

3.6.2 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

活断層帯の微小地震の地震活動、および発震機構の研究

(b) 担当者

澁谷拓郎（京都大学防災研究所 助手）

片尾 浩（京都大学防災研究所 助教授）

(c) 業務の目的

活断層における地震活動の解析（高精度の震源分布、 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、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に寄与することを目的とする。

(d) 5カ年の年次実施計画

平成 14 年度： 解析手法の検討、データ処理の開始

平成 15 年度： 山崎断層、有馬高槻構造線、花折断層、六甲淡路断層系に関する解析の実施。

平成 16 年度： 山崎断層、有馬高槻構造線、花折断層、六甲淡路断層系の深部モデル（アスペリティ、破壊開始域等）の推定

平成 17、18 年度： 他のいくつかの近畿圏活断層についても解析を行い、各活断層の深部モデル（アスペリティ、破壊開始域等）、および活断層深部モデルの一般的特性、等に関して取りまとめる。

(e) 平成 14 年度業務目的

活断層の深部モデル（アスペリティ、破壊開始域等）を地震活動、発震機構解から推定する手法、従来の解析の成果等について検討し、本業務で使用する手法を確定し、15 年度からの本格的な解析に向けた計算機プログラム開発、データ取得・コンパイル、等の準備を開始する。

(2) 平成14年度の成果

(2-1) 活断層帯の微小地震の地震活動

澁谷拓郎 (京都大学防災研究所)

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

(a) 業務の要約

本研究では、活断層における地震活動の解析から、強震動の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に寄与することを目的とする。種々の事例を考察した結果、合理的な仮定として、(1)破壊開始域 = 低 b 値域、(2)アスペリティ = 低地震活動域、を設定した。山崎断層での予備的解析では、仮定(2)に基づき、断層上での低地震活動域からアスペリティの位置と大きさを推定することを試みた。このような地震活動解析は、強震動予測における断層パラメータの推定において、有用な情報を与え得ることがわかったが、信頼性を高めるためには、震源の深さの絶対精度を向上させなければならないことも明らかになった。このための手法として、JHD法による震源の再決定を提案した。今後は、山崎断層周辺域と琵琶湖西岸域をターゲットとして研究を進める。

(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。

これまでの研究

シナリオ地震の強震動予測における特性化震源モデルの構築に関しては、最近、入倉・三宅(2001)、Irikura (2002)などにより「レシピ」の形にまとめられてきた。さらに、特性化震源モデルを用いた強震動波形の計算は、1995年兵庫県南部地震(Kamae and Irikura, 1998)、1999年トルコ・Kocaeli地震(Kamae and Irikura, 2000)、1999年台湾・Chi-Chi地震(Iwata et al., 2000)、2000年鳥取県西部地震(池田ほか, 2001)などにおいて行われ、観測された強震動との比較により、最適な特性化震源モデルを推定するという研究が進められている。この震源特性化の手続きにおいては、上に述べたような断層に關す

