

3. 3. 1 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	大学院生	小笠原知彦	oga@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、破壊開始点を推定する。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する。
- 5) 平成 18 年度：近畿圏中央部のいくつかの活断層の深部構造モデル（アスペリティ、破壊開始点等）を作成する。

(e) 平成 17 年度業務目的

琵琶湖西岸地域の地震を JHD 法により再決定し、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。発震機構解のデータベースに基づいて、応力テンソル・インバージョンを行い、近畿圏中央部の応力場の時空間特性について詳細に検討する。

(2) 平成17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

(a) 業務の要約

琵琶湖西岸地域の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、琵琶湖西岸断層と花折断層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。

花折断層帯の中部の北側と琵琶湖西岸断層帯の堅田断層と比良断層のジョイント部は低活動域になっていて、大きめの地震の発生が少なく、 $M>3$ の地震はほとんど発生していない。これらの領域は、断層のカップリングが強い状態にあると考えられ、将来のアスペリティの候補と考えられる。花折断層の中部の南側はb値の小さな領域にあたり、 $M>3$ の大きめの地震の発生が異常に多く、高い応力状態にあると考えられる。将来の破壊開始点の候補と考えられる。

(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、走向については、活断層図などから読み取ることできるが、地震分布を用いれば、伏在断層も含めて、長さ、走向、幅、傾斜を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, 1994¹⁾)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。

