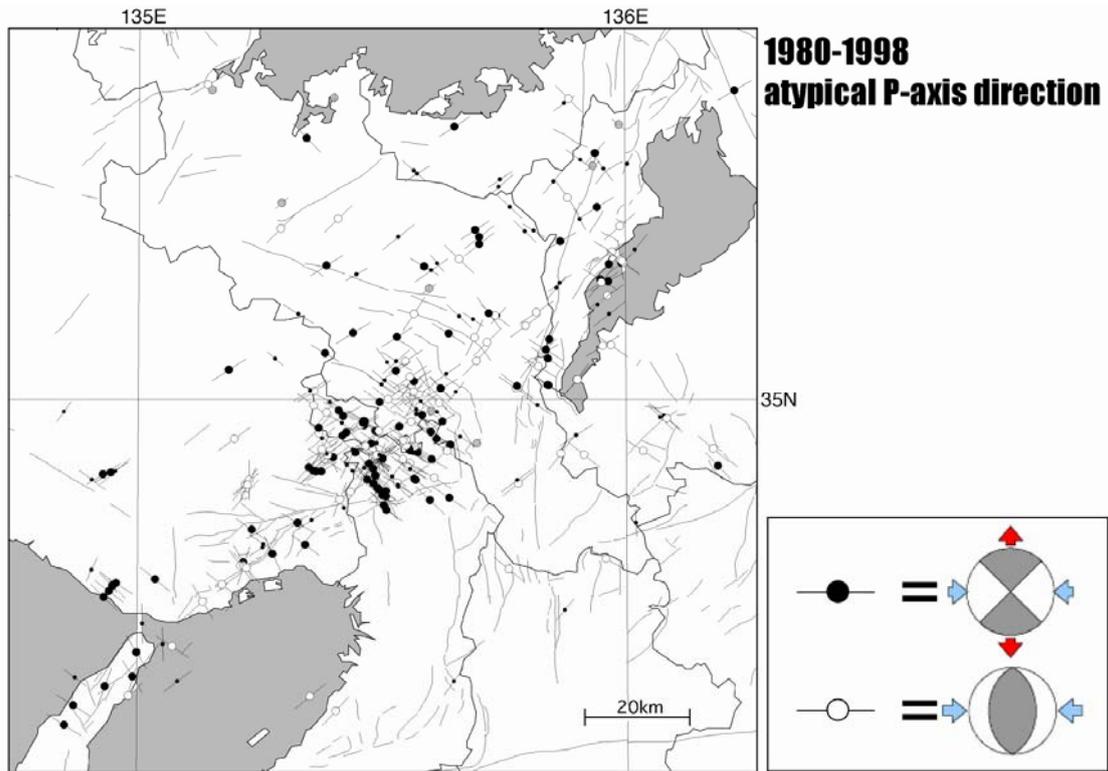


図2 1980年から1998年までの発震機構のうち、P軸方位が東西方向から30°以上偏っているもののみを示す。○は震央を、色は断層のタイプをあらわす。○に付属する棒はP軸のazimuthを示す

丹波山地周辺の主要な活断層付近の発震機構について、以下にいくつかの例を挙げて考察する。

図3は、花折断層に沿った部分を拡大したものである。花折断層に沿った微小地震の震源は、必ずしも断層面に沿って連続的に分布するものではなく、いくつかの小さなクラスターが断層付近に散在するといった分布形態を呈する。この地域では、P軸の方位分布は東西方向を中心にやや広い範囲に広がっている。断層の型も逆断層、横ずれ断層が混在するが。断層南端の京都市左京区八瀬付近（図3内のA）には、逆断層型が卓越する活動の活発なクラスターが存在する。ここでは逆断層の2つの節面の走向と、花折断層の走向はほぼ一致している。そのためこの活動は花折断層の震源断層の一部が断続的に活動していると言う可能性を否定できない。そうであれば、この部分の断層強度はほかの場所に比べて小さいと考えられる。主断層の走向にほぼ沿った断層面ですべての中規模の地震を頻繁に起こす場所としては、例えば鳥取県西部地震の破壊開始点付近の本震に先行した中規模地震活動（Shibutani et al., 2002<sup>5)</sup>）を想起させる。