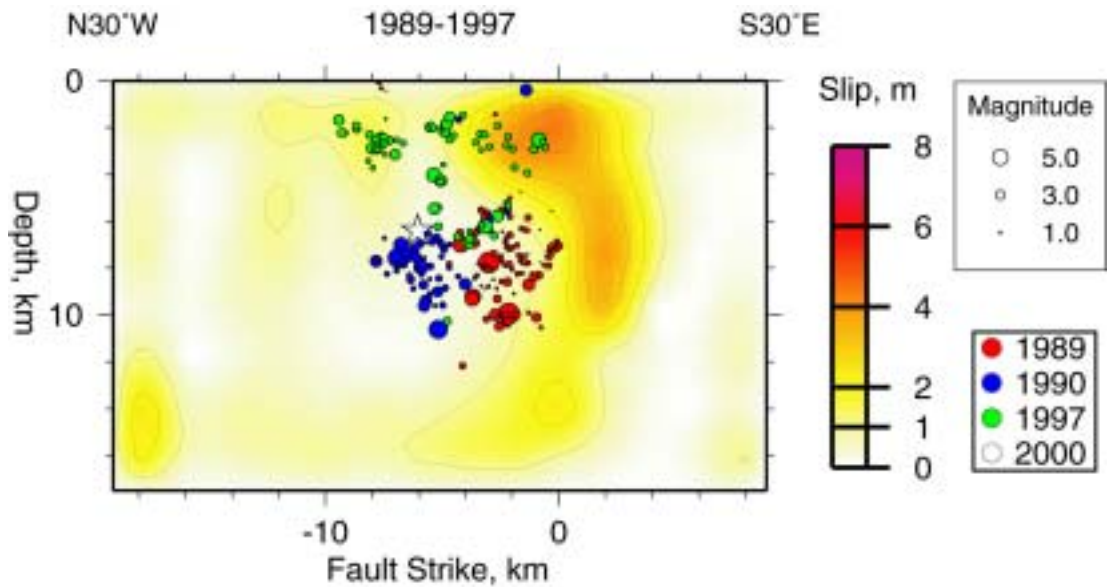


図 1 2000 年鳥取県西部地震に先行して発生した群発地震(1989 年：赤，1990 年：青，1997 年：緑)と本震の破壊開始点(星印)と本震時のすべり分布との関係。いずれも本震の主断層面に投影されている。

る巨視的あるいは微視的なパラメータを何らかの方法で決める必要がある。本研究では、地震活動の解析からこの問題に寄与したいと考える。

活断層におけるアスペリティと地震活動

Malin et al. (1989)は、San Andreas 断層の Parkfield セグメント近傍の地震活動の解析から、1966 年 Parkfield 地震の前震(M5.1)と本震(M5.9)のアスペリティが非地震性であることを見出した。この非地震性アスペリティの周辺部ではストレスドロップの大きな地震が発生していることもわかった。

Schaff et al. (2002)は、カリフォルニア州 Calaveras 断層の地震活動解析から、断層上に 30 年以上も非地震性を保っている領域が存在することを見出した。1984 年 Morgan Hill 地震(M6.2)においてすべりが大きかった場所とこの非地震性の領域とが良く一致することから、この領域は大地震のインターバルの期間にはロックしていると考えられる。

Westerhaus et al. (2002)は、1999 年トルコ・Izmit 地震(Mw7.4)において、本震の破壊開始点は b 値の最も低い領域の近傍に位置することを見出した。

Shibutani et al. (2002)は、2000 年鳥取県西部地震(Mj7.3)に先行して発生した群発地震と本震の震源過程の関係について議論した。図 1 に示すように、群発地震は同一断層面上の異なる領域に発生しており、その b 値は 0.51~0.64 とかなり低い値を示した。本震の破壊開始点は群発地震の発生域近傍に位置する。すなわち、本震の破壊開始点は b 値の低い領域の近傍に位置したことになる。図 1 には、本震時のすべり分布(関口・岩田, 2001)もカラーコンターで示されているが、すべりが大きい主破壊域と先駆的群発地震域とが相補的な位置関係にあることが明瞭に示されている。

これらの事例から、地震活動とアスペリティや破壊開始点との関係について、次のように考えること

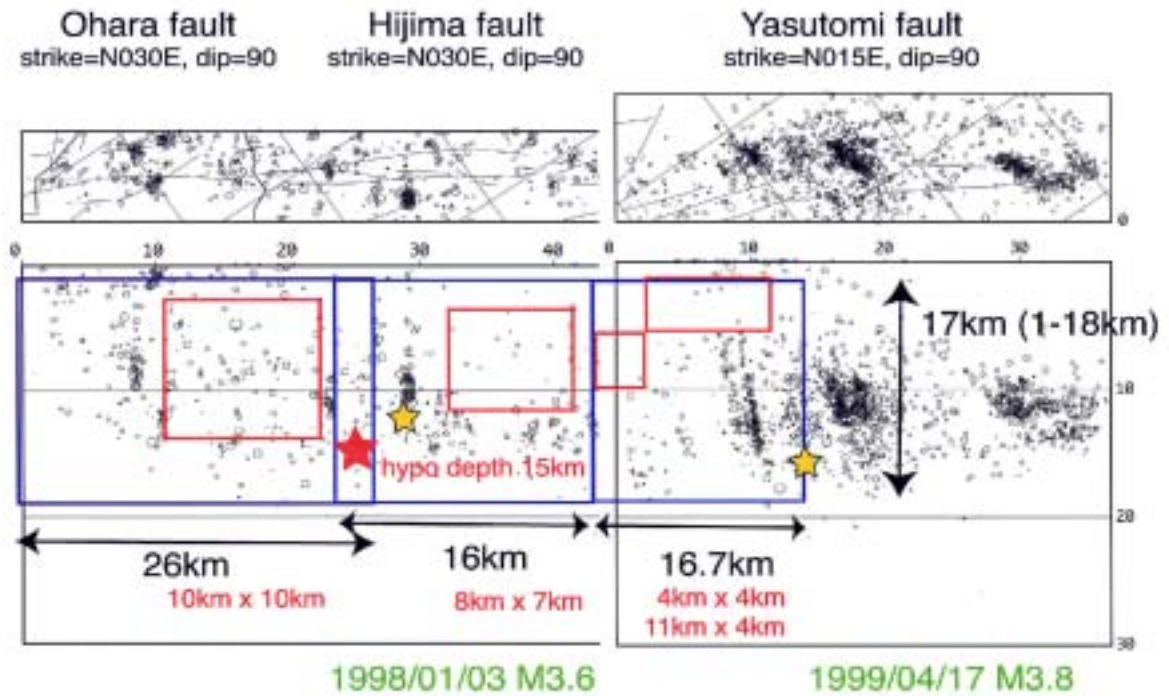


図2 山崎断層近傍の1980年から1999年までの20年間の地震分布。(上図)震央分布。(下図)断層面に投影した深さ分布。青い四角は想定断層、赤い四角は推定したアスペリティを示す。赤い星印は推定した破壊開始点を示す。黄色の星印はM3.6とM3.8の地震の位置。

ができる。来るべき大地震の破壊開始点やアスペリティとなるであろう領域では、応力集中が起き、既存のクラックの一部が閉じ、均質化が起こり、 b 値が低下する(Scholz, 1968)。また、アスペリティは断層面のカップリングが強い領域であるから、定常的には低地震活動域となる。そこで本研究では、(1)破壊開始点は低 b 値域であり、(2)アスペリティは低地震活動域である、という仮定を設け、地震活動の解析から、破壊開始とアスペリティに関する情報を推測することを試みる。

山崎断層における予備的解析

京都大学防災研究所地震予知研究センター鳥取観測所により決定された震源データのうち1980年から1999年までの20年間のデータを用いて、山崎断層周辺における地震活動の不均質分布を調べた。山崎断層は、岡山県から兵庫県にかけて北西-南東方向に走る全長約87kmの活断層で、确实度は、活動度はBと評価されている。北西側から大原、土万、安富、琵琶甲断層というセグメントと、さらに土万断層の南東端部付近から分岐する暮坂峠、三木断層というセグメントとから構成される(活断層研究会, 1991)。今回は、大原、土万、安富断層に限って解析を行った。図2に示すように、活断層トレースを中心に幅5kmの領域を取り、その中に発生した地震の断層面上での深さ分布図を作成する。この地震分布から地震活動の低い領域を検出し、アスペリティの位置、大きさ、個数を推定することを試みた。

(c) 業務の成果

解析結果と考察

結果を図2に示す。各セグメントでの想定断層の位置、長さ、幅を青い四角で表す。各想定断層内において低地震活動域から推定されたアスペリティの位置、大きさを赤い四角で表す。アスペリティの推定においては、地震活動の不均質分布からの情報のほかに、震源特性化のレシピからの要請、たとえば想定断層の総面積に対するアスペリティの面積の割合が22%であるなど、も考慮されている。

この結果をもとに、岩田ほか(2002)は経験的グリーン関数法を用いて、山崎断層周辺の強震観測点における強震動波形を合成し、計測震度分布の予測を行った。その結果、山崎断層近傍の山崎町や南光町では震度6強が、山崎断層の周辺部で6弱~5弱が予想された。

ここで問題としなければならないことは、震源精度、とくに深さの精度がどの程度あるかということである。この場合、相対精度もさることながら絶対精度も必要とされる。一般的に震源の深さの絶対的な精度は、その直上に密に観測点がある場合はよいが、そうでない場合は1~5km程度の誤差を含むものと考えなければならない。このような誤差は、アスペリティの位置や大きさの推定にかなりの不確定さを生じさせ、その結果、強震動予測の信頼性を落としてしまう。

図3に2000年鳥取県西部地震での例を示す。上図は、稠密余震観測(2000年鳥取県西部地震合同稠密余震観測グループ, 2001)を含めたデータに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、これらを用いて本震の発生した2000年10月6日の地震を再決定した場合の断層面に沿う深さ分布である。これと気象庁の震源カタログ(気象庁, 2002)に基づく深さ分布(下図)とを比較すると、気象庁の震源は5km程度深く決まっていることがわかる。逆に考えれば、基盤観測の整備により高密度化した最近の地震観測網で得られた震源データを用いたJHD法による再決定により、過去の震源精度の向上を図ることができる。

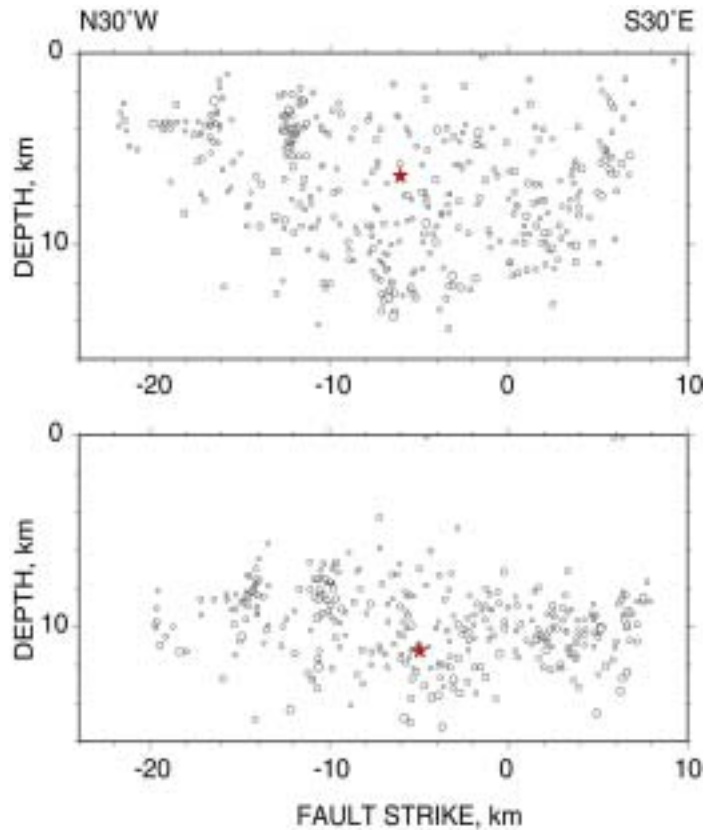


図3 2000年鳥取県西部地震における10月6日に発生した地震の断層面に投影した深さ分布。(上図)JHD法(本文参照)により得られた観測点補正を考慮した場合。(下図)気象庁の震源カタログも場合。赤い星印は本震の破壊開始点。

(d) 結論ならびに今後の課題

地震活動の解析が、特性化震源モデルの構築に当たり、推定断層の位置や大きさなどの巨視的パラメータだけでなく、その内部のアスペリティの位置や大きさなどの微視的パラメータの推定においても有用な情報を与えることがわかった。ただし、震源精度、とくに深さの絶対精度を良くしなければ、信頼性の高い推定はできない。

今後の課題としては、震源精度を向上させるために、最近の高密度化した観測網のデータと過去のデータをジョイントした震源再決定を行う。さらに、 b 値の空間分布のマッピングによる破壊開始セグメントの推定を試みる。

(e) 引用文献

- 1) 2000 年鳥取県西部地震合同稠密余震観測グループ: 稠密余震観測による 2000 年鳥取県西部地震の余震分布とメカニズム解について, 日本地震学会ニューズレター, 13, 23-27, 2001.
- 2) 池田隆明, 釜江克宏, 三輪 滋, 入倉孝次郎: 2000 年鳥取県西部地震の震源モデルの再検討, 日本地震学会予稿集, 2001 年度秋季大会, A74, 2001.
- 3) Irikura, K.: Recipe for estimating strong ground motions from active fault earthquakes, in Seismotectonics in Convergent Plate Boundary, eds. Y. Fujinawa and A. Yoshida, Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, 45-55, 2002.
- 4) 入倉孝次郎, 三宅弘恵: シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110, 849-875, 2001.
- 5) 岩田知孝, 三宅弘恵, 澁谷拓郎, 入倉孝次郎: 強震動予測レシピに基づく内陸活断層におけるシナリオ地震の強震動予測, 平成 13 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, AV-34, 2002.
- 6) Iwata, T., H. Sekiguchi and A. Pitarka: Source and site effects on strong ground motions in near-source area during the 1999 Chi-Chi Taiwan, earthquake, Eos Trans. AGU, 81 (48), Fall Meet. Suppl., S72B-07, 2000.
- 7) Kamae, K. and K. Irikura: Source model of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake and simulation of near-source ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 88, 400-412, 1998.
- 8) Kamae, K. and K. Irikura: Source modeling for simulating strong ground motion during the 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, Eos Trans. AGU, 81 (48), Fall Meet. Suppl., S51A-09, 2000.
- 9) 気象庁: 地震年報平成 12 年, 2002.
- 10) Malin, P. E., S. N. Blakeslee, M. G. Alvarez and A. J. Martin: Microearthquake imaging of the Parkfield asperity, Science, 244, 557-559, 1989.
- 11) Schaff, D. P., G. H. R. Bokelmann, G. C. Beroza, F. Waldhauser and W. L. Ellsworth: High-resolution image of Calaveras Fault seismicity, J. Geophys. Res., 107(B9), 2186, doi:10.1029/2001JB000633, 2002.
- 12) 関口春子, 岩田知孝: 震源過程が支配する震源近傍強震動 2000 年鳥取県西部地震, 日本地震学

会予稿集，2001 年度秋季大会，A73，2001 .

- 13) Shibutani, T., S. Nakao, R. Nishida, F. Takeuchi, K. Watanabe and Y. Umeda: Swarm-like seismic activity in 1989, 1990 and 1997 preceding the 2000 Western Tottori Earthquake, *Earth Planets Space*, 54, 831-845, 2002.
- 14) Westerhaus, M., M. Wyss, R. Yilmaz and J. Zschau: 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.*, 148, 139-152, 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

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

(a) 業務の要約

微小地震発震機構の空間的分布および時間変化を詳細に調べることにより、活断層周辺における発震機構の特徴を抽出し、大地震の発生との関連について調べる。

(b) 業務の実施方法

近畿地方の微小地震の発震機構の既存データを収集し、またデータの不足を新たに発震機構を求め補間する。地震波形データとしては、京都大学防災研究所の阿武山系微小地震観測網のものを使用する。

これまでの研究

飯尾により、

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, 11,209-11,216, 1996.

が発表されているがこの論文の元となったデータセットが存在する。

Katao, H., N. Maeda, Y. Hiramatsu, Y. Iio and S. Nakao, Detailed Mapping of Focal Mechanisms in/around the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake Rupture Zone, *J. Phys. Earth*, 45, 105-119, 1997.