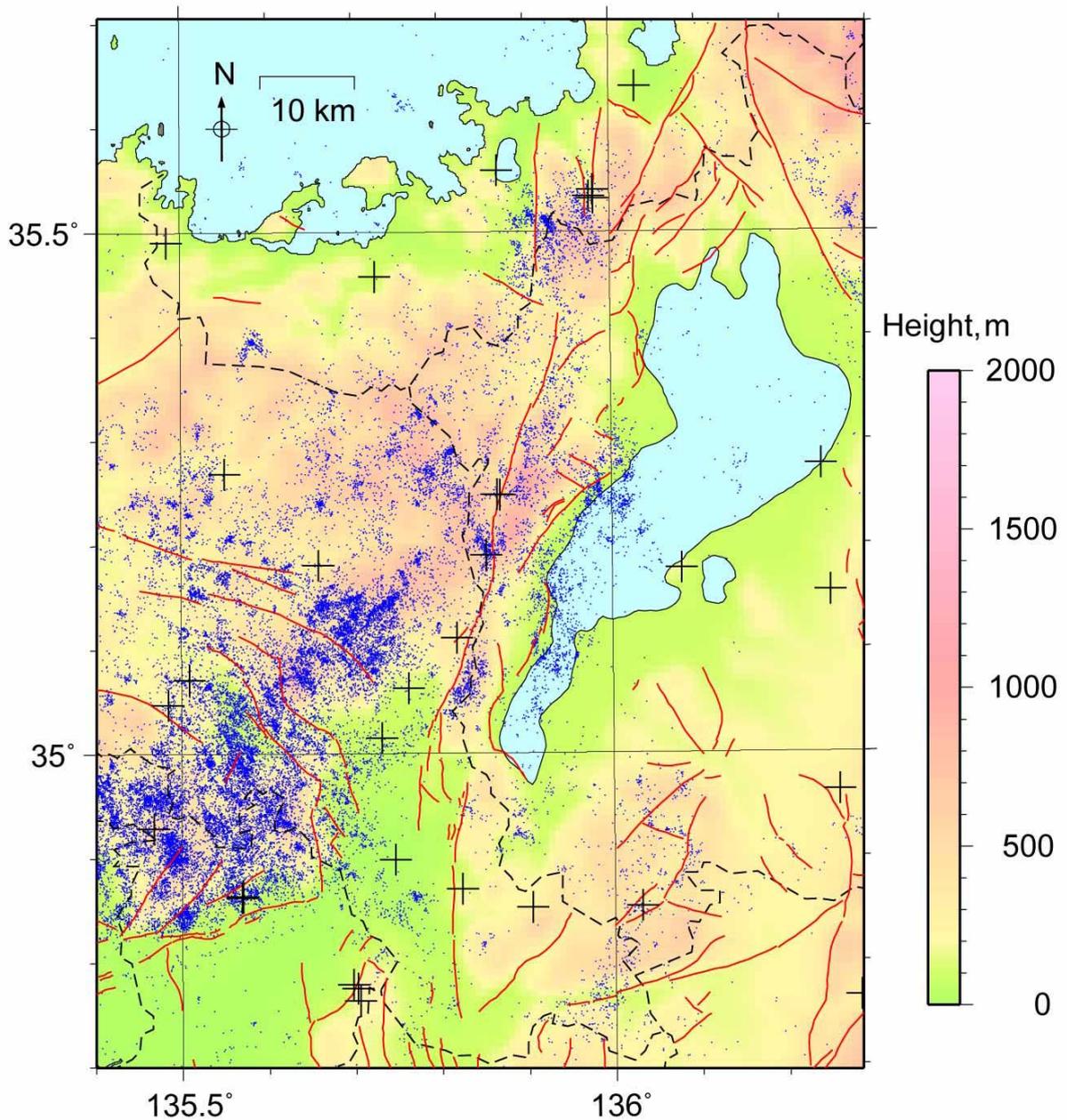


図1 震源再決定を行った領域。青いドットは再決定した地震の分布。黒い+は用いた観測点。赤い実線は活断層。波線は県境。

琵琶湖西岸地域における地震活動解析

琵琶湖西岸地域には、三方・花折断層帯と琵琶湖西岸断層帯がほぼ北北東-南南西に走っている。三方断層帯は全長約 26kmで、ほぼ南北方向に延びており、東側が西側に対して隆起する逆断層である。花折断層帯は全長約 58kmで、ほぼ北北東-南南西に延びており、北部と中部は右横ずれ断層で、南部は東側が西側に対して隆起する逆断層である(地震調査委員会、2003²⁾)。琵琶湖西岸断層帯は全長約 59kmで、ほぼ北北東-南南西に延びており、西側が東側に対して隆起する逆断層である。北北東側から、知内断層、饗庭野断層、上寺断層、勝野断層、比良断層、堅田断層、比叡断層、膳所断層というセグメントからなる(地震調査委員会、2003³⁾)。