一方、花折断層沿いの地震の中で最大のものは1985年に花折峠付近（図3内のB）で起きたM5.0のものであるが、これはP軸が東西方向の横ずれ断層である。したがって2つの節面のいずれもが、ほぼ南北方向の花折断層とは斜交する関係にある。ここでは、中規模地震は花折断層の存在を無視した形で発生しているとも考えられ、この部分で花折断層本体の固着が強いことによるものかもしれない。そうすると、将来の花折断層における大地震時には、この部分はアスペリティとして働くかもしれない。

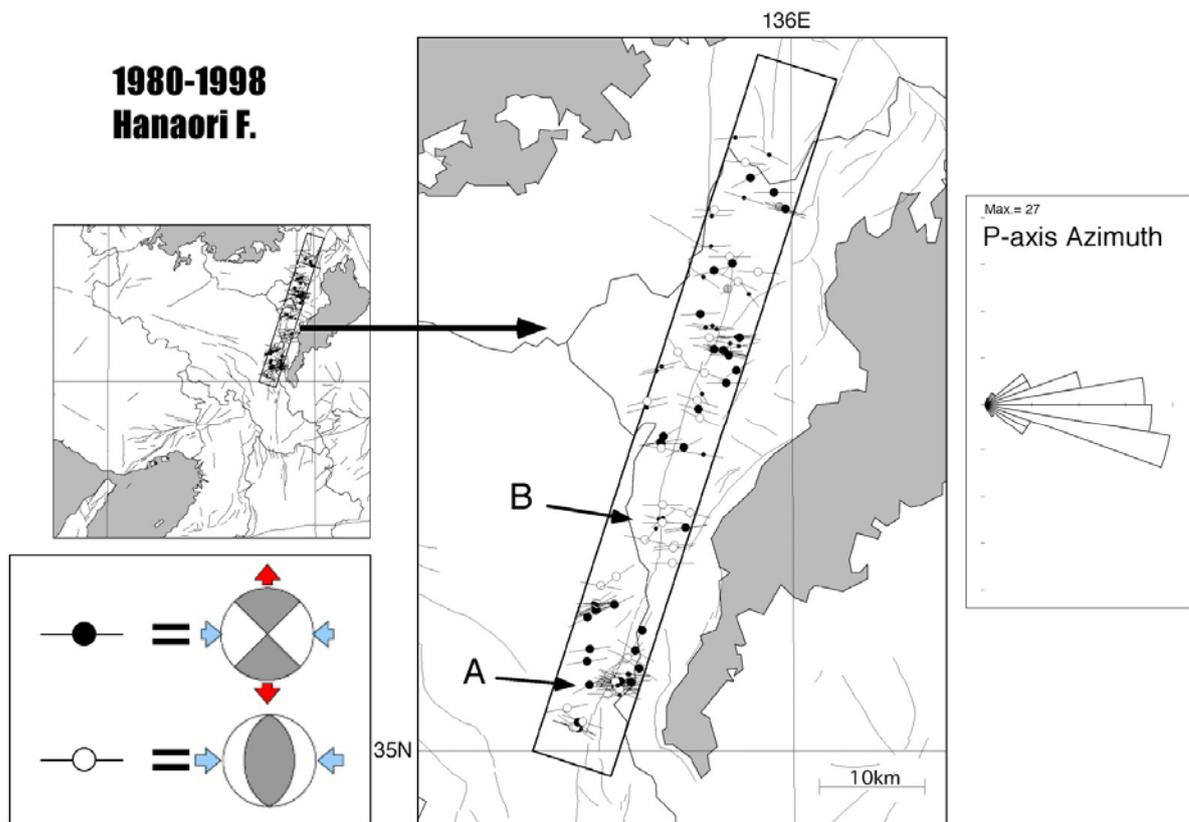


図3 花折断層沿いにおける 1980 年から 1998 年までの P 軸方位と断層型分布を示す。  
 ○は震央を、色は断層のタイプをあらわす。○に付属する棒は P 軸の azimuth を示す。右は P 軸 azimuth を 10°ごとに区分したローズダイヤグラム。

