

丹波山地の微小地震の発震機構

片尾 浩・飯尾能久

要 旨

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既存の発震機構データをまとめて解析した。近畿地方北部全体では、P軸方位は東西もしくはやや東南東―西北西方向が卓越し、断層型は横ずれ断層と逆断層が混在している。丹波山地においては兵庫県南部地震前に東西方向に集中していたP軸方位分布は、同地震以後若干東南東―西北西方向に卓越方向が変化しており、地域応力場が変化している可能性がある。

キーワード：発震機構，地震活動，微小地震，丹波山地

1. はじめに

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。本研究では、丹波山地の定常活動を中心に近畿地方北部における既存の微小地震の発震機構データをまとめてみた。

大阪府北部から京都府中部にかけての丹波山地は、微小地震活動の活発な地域である。丹波山地内には西山断層、亀岡断層、三峠断層などの活断層が存在するが、微小地震分布とこれら特定の活断層の地表トレースとの相関はほとんどなく、むしろ小さなクラスターを形成しながら面的にやや広域に広がっているのが特徴である（片尾，2001）。また、過去に起きた大地震の余震活動であると認められる活動も見当たらない。最も活動的な地域だけでも約40km四方の広がりがあり、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。これに隣接する花折断層や琵琶湖西岸断層系周辺も、やはり

微小地震はクラスター的に分布し断層に沿った直線性には乏しいが、地震活動の活発な地域である。対照的に、周辺の大阪平野、奈良盆地などでは微小地震活動は極めて低調で、特に有馬高槻構造線を境とした南北の地震活動のコントラストは顕著である。丹波山地はいわゆる近畿三角帯の西縁に位置し、また最近GPS連続観測の結果から提唱されている新潟神戸歪集中帯（Sagiya et al., 2000）の一翼を担う場所にあたる。したがって丹波山地の地震活動様式は、近畿地方やさらに広域のテクトニクスを論じる上でも重要であると言えよう。

丹波山地の地震活動の大きな特徴は、地震活動が極めて定常的であることである。大きな例外としては、1995年兵庫県南部地震の影響を受け丹波山地全体の微小地震活動が活発化したことが挙げられるが（片尾，2001），兵庫県南部地震前後の期間に分けて見ると積算発生数はほぼ一直線を描く。M3～5中規模地震が発生すると多数の余震をとめない積算曲線を若干曲げるが、丹波山地全体を長期にわたって見た場合その影響は少ない。稀に中規模地震の発生

に先行して、地域的に地震活動の静穏化が起きた例が知られている(片尾, 2000)。研究者の中には丹波山地の地震活動を「群発活動」と表現する人がいるが、伊豆半島東方沖などの間欠的な繰り返し活動や、他の地域でみられる通常活動の低い場所で突発的に発生する群発地震とは様相が大きく異なるので「群発」という言葉は誤解を招く可能性があり、むしろ「定常活動」と呼ぶ方が妥当であろう。

2. 発震機構データ

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系の微小地震観測網では過去30年間に渡り微小地震データが蓄積されている。しかしながらルーチン的に発震機構の決定は行っていない。

1990年代初頭までのM2.5以上の地震については、飯尾が丹念にまとめた発震機構データセットが存在する。阿武山系観測網12観測点のみならず、隣接データ交換で利用できた防災研究所鳥取観測所および北陸観測所の観測網から各々2点、東京大学地震研究所和歌山観測網から3点、名古屋大学観測網から1点のデータを利用している。さらにオフラインの他機関の観測網のデータも可能な限り収集して解析を行なっている。発震機構を求める方法は、P波初動の押し引きを読み取り、Maeda(1992)の方法により決定している。このデータは例えばTio(1996)などの研究成果の基になっている。