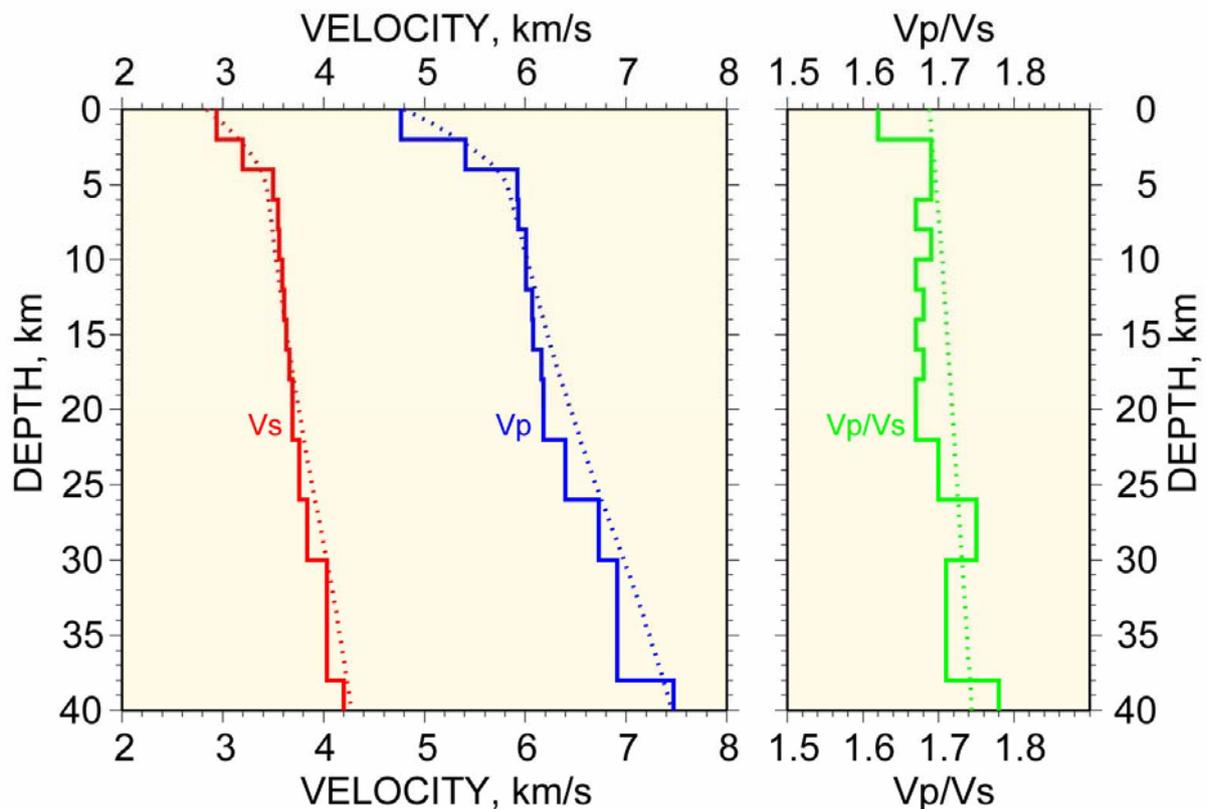


図2 JHD法により求められた1次元速度構造。青：P波速度、赤：S波速度、緑：Vp/Vs。点線は気象庁の震源決定用速度構造JMA2001。

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の1976年1月から1997年9月までの検測値データと同北陸観測所の1976年6月から1997年6月までの検測値データと気象庁の1976年1月から2005年11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1,800個の地震にJHD法を適用し、観測点補正值と1次元速度構造を求めた。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(Reasenber, 1985⁴⁾)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水平方向の誤差が0.5km以下かつ鉛直方向の誤差が1km以下の地震を抽出し、震央分布図やいろいろの断面図を作成し、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、花折断層帯と琵琶湖西岸断層帯とを含む解析領域内に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1.55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。