図4は、琵琶湖西岸断層帯に沿った部分を拡大したものである。琵琶湖西岸断層帯は西落ち傾斜であることを考えると、この範囲は必ずしも断層帯直近の活動とは言い難いが、北に振った P 軸方位が卓越していることが他の地域と違う大きな特徴である。

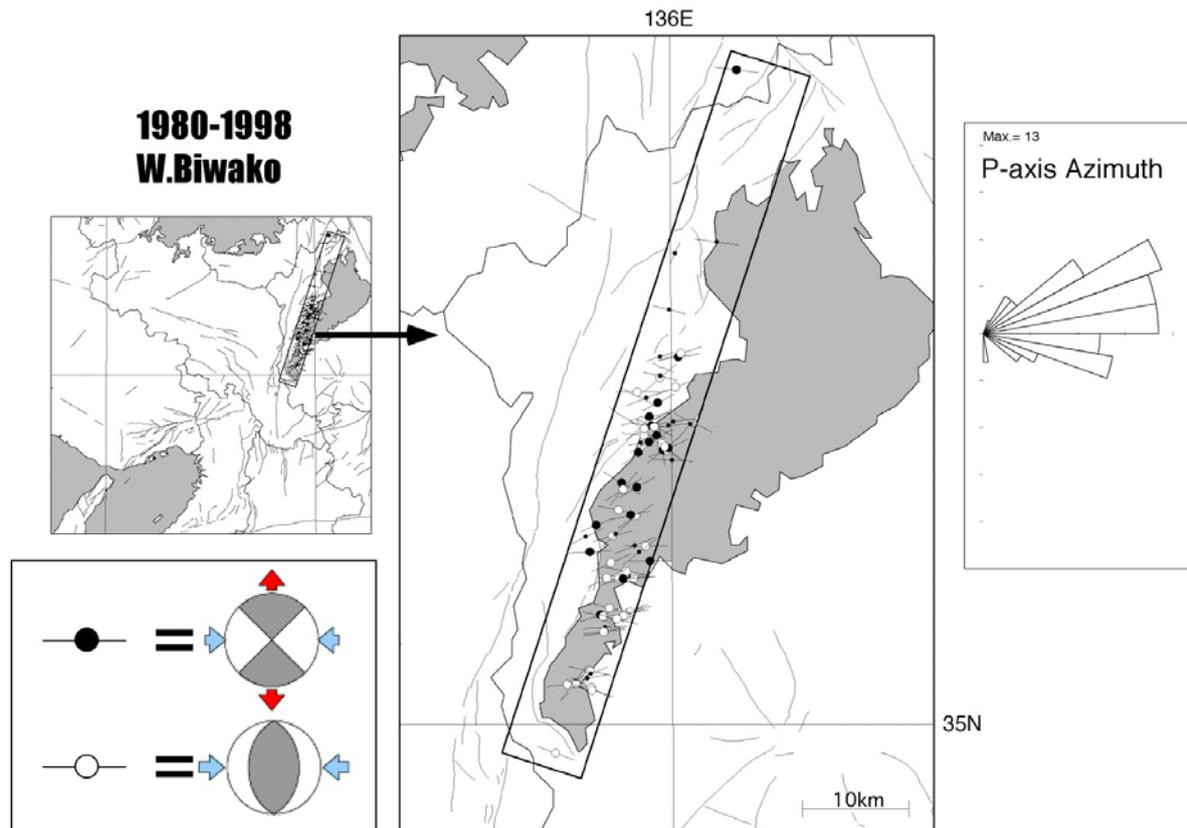


図4 琵琶湖西岸断層帯沿いにおける1980年から1998年までのP軸方位と断層型分布を示す。○は震央を、色は断層のタイプをあらわす。○に付属する棒はP軸のazimuthを示す。右図はP軸 azimuthを10°ごとに区分したローズダイヤグラム。