一方、Katao et al.(1997)などによる兵庫県南部地震の余震の発震機構の研究の過程でも、丹波山地域における微小地震についての発震機構データが得ら

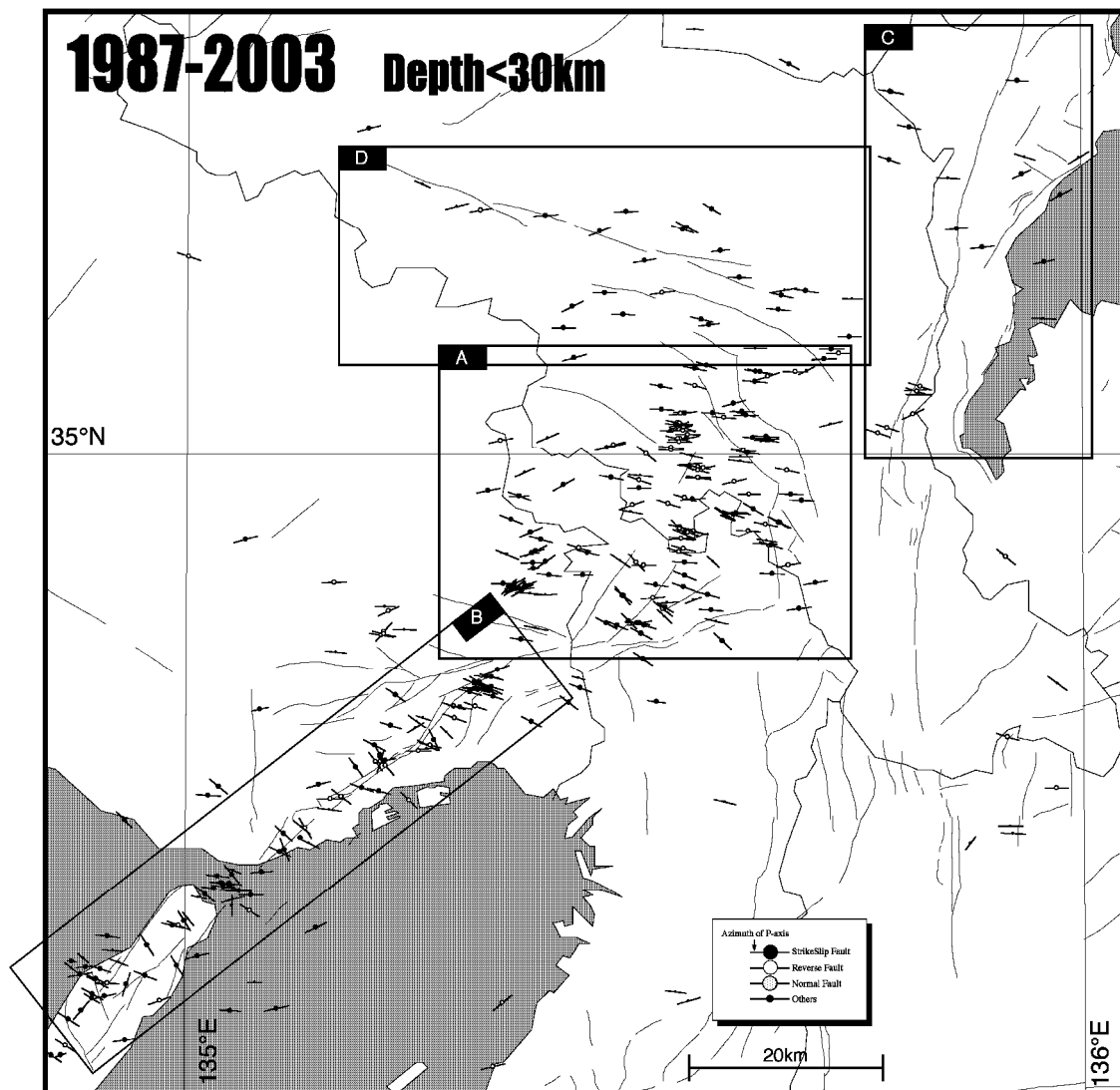


Fig. 1 P-axis direction and fault type in northern Kinki district.

れている。また、網羅的ではないもののルーチン処理のかたわら、中規模地震の発生などのイベントに際してその前後の微小地震の発震機構が求められている。発震機構の決定はやはりMaeda (1992)の方法により、P波初動の押し引きから求めている。近年、1997年の気象庁観測網との一元化や、2001年のHi net観測網と大学観測網とのデータ交換の実現により、解析に利用できる観測点とその空間配置密度が増加している。そのためP波初動の押し引きデータが多く利用できるようになっている。また、観測点配置上発震機構の求めにくい地域も少なくなっている。しかし、丹波山地内では元々阿武山系観測網の観測点密度が高かったため、観測点の新設はあまり無く、初動の押し引きから解析可能な地震のMの下限(M2.5が限界か?)は以前とあまり変わらないようである。また、最近は大学の観測網で一般的に用いられているwinシステム(ト部・東田, 1992)における標準震源決定プログラムであるhypomh(Hirata and Matsu'ura, 1987)の出力から、直接Maeda (1992)のアルゴリズムで発震機構を計算するプログラムpick2mecを開発して用いている。

3. 解析結果

上述の2つのデータセットを統合し、近畿地方北部の各々の地震のP軸の方位ならびに断層のタイプを示したものがFig. 1である。各々の地震の震央に円を描きその中塗り色で断層型を(黒丸が横ずれ、白丸が逆断層、灰色が正断層)、円に付した線によってP

軸方位を表している。発震機構データは飯尾によるデータの1987~1991年のもの1359個と、片尾による1995~2003年のもの283個を合わせて用いた。断層のタイプは山中ほか(1999)に倣い、P軸の傾きが水平面から 60° 以上立つものを正断層、T軸の傾きが 60° 以上立つ場合を逆断層、R軸の傾きが水平から 45° 以上立つものを横ずれ断層とし、それら以外のものを中間型と定義している。Fig. 2はP軸およびT軸の方位分布を 10° ごとのローズダイヤグラムにしたものである。過去の研究においても丹波山地のP軸はほぼ東西方向であることが知られていたが、今回の結果でも近畿地方北部全体では、P軸方位は東西もしくはやや東南東-西北西方向が卓越している。T軸方位分布は南北方向に卓越している。ただしこの場合T軸の傾斜角を考慮していないので、横ずれ断層が卓越していることを意味してはいない。実際にはほぼ東西圧縮の横ずれ断層と逆断層が混在しているというのがこの地域の特徴である。

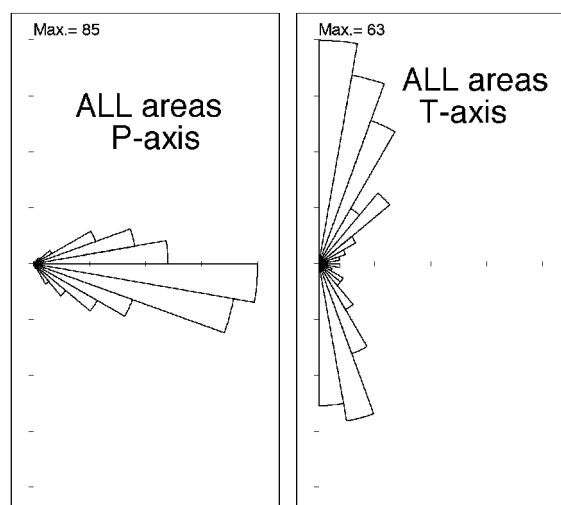


Fig. 2 Distribution of P- and T-axis direction for whole area of Fig. 1.

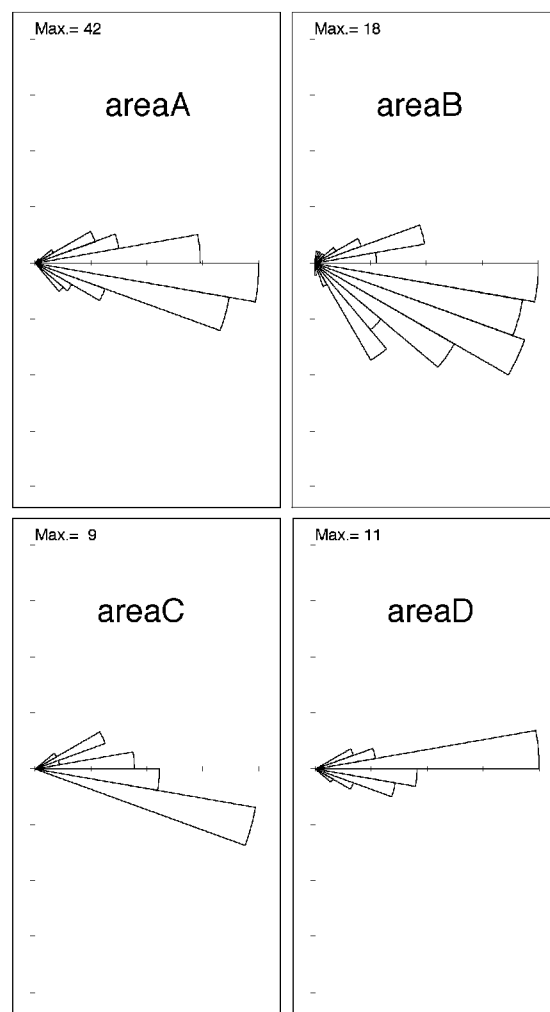


Fig. 3 Distribution of P-axis direction for areas A-D in Fig. 1.

Fig. 1に示すA～Dの各領域におけるP軸方位分布に注目してみた。A領域は丹波山地の定常活動が最も活発な地域、B領域は兵庫県南部地震余震域、C領域は花折・琵琶湖西岸断層地域、D領域は三峠断層周辺地域である。

丹波山地（A領域）における地震活動は、1995年の兵庫県南部地震直後から数倍活発になったが、微小地震の発震機構は、基本的には東西主圧縮軸を持つということで変わりはない。断層型は横ずれ断層と逆断層が混在しているという点でも同じである。しかし、A領域においては兵庫県南部地震前に東西方向に集中していたP軸方位分布は、同地震以後若干東南東一西北西方向に卓越方向が変化し、またそのバラつきも大きくなっている（Fig. 3 左上； Fig. 4）。卓越するP軸方位の変化は、兵庫県南部地震によって隣接する丹波山地の応力場が変化していることを示しているのかもしれない。また、P軸方位のバラつきが増加した点については、局所的な応力変化と応力集中が起きており、それにともなって地震活動度も増加している可能性もある。この地域の活断層と整合的でない節面を持つ地震が多くみられる。兵庫県南部地震前後に群発活動が活発であった兵庫県猪名川町付近では、北東一南西方向のP軸が卓越している。有馬高槻構造線に沿う地域ではP軸は西北西一東南東のことが多い。特に有馬高槻構造線よりも南側にある地震のリニアメントでは、P軸は南東一北西に近く、有馬高槻構造線に並行する伏在断層の存在が示唆されている（京都大学防災研究所地震予知研究センター、1996）。

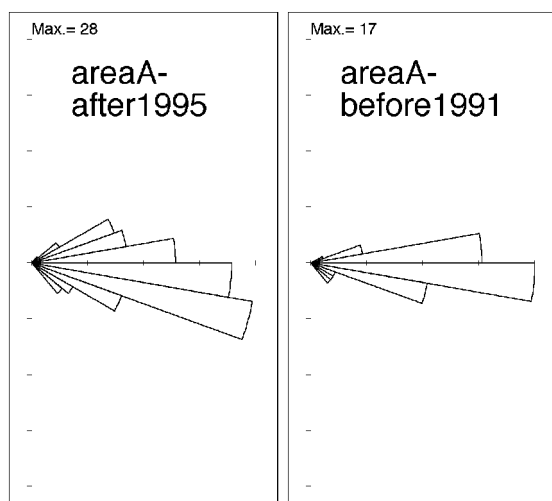


Fig. 4 Rosed diagram of P-axis for area A in Fig. 1. Before the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake (Right) and after the earthquake (Left).

兵庫県南部地震余震域（B領域）でもP軸の卓越方位は東南東一西北西であるがバラつきが大きい（Fig. 3 右上）。ほとんどは兵庫県南部地震の余震であるが、余震域内部でも断層型は横ずれ断層と逆断層が混在している。余震域北東端や明石海峡付近等でP軸方位、断層型ともに同じものが集中しているクラスターがみられる。余震のいくつかはP軸方位が南東一北西方向を向き、本震断層の走向とほぼ直交するものがみられる。また、少数だが正断層解を持つものも存在する。残念ながらこの領域の兵庫県南部地震発生以前の地震活動は極めて低いため、同地震前後の変化を知ることは困難である。