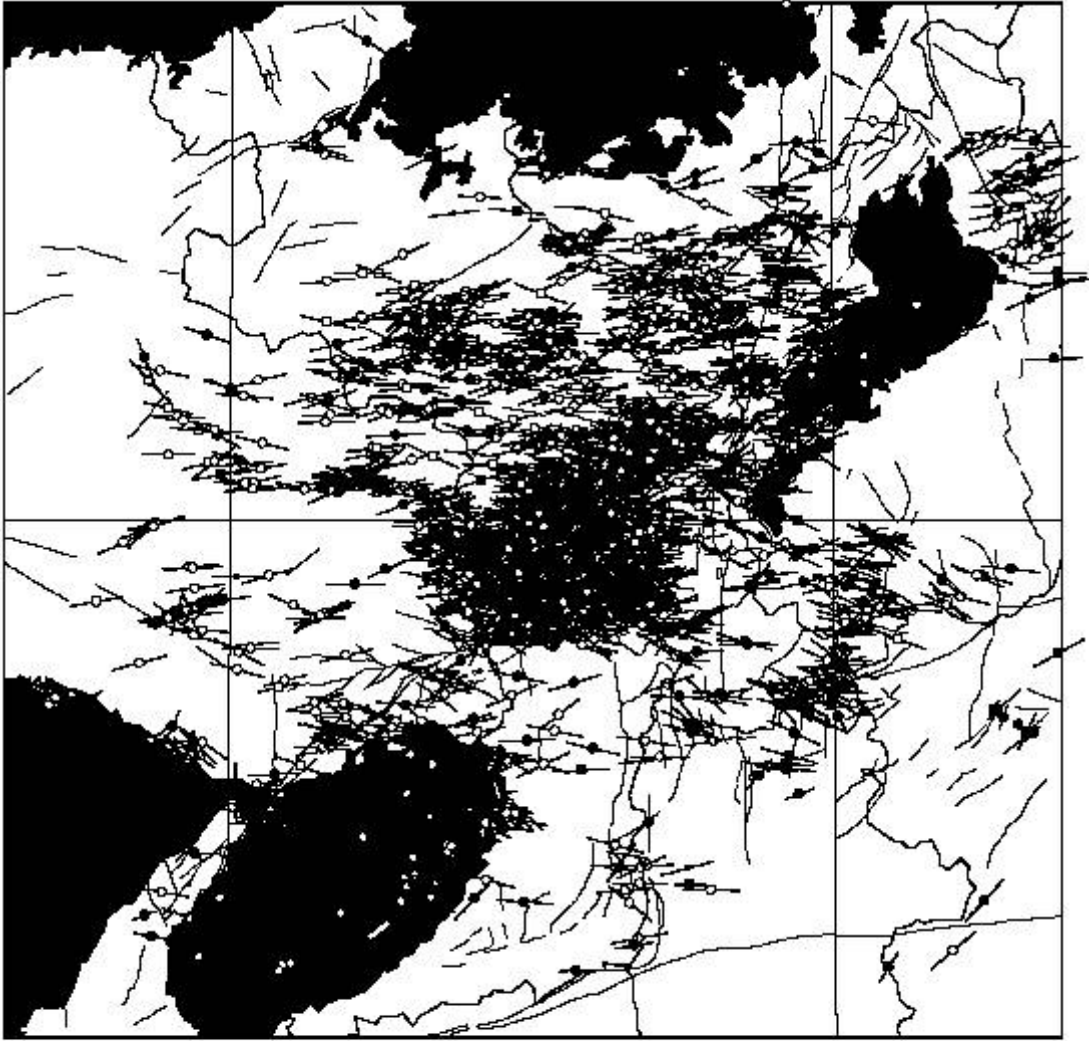
Yamanaka, H., Y. Hirasu and H. Katao, Spatial distribution of atypical aftershocks of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, *Earth Planets Space*, 54, 933-945, 2002.

等により兵庫県南部地震余震と周辺域の発震機構データセットが存在する。

解析方法

(1) 既存データをコンパイルと、データセット間の整合性の検討

既存データの主なものは Iio(1996)による丹波山地の微小地震発震機構 (図 1)、Katao et al.(1997) や Yamanaka et al., (2002)による兵庫県南部地震余震および同時に活発化した丹波山地の微小地震発震機構 (図 2)。



lio's Mec-DB 1980~1991

図1 lio(1996)による丹波山地の微小地震発震機構。震央の位置とP軸の向きを示す

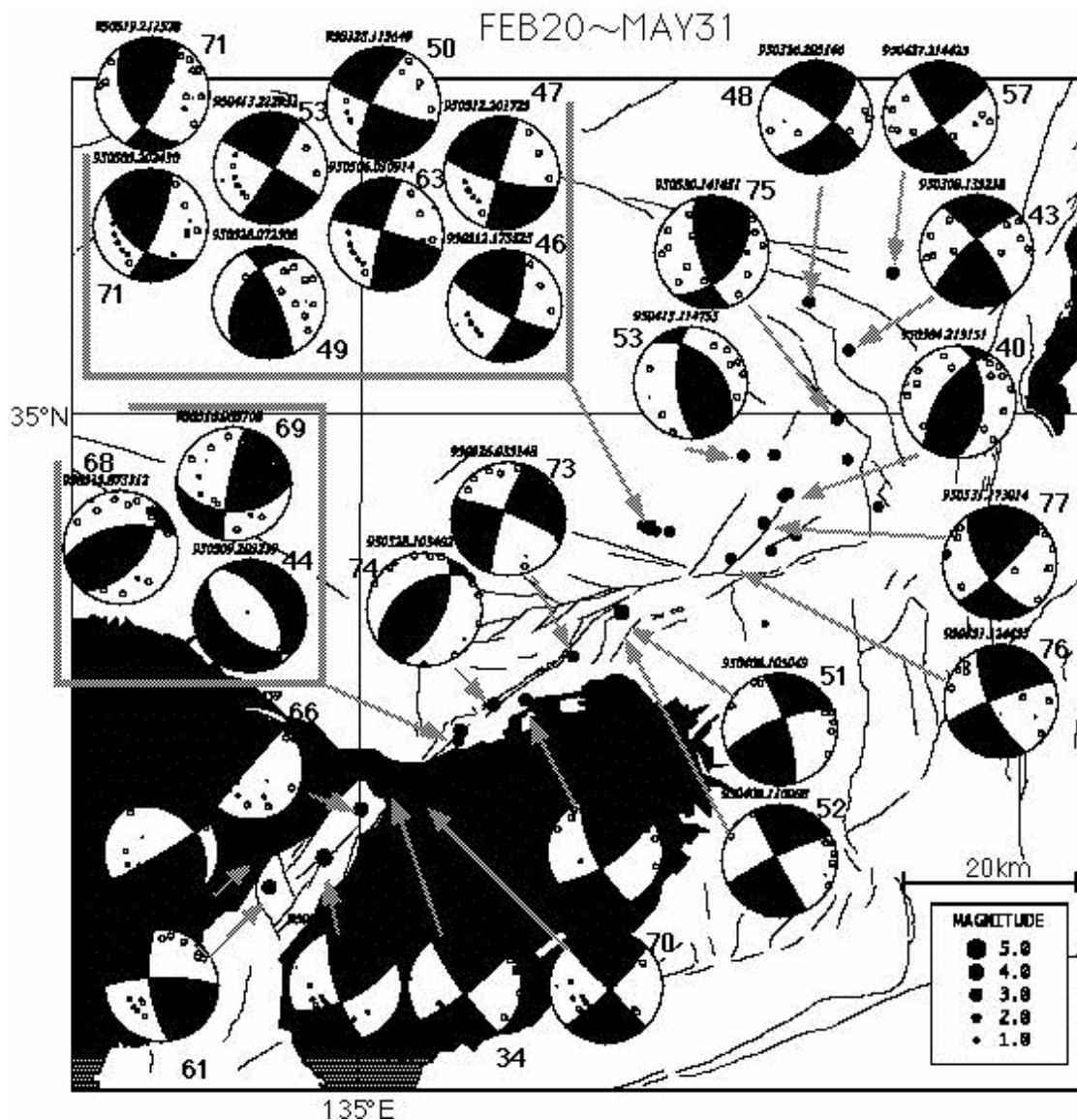


図2 Katao et al.(1997)による兵庫県南部地震余震と丹波山地の微小地震発震機構

Iio(1996)では1976年から1991年までの概ねM2.5以上の地震についてのデータが揃っている。Katao et al.(1997)では1995年の兵庫県南部地震直後のデータがある。その後も京都大学防災研究所地震予知研究センターの阿武山系観測網のデータがM3以上のものについては1997年ごろまで不完全ながらも多くの発震機構解データが存在する。

(2)補完的解析の準備

上記のデータセットの解析期間には1992~1994年のブランクがある。この時期は兵庫県南部地震の発生前に地震活動の静穏化等がみられた時期に当たり重要である。また、後者の解析は兵庫県南部地震の余震が主であるため丹波山地のデータはやや不十分なところがある。そのため両データセットを補間し、また最近のデータも追加するための新たな発震機構解析を行うための計算機環境の整備ならびにプログラム開発を行った。

データ

Iio(1996)、Katao et al.(1997)他の既存データセット。ならびに新たに発震機構を求めるにあたっては、地震波形データとして京都大学防災研究所の阿武山系微小地震観測網のものを使用する。

(c) 業務の成果

解析結果と考察

これまでの解析例 (Iio(1996)、Katao et al, (1997)等) では、丹波山地における微小地震の発震機構は、東西圧縮による横ずれもしくは逆断層型が卓越している。多少の圧縮軸方向のばらつきは見られるが、概ね東西方向の圧縮がこの地域の広域応力場と考えられる。丹波山地には有馬高槻構造線、花折断層、西山断層、三峠断層などの主要な活断層が存在するが、それらの近傍で発生した M4~5 の中規模地震の発震機構は必ずしも活断層の幾何学的形状とは整合的でない(活断層の走向と地震の節面が一致しない等)。今後これら活断層の形状、変位、活動履歴などとその周辺の微小地震の発震機構との関係を整理していくことが必要となる。

また、黄檗断層、生駒断層、上町断層などでは現在微小地震活動が低いため、系統的に意味のある発震機構データを得ることが困難である。これらの断層周辺においても、より小さな M においても発震機構を求める方法を開発し、丹波山地の例との比較研究を行う必要がある。

鳥取県西部地震、兵庫県北部の地震などでは、精密な余震の発震機構解が得られている。(渋谷・片尾(2002) 中尾ほか(2002)など) これら近畿圏以外のデータとの比較研究も行う必要がある。

(d) 結論ならびに今後の課題

今後の研究の進め方としては、

- (1) 既存データセットを補間延長し、過去 20 年間にわたる M2~3 以上の地震の発震機構データセットを完成する。
- (2) 高い時空間精度でみるために、従来の初動センスのみを使う方法に加えて PS 振幅比情報を用いる簡便な解析法を開発し、(1)に加えて M2 以下の地震についても解析を行う。
- (3) 内陸活断層特に近畿圏における代表的な活断層である有馬高槻構造線、花折断層、三峠断層、六甲淡路断層帯などの周辺域を対象とし、発震機構の解析から断層近傍の不均質による変化、時間的变化などの抽出を試み、さらにこれらと各断層の活動履歴、アスペリティの位置等との関係を考察する。

(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, 11,209-11,216, 1996.
- 2) Katao, H., N. Maeda, Y. Hiramatsu, Y. Iio and S. Nakao, Detailed Mapping of Focal Mechanisms in/around the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake Rupture Zone, J. Phys. Earth, 45, 105-119, 1997.
- 3) 中尾節郎, 片尾 浩, 渋谷拓郎, 渡辺邦彦: 兵庫県北部の地震(2001年1月12日, Mj=5.4)と一連の地震活動について, 京都大学防災研究所年報, 45, B, 561-569, 2002.
- 4) 渋谷拓郎, 片尾 浩: 稠密余震観測による 2000 年鳥取県西部地震の余震分布とメカニズム解について, 日本地震学会ニュースレター, 13, 3, 23-27, 2001.
- 5) Yamanaka, H., Y. Hiramatsu and H. Katao: Spatial distribution of atypical aftershocks of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, Earth Planets Space, 54, 933-945, 2002.
- 6) 山中寛志, 平松良浩, 片尾 浩: 兵庫県南部地震における特異余震メカニズム解の空間分布, 京都大学防災研究所年報, 42, B-1, 97-111, 1999.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
	特になし		

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
	特になし		

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 15 年度業務計画案

山崎断層周辺について、京大、気象庁、および Hi-net の読み取りデータを用いて JHD 法による震源再決定を行い、断層面近傍での地震分布の不均質性（地震の少ない領域）に基づきアスペリティを推定する。また、b 値空間分布の不均質性（b 値が低い領域）から破壊開始域の候補を推定する。

既存データセットを補間延長し、過去 20 年間にわたる M2 ~ 3 以上の地震の発震機構データセットを完成する。有馬高槻構造線、花折断層、六甲淡路断層系における断層近傍の発震機構解の不均質分布と各断層の活動履歴、アスペリティの位置等との関係を考察する。