図5は、有馬高槻構造線に沿った部分を拡大したものである。微小地震活動は、有馬高槻構造線を境にして北側の丹波山地で活発で、南側の大阪平野では低調である。有馬高槻構造線の直近では、P軸方位はやや東西よりもやや南に振ったものが卓越している、断層型は横ずれ型が卓越するようである。有馬高槻構造線の地表トレースよりも南側には、平行するように微小地震の列があり、その発震機構は南東—北西圧縮の横ずれ型が多く、節面の一つはほぼ東西走向となり、構造線と平行である。この列を西方にたどると、兵庫県南部地震の最大余震とされるM5.4の発生した伊丹市付近に達する。この最大余震も南東—北西圧縮の横ずれ型であった。これらから、有馬高槻構造線よりも南側に平行する伏在断層の存在が示唆される（京都大学防災研究所地震予知研究センター，1996<sup>6)</sup>）。これは、平成16年度実施の大大特：近畿圏縦断構造探査において発見された有馬高槻構造線南側のグラーベン構造の南側の北落ちの段差に対応する可能性もある。大阪周辺の強震動予測では、有馬高槻構造線本体だけでなく、この伏在断層系が活動する可能性も考慮されるべきと考える。

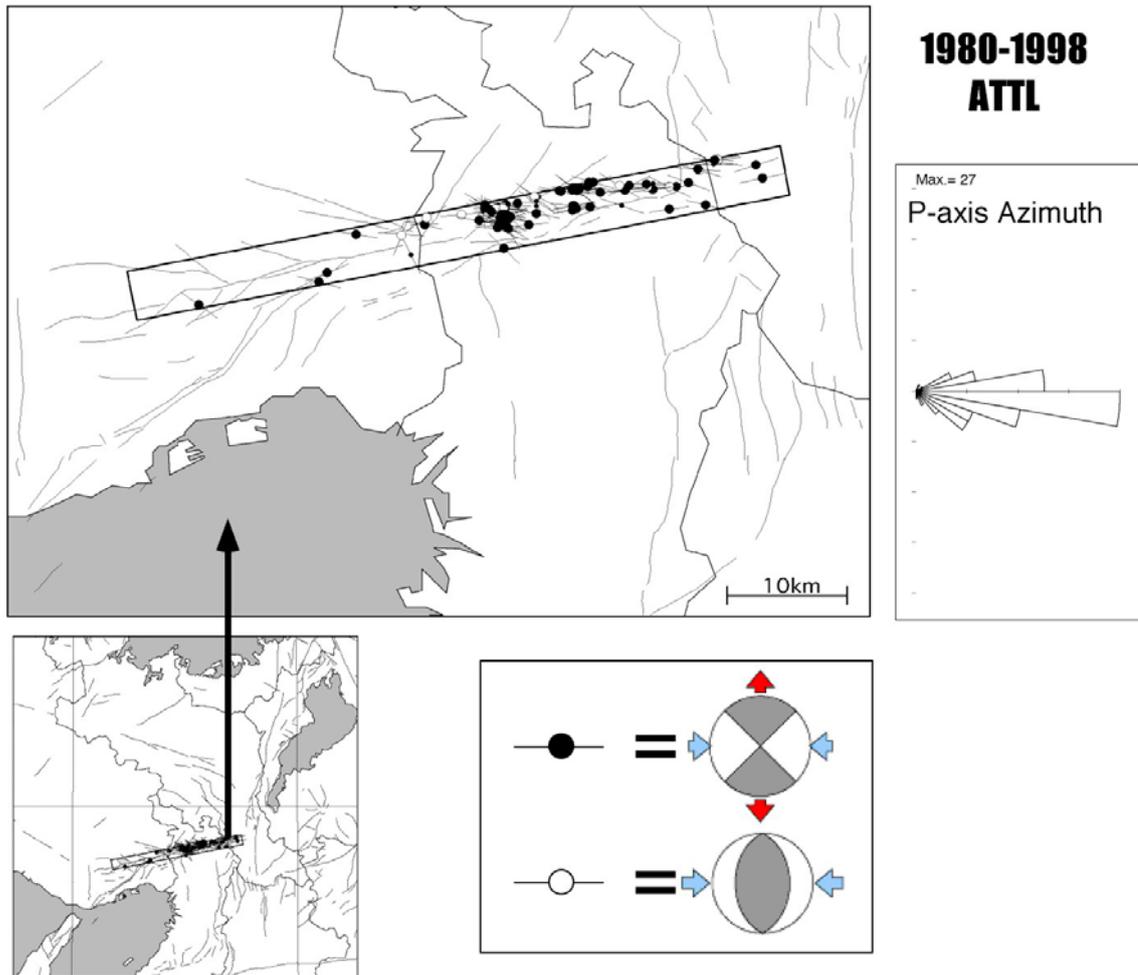


図5 有馬高槻構造線沿いにおける1980年から1998年までのP軸方位と断層型分布を示す。○は震央を、色は断層のタイプをあらわす。○に付属する棒はP軸のazimuthを示す。右上はP軸azimuthを10°ごとに区分したローズダイヤグラム。

(d) 結論ならびに今後の課題

丹波山地の定常活動を中心に近畿地方北部における微小地震の発震機構データをまとめて解析した。今年度は、整備したデータセットを基に、主要活断層周辺を例にとり、震源断層の幾何学的配置と微小地震の発震機構を比較解析した。

将来の内陸大地震の被害予測に有用な情報（破壊開始点やアスペリティの位置など）の推定を発震機構分布から試みたが、発震機構の空間分布のみから明解な結果を得ることは困難である。今後の研究の進め方としては、精密な震源再決定結果を取り入れて震源の深さも考慮に入れた空間分布解析、b値や速度構造といった他の解析結果を考慮に入れた総合的な解析が望まれる。また、空間的・時間的分解能をあげるために、十分な押し引きデータが得られない極微小地震についても発震機構が求められるよう、発震機構決定方法に改良を加えていく必要がある。

(e) 引用文献

- 1) Iio, Y.: Depth-dependent change in the focal mechanism of shallow earthquakes: Implications for brittle-plastic transition in a seismogenic region, *J. Geophys. Res.*, 101, B5, 11, pp. 209-11,216, 1996.