(c) 業務の成果

1次元地震波速度構造と観測点補正值

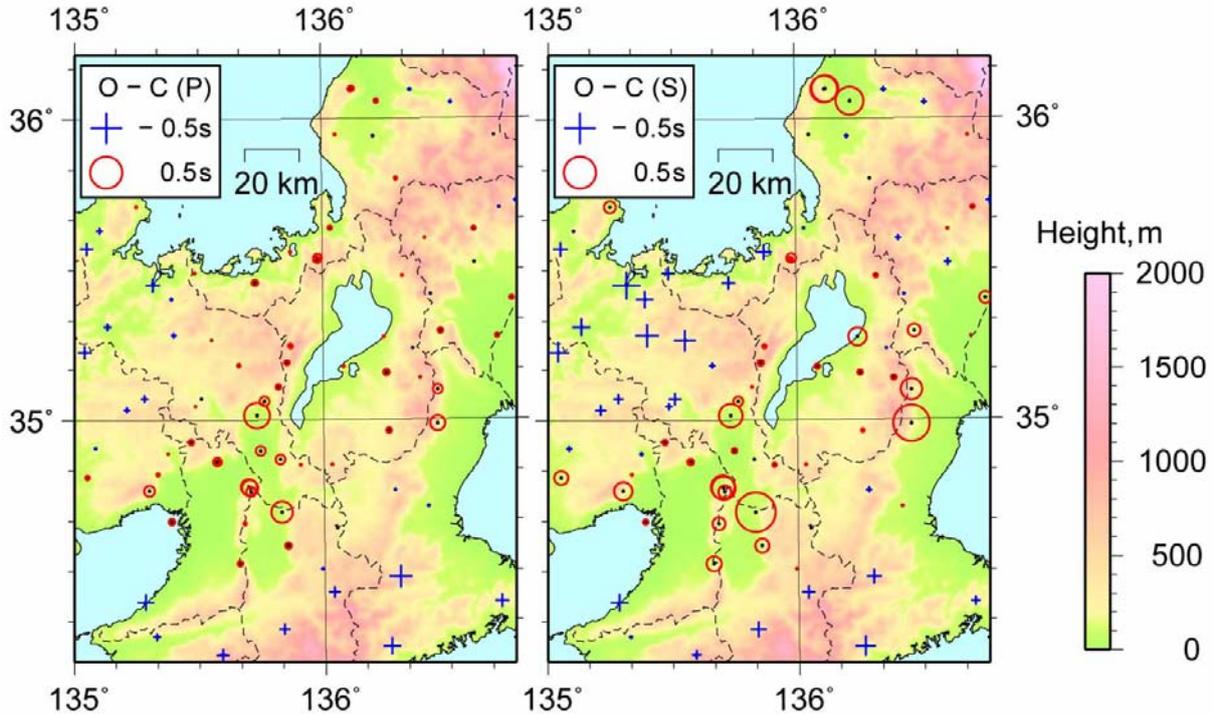


図3 JHD法により求められた観測点補正值。左：P波の走時残差、右：S波の走時残差。

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⁵⁾と似た増加傾向を示すが、値はやや小さめである。 V_p/V_s は、深さ2~22kmでは1.68前後である。表層では1.62と小さな値を取るが、表層の速度は観測点補正值とのトレードオフが大きいため、一意的に決まっているとは言い難い。

JHDにより得られた観測点補正值を図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。2004年新潟県中越地震や2000年鳥取県西部地震の震源域周辺に比べると正負の残差の差は小さい。

地震分布の不均質性

三方・花折断層帯と琵琶湖西岸断層帯の近傍の震央分布とそれらにほぼ直交する6枚の断面での深さ分布を図4に示す。震央分布では地震の深さが色分けして示されている。断面図には三方・花折断層帯と琵琶湖西岸断層帯の地表での位置が、それぞれ青と赤の矢印で示されている。花折断層帯についてみると、BB'、CC'、FF'断面において深さ10~14kmに存在する地震群は地表トレースより東南東に2km程度ずれている。このことは、花折断層が少し東に傾斜していることを示唆する。傾斜角は約 80° と見積もられる。琵琶湖西岸断層帯では、中央部の比良断層と堅田断層付近に地震活動が見られる。BB'、CC'、DD'断面において深さ20km付近に見られる地震がこれらの断層と関係していると考えれば、これらの断層は西に傾斜していることが示唆される。しかしながら、地震は面状に分布していないので、断層面を一意的に決定するのは大変難しい。

図5(a)には、花折断層帯と琵琶湖西岸断層帯の走向方向の断面における深さ分布を示す。

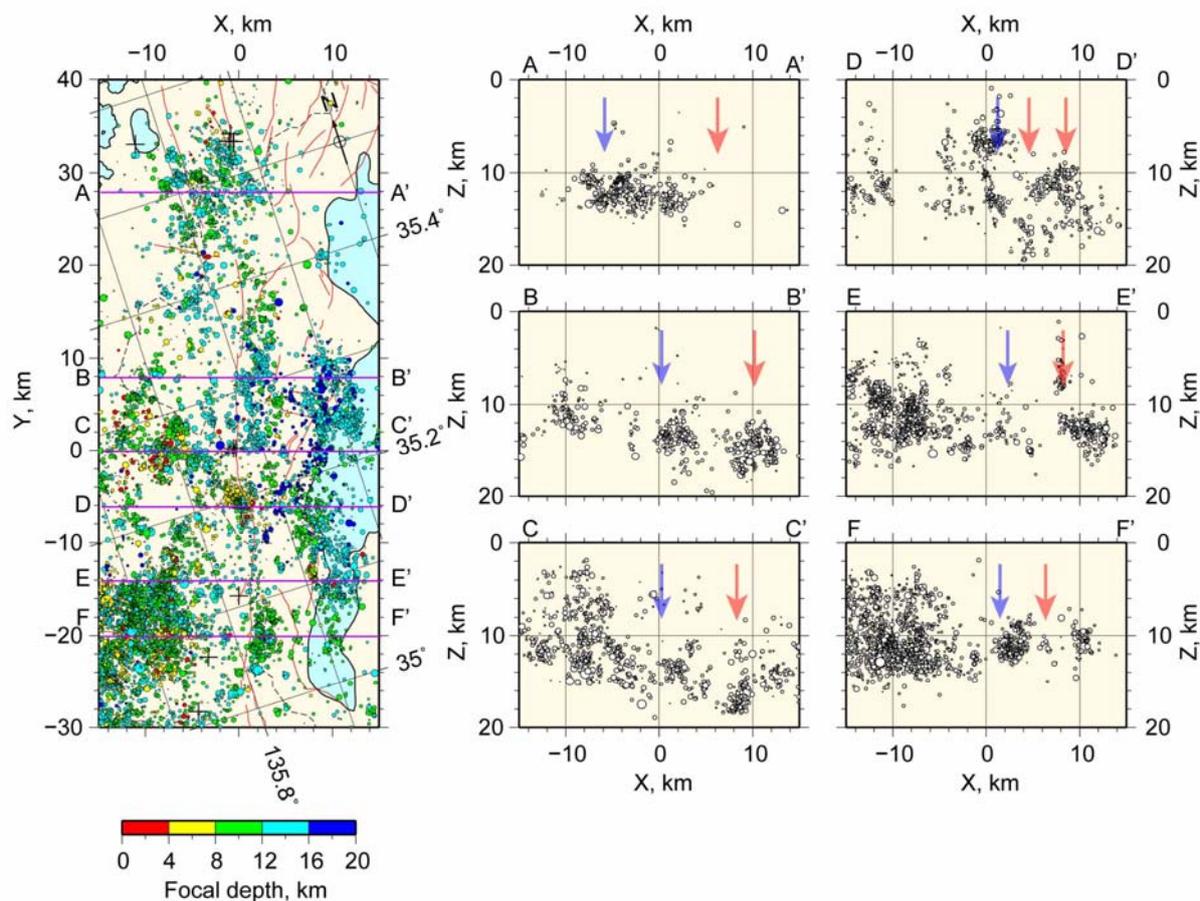


図4 三方・花折断層帯と琵琶湖西岸断層帯近傍の震央分布とそれらに直交する6つの断面(AA'~FF')での深さ分布。震央分布では震源の深さをカラースケールに示すように5段階に色分けして示す。青い+は観測点、赤い実線は活断層。深さ分布では、各断面の±2kmの範囲内の地震をプロットした。青い矢印は地表での三方・花折断層帯の位置、赤い矢印は琵琶湖西岸断層帯の位置を示す。

図5 (b)に示す花折断層帯に沿う深さ分布を見ると、花折峠付近(Y=-5km)の地震群を除くとほとんどの地震が深さ10~18kmで発生していることがわかる。紫色の楕円で示すように、中部の北側(I)と北端部(II)に相対的に地震活動の低い領域が見られる。図5 (c)に示す琵琶湖西岸断層帯に沿う深さ分布では、ほとんどの地震が深さ10~20kmで発生している。中央部の比良断層と堅田断層付近の地震活動は活発であるが、それ以外の断層での地震活動は非常に低調である。饗庭野断層には弱い地震活動が見られる。橙色の楕円で示すように、比良断層と堅田断層のジョイント付近(III)に地震活動の低い領域が見られる。

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。図7は、図6に示すA~Fの領域におけるマグニチュード頻度分布である。上で述べた花折断層帯の低活動域Iと琵琶湖西岸断層帯の低活動域IIIはb値の高い領域にあたる。これらの領域のマグニチュード頻度分布は、図7の

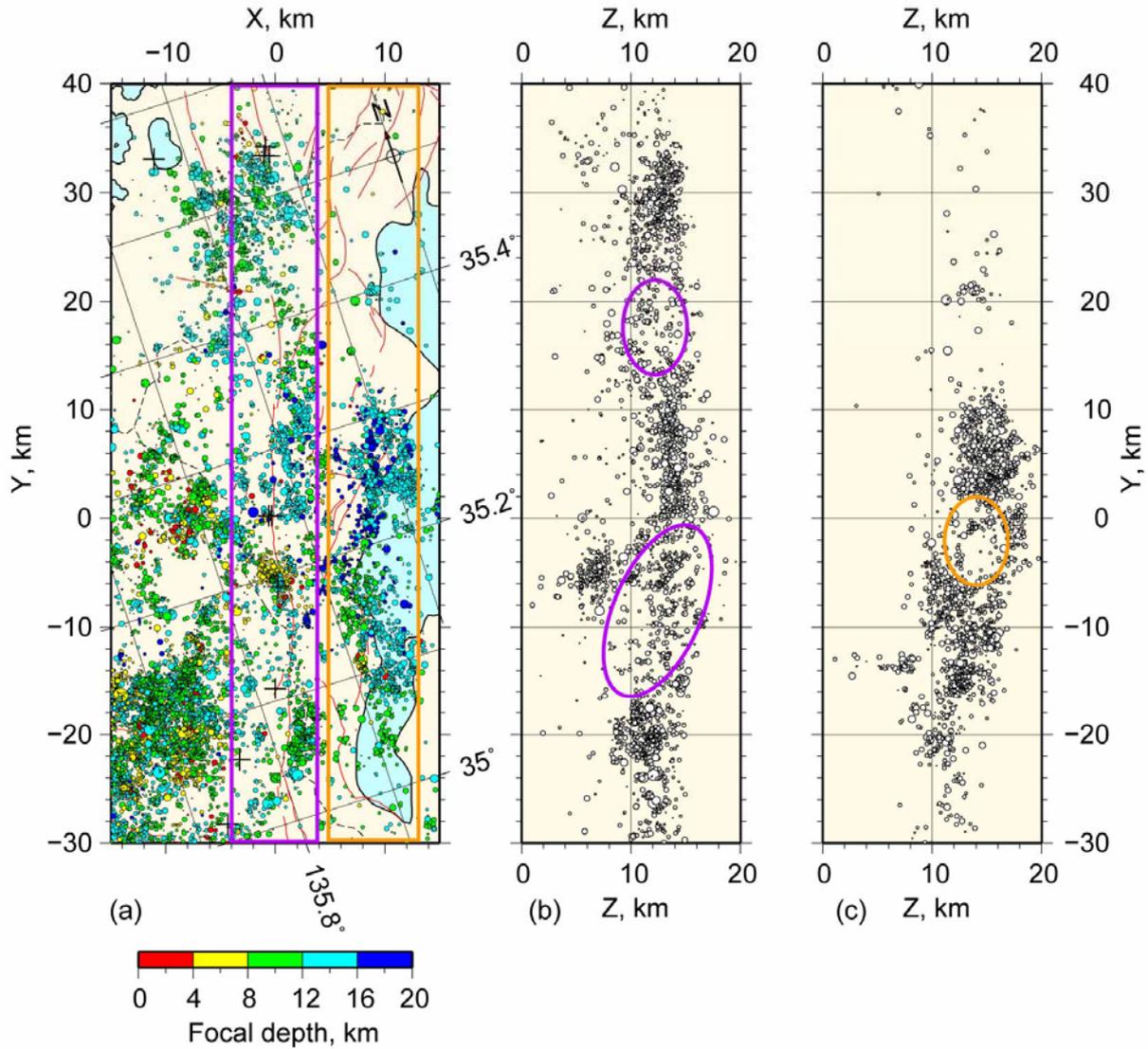


図5 左：三方・花折断層帯と琵琶湖西岸断層帯近傍の震央分布。震源の深さをカラースケールに示すように5段階に色分けして示す。青い+は観測点、赤い実線は活断層。中：花折断層帯の走向方向に沿う断面での深さ分布。震央分布図において紫色の四角で囲まれた範囲の地震をプロットした。右：琵琶湖西岸断層帯の走向方向に沿う断面での深さ分布。震央分布図において橙色の四角で囲まれた範囲の地震をプロットした。断面図における紫色と橙色の楕円は相対的に地震活動の低い領域を示す。

BとCに示すように大きめの地震の発生が少なく、 $M>3$ の地震はほとんど発生していない。Bの領域では、赤丸には10kmより浅い一群の地震が含まれているが、低活動域が見られる10kmより深い地震に限ると緑の丸のようになる。このような頻度分布を示す低活動域は断層のカップリングが強い状態にあると考えられ、将来のアスペリティの候補に成り得る。これに対し、花折断層帯の低活動域IIのb値は1.0で、頻度分布も図7のEに示すように良い直線性を示す。したがって、この領域はカップリングが強くなく、将来のアスペリティになる可能性は低い。

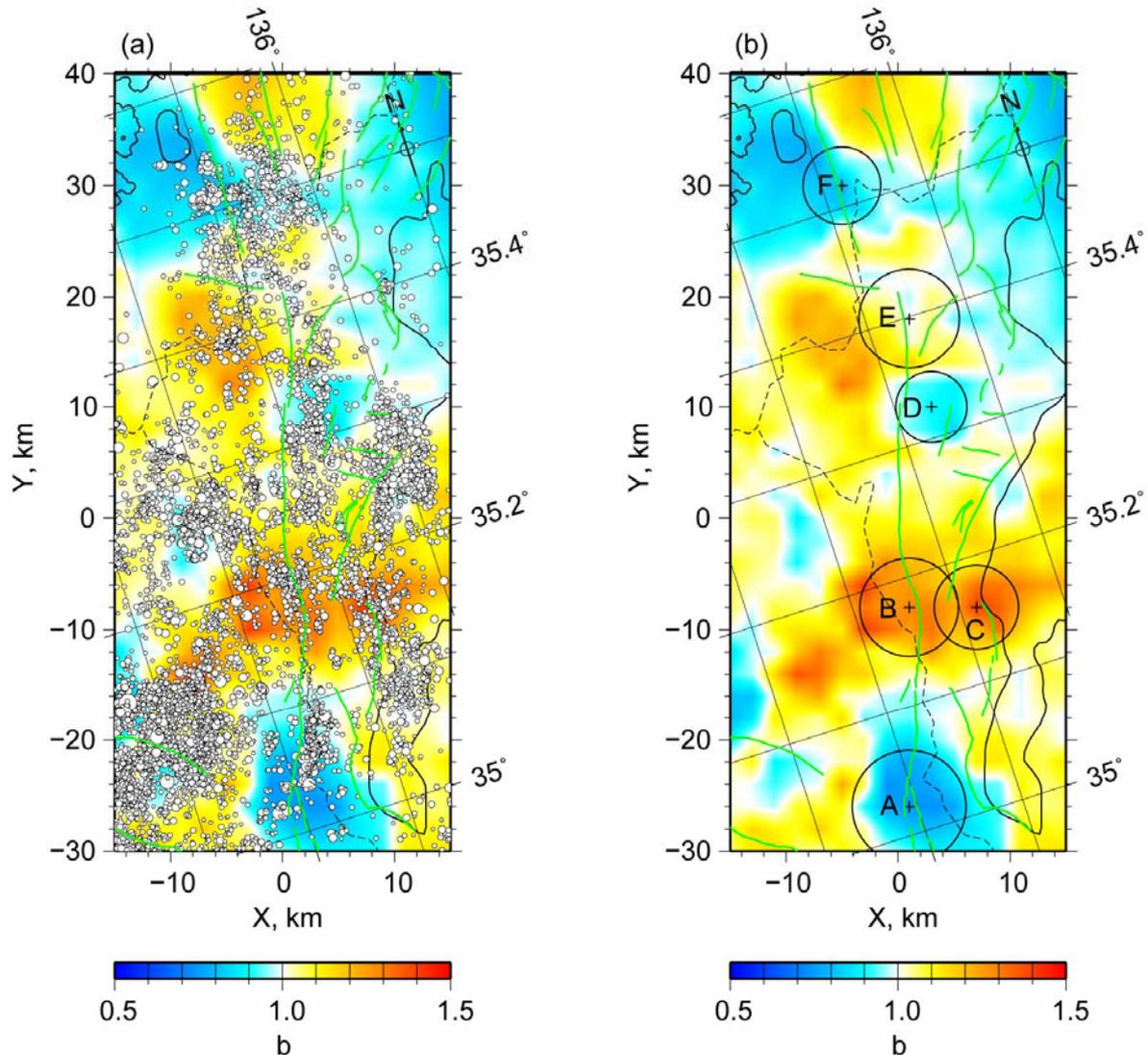


図6 b 値の水平不均質分布。(a)震央を重ねて示す。(b)領域 A~F のマグニチュード頻度分布は図 7 に示される。領域を示す円の大きさは b 値を算出した範囲。緑：活断層、波線：県境。

b 値が小さい領域は、図 6 の A と F である。それぞれの頻度分布は図 7 の A と F に示されている。領域 A の頻度分布はかなり異常であって、 $M>3$ の大きめの地震の発生が多い。領域 F はそれほどではないが、 $0.6<M<3$ において頻度分布の傾きが 1.0 より小さくなっている。これらの領域は高い応力状態にあると考えられ、将来の破壊開始点になる可能性がある。

(d) 結論ならびに今後の課題

花折断層帯の中部の北側と琵琶湖西岸断層帯の堅田断層と比良断層のジョイント部は低活動域になっていて、大きめの地震の発生が少なく、 $M>3$ の地震はほとんど発生していない。これらの領域は、断層のカップリングが強い状態にあると考えられ、将来のアスペリ

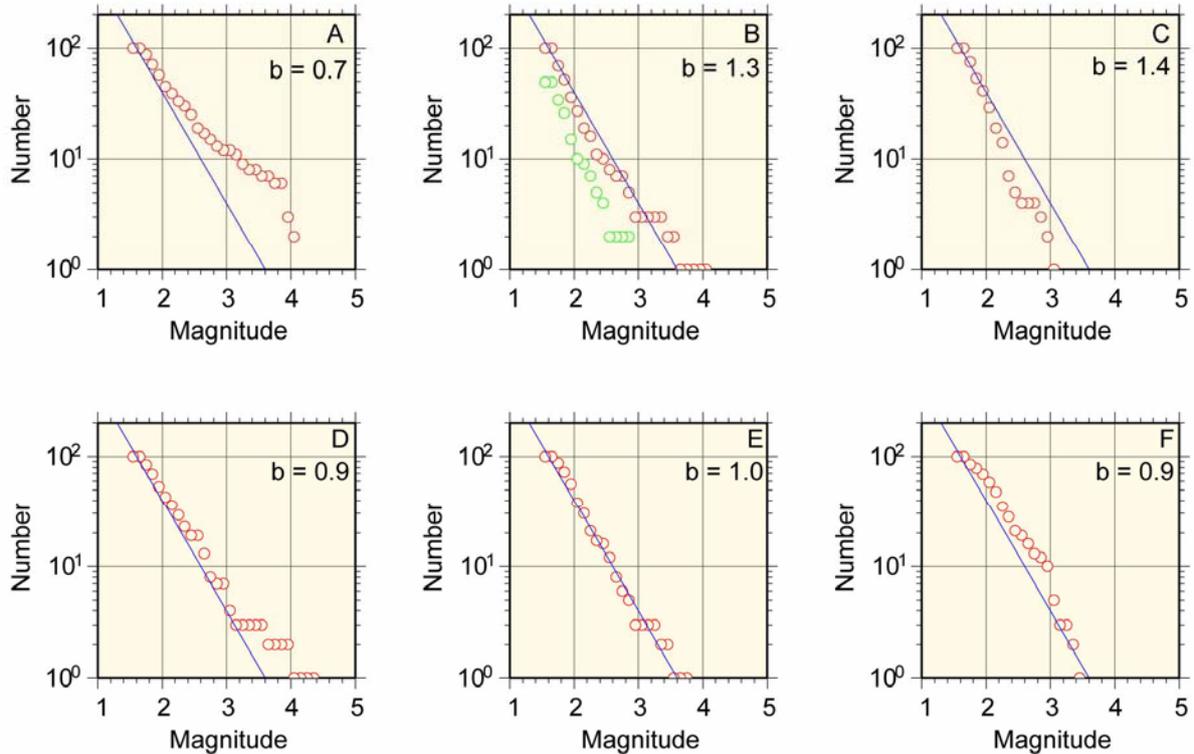


図7 図6に示した領域A～Fのマグニチュード頻度分布。青線は $b=1.0$ を示す。
領域Bにおける緑の丸は10km以深の地震についての頻度分布。

ティの候補と考えられる。花折断層の中部の南側は b 値の小さな領域にあたり、 $M>3$ の大きめの地震の発生が異常に多く、高い応力状態にあると考えられる。将来の破壊開始点の候補と考えられる。

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。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.19635 - 19646, 1994.
- 2) 地震調査委員会, 三方・花折断層帯の長期評価について, http://www.jishin.go.jp/main/chosa/03mar_mikata/, 2003.
- 3) 地震調査委員会, 琵琶湖西岸断層帯の長期評価について, http://www.jishin.go.jp/main/chosa/03jun_biwako/, 2003.
- 4) Reasenber, P.: Second-order moment of central California seismicity, 1969-1982, *J.*

Geophys. Res., Vol.90, No.B7, pp.5479-5495, 1985.

(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