花折・琵琶湖西岸断層域（C領域）では、東南東一西北西のP軸方位が卓越している。（Fig. 3 左下）しかし花折断層南端部では逆断層型の地震が密集しているのに対し、琵琶湖西岸域では横ずれタイプが分散している等、領域内部でもバリエーションがみられる。北部域では、この地域の活断層である花折断層や琵琶湖西岸断層系と整合的な節面を持つ地震はほとんどみられない。

三峠断層周辺域（D領域）では、東西もしくは東北東一西南西方向のP軸を持つ地震が多い。（Fig. 3 右下）これらの発震機構の節面のひとつは三峠断層の走向に近いものが多くみられるが、必ずしも相互に1つの面上に並ぶことはないようである。

4. 今後の課題

1) 上述の発震機構の基となった押し引きデータを基に、応力テンソルインバージョンを用いて時間的・空間的に区分して系統的に応力変化を調べていく予定である。特に、兵庫県南部地震前後の丹波山地の地震活動の静穏化と活発化を念頭に、その前後の変化に注目する。

2) 兵庫県南部地震直前の3年間は、阿武山観測所系の発震機構データは存在しないが、この時期は丹波山地において地震活動の低下がみられ、兵庫県南部地震の発生に関連して発震機構の変化についても解析が必要な時期に当たる。この時期の波形データを再解析し発震機構データを追加して解析を行っていく。また、1995年以降のデータはおもにM3以上の地震を対象としているので、Mの下限と地震数の面で1991年以前のデータセットとの直接比較には難がある。1995年以降についてもさらに小さなMについ

て網羅的になるよう今後データを補間していく。

3) 特定の活断層付近の発震機構を詳細に解析する。丹波山地では東西圧縮の横ずれもしくは逆断層解が卓越しており、個々の地震の発震機構とその付近に存在する活断層のジオメトリーは整合しない例が多い。その整合性を細かく分析し、活断層の運動で発生する内陸大地震と普段の微小地震活動との関係を考察する。。

4) 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、振幅情報を利用した実用的かつ簡便な発震機構決定法を開発すると同時に、準リアルタイムでの発震機構 (= 応力場) モニタを試みる。極めて定期的に地震が発生している丹波山地は、微小地震発震機構を通して地域の応力場、特に実際の地震発生深度におけるそれを常時モニタできる可能性のある数少ないフィールドの一つであるといえる。

本研究には、大都市大震災軽減化特別プロジェクトの下にある大都市圏地殻構造調査研究計画の平成14および15年度経費の一部を使用した。

参考文献

ト部 卓・東田信也 (1992) : win 微小地震観測網
波形観測支援のためのワークステーション・
プログラム (強化版) , 地震学会講演予稿集,
No.1, C22 P18.
片尾 浩 (2002) : 丹波山地の地震活動, 月刊地球,
号外No.38, 42-49.
片尾 浩 (2000) : 中規模地震に先行する微小地震

活動の静穏化について, 京都大学防災研究所年
報, 43, B 1, 95-102.

京都大学防災研究所地震予知研究センター (1996)
: 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, 508-515.

山中寛志・平松良浩・片尾 浩 (1999) : 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.

Hirata, N and Matsu'ura, M.(1987): Maximum-
likelihood estimation of hypocenter with origin
time eliminated using nonlinear inversion
technique, Phys. Earth Planet. Inter., 47, 50-61.

Iio, Y.(1996): 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.

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

Maeda, N.(1992): A method of determining focal
mechanisms and quantifying the uncertainty of
the determined focal mechanisms for
microearthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 82,
2410-2429.

Sagiya, T., S. Miyazaki and T. Tada (2000):
Continuous GPS array and present-day crustal
deformation of Japan, Pure Appl. Geophys.,
157, 2303-2322.

Focal Mechanisms of Micro-earthquakes in the Tamba Plateau

Hiroshi KATAO and Yoshihisa IIO

Synopsis

Focal mechanisms of microearthquakes in Tamba plateau and surrounding area are investigated. Most P-axes are oriented E-W or ESE-NWN directions. Both strike-slip and reverse fault type earthquakes exist. By the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, however, it is possible that P-axes in the Tamba plateau changed to ESE-NWN from E-W.

Keywords: focal mechanism, seismicity, micro-earthquake, Tamba plateau