- 2) Maeda, N.: A method of determining focal mechanisms and quantifying the uncertainty of the determined focal mechanisms for microearthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, pp. 2410-2429, 1992.
- 3) 小笠原知彦, 片尾浩, 飯尾能久, 丹波山地における微小地震のメカニズム解決定と応力場の推定, 京都大学防災研究所年報, 49, B, pp. 331-338, 2006.
- 4) Yamanaka, H., Y. Hirasu and H. Katao, Spatial distribution of atypical aftershocks of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, *Earth Planets Space*, 54, pp. 933-945, 2002.
- 5) Shibutani, T., S. Nakao, R. Nishida, F. Takeuchi, K. Watanabe and Y. Umeda, Swarm-like seismic activity in 1989, 1990 and 1997 preceding thr 2000 Western Tottori Earthquake, *Earth Planet Space*, 54, pp. 831-845, 2002.
- 6) 京都大学防災研究所地震予知研究センター, 兵庫県南部地震余震域周辺の地震活動, 地震予知連絡会会報, 55, pp. 508-515, 1996.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

| 著者               | 題名                           | 発表先                                   | 発表年月日            |
|------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------|
| 小笠原知彦, 片尾浩, 飯尾能久 | 丹波山地における微小地震のメカニズム解決定と応力場の推定 | 京都大学防災研究所年報, 49, B, pp. 331-338, 2006 | 平成 18 年 4 月      |
| 片尾浩, 小笠原知彦, 飯尾能久 | 近畿地方北部の微小地震の発震機構             | 日本地震学会 2006 年秋季大会, P211               | 平成 18 年 11 月 2 日 |

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし