

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

小笠原知彦・片尾 浩・飯尾能久

要 旨

大阪府北部から京都府中部にかけての丹波山地では、1995 年の兵庫県南部地震前後で微小地震活動の変化があったことが報告されている。本研究では、丹波山地における微小地震のメカニズム解を P 波初動の押し引きを用いて決定した。この結果から、丹波山地全域で、深さ 10km 以浅で横ずれ型のメカニズム解の割合が増加したことが分かった。さらに応力テンソルインバージョンを用いることにより、丹波山地における詳細な応力場の推定を行ったところ 95%信頼範囲が広がっており、押し引きで求めた P 軸の方向とも整合的な結果が得られた。この地域に局所的な応力場の擾乱があるものと考えられる。特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、その変化が顕著であった。これらの結果は、兵庫県南部地震の断層運動から計算される理論的な応力変化と調和的である。

キーワード：丹波山地，微小地震活動，メカニズム解，応力場，兵庫県南部地震

1. はじめに

微小地震の活動の変化は大地震の発生などによる応力場の変化により引き起こされると考えられる。したがって、微小地震活動とりわけメカニズム解を詳細に見ていくことは、応力場に関する情報を得ることであり、地震発生予測にもつながる重要なテーマであるといえる。

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。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。したがって、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。

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いるが、メカニズム解の決定はルーチン作業としては行われていない。

本研究では、まず P 波初動の押し引きを基に 1992 年から 1998 年までの約 900 個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と統合することで、兵庫県南部地震前後の丹波山地における地震活動と応力場について比較した。次に、応力テンソルインバージョン法により丹波山地の詳細な応力場の推定を行い、さらに兵庫県南部地震の断層すべりによる応力変化と同地震前後の応力軸の変化との比較をおこなった。

2. データ

1995 年以降のデータについては、京都大学防災研究所地震予知研究センターの微小地震観測システム：SATARN（大見ほか、1999）により収録された波形デー

タについて、地震波形検測プログラム win(ト部・東田, 1992)を用いてP波初動の読み取りをおこなった。1992年から1994年までの波形データは阿武山観測所におけるミニコンベースの旧システム(飯尾ほか, 1992)によって収録処理されたものである。この期間についても収録された波形データをフォーマット変換した後、winを使用してあらためてP波初動の読み取りをおこなった。1978年から1991年までの14年間については、同じくP波初動を用いて飯尾により決定されたメカニズム解データが存在する。これは阿武山系観測網のみならず、隣接データ交換で利用できた防災研究所鳥取・北陸系の観測点、東京大学地震研究所和歌山観測所の観測点、名古屋大学の観測点のデータを利用し、さらにオフラインの他機関の観測データも可能な限り収集して求められたメカニズム解データである。この飯尾によるメカニズム解データは、隣接交換網のみでは得られないオフラインの観測点も含む多くの観測点についてもP波初動の押し引きが読み取られている。しかしながら、紙記録からの読み取りであるので、初動の押し引きの判定が困難な場合が少なからず存在するという問題もある。一方、本研究において押し引きを読んだ波形データは、隣接交換等により得られたオンライン観測点のもののみであるが、デジタル記録をwinによりディスプレイ上で検測できるため、Nodal planeに近い小振幅の初動部を拡大して細かく見ることが出来る点に大きなメリットがある。

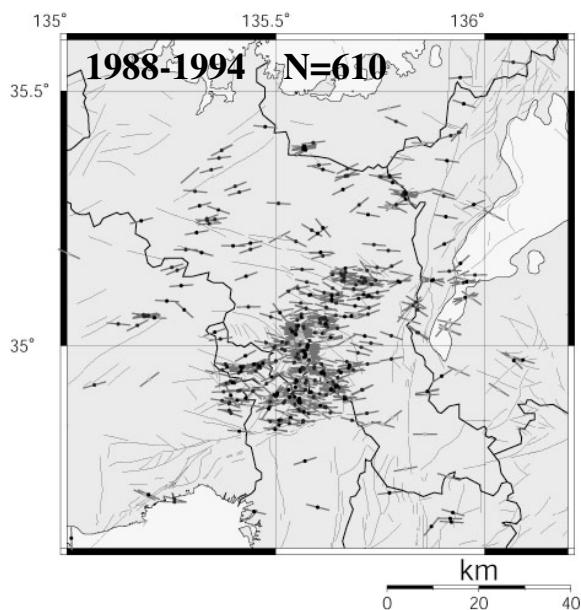


Fig. 1 Distribution of P-axis azimuth for the 610 events during 1988-1994

3. P波初動によるメカニズム解の決定

メカニズム解の決定には Maeda(1992)の方法を用いることとした。この方法は複数の観測点におけるP波初動の押し引きを入力し、最も多くの観測点で押し引きを満足するメカニズム解を探し出す方法である。

1988-1994年(兵庫県南部地震前)

1992年から1994年の3年間に阿武山系地震観測網で観測されたイベントのうち、M2.0以上のイベント約230個については、旧システムの波形データをwinフォーマットに変換したのちにP波初動を読み取った。このP波初動の押し引きデータを基に、Maeda(1992)の方法をもちいてメカニズム解を決定した。最も良いscore値を持つ解が複数ある場合は、その複数の解のP軸のazimuthが $\pm 15^\circ$ 程度に収まるものももちいることとし、その結果計81個を精度のよいものとして、以後の解析にもちいることとした。

兵庫県南部地震前後の応力軸やメカニズム解の変化をなるべく同数のイベント同士で比較するために、飯尾によりまとめられたデータセットのうち、1988年から1991年までのデータを加えた。この約1100個のうち、P軸のazimuthが $\pm 15^\circ$ 程度に収まっている529個を選んだ。1992年から1994年の81個と、飯尾による529個のイベントを合わせた610個を「兵庫県南部地震前」のデータとして、その後の解析にもちいた。

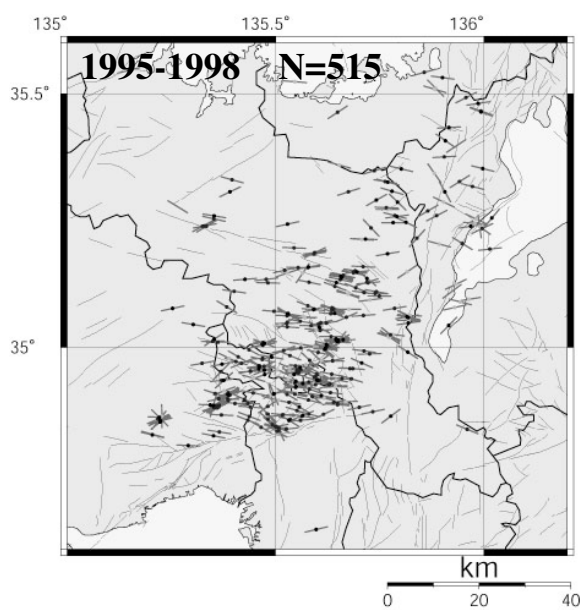


Fig. 2 Distribution of P-axis azimuth for the 515 events during 1995-1998

これらのメカニズム解の P 軸方位を各々の震央位置にプロットしたものを Fig. 1 に示す。

1995-1998 年(兵庫県南部地震後)

1995 年から 1998 年の 4 年間に SATARN システムの地震観測網で観測されたイベントのうち、M2.5 以上のイベント約 800 個について、前述したように Maeda (1992) の方法を用いメカニズム解を決定した。

「兵庫県南部地震前」のデータと同様に P 軸の azimuth が $\pm 15^\circ$ 程度に収まっている 515 個を精度のよいものとし、「兵庫県南部地震後」のデータとして、その後の解析にもちいた。

これらのメカニズム解の P 軸方位分布を Fig. 2 に示す。

P 軸方位分布は、兵庫県南部地震の前後の期間を通して、ほぼ東西方向の圧縮という点で変わりはないが、同地震後の方が方位のバラつきが大きくなっている。

3.1 断層型

断層のタイプ分けは Katao et al.(1997) に従い、P 軸の傾きが 60° 以上立つものを正断層型、T 軸の傾きが 60° 以上立つものを逆断層型、Null 軸の傾きが 45° 以上立つものを横ずれ断層型、それ以外のものを中間型と定義している。Fig. 3 に兵庫県南部地震前後のメカニズム解のタイプ別のヒストグラムを示す。

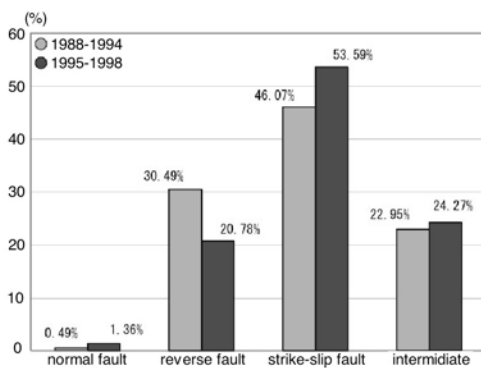


Fig. 3 Histogram on the fault type Gray for 1988-1994 and Black: for 1995-1998.

1988-1994年(兵庫県南部地震前)

解析した全610イベントの内訳は、正断層型3イベント、逆断層型186イベント、横ずれ断層型281イベン

ト、中間型140イベントである。断層タイプは横ずれ型が半数近くを占める。ついで、逆断層型が3割、中間型が2割である。京都府亀岡市付近に震源の多くが集中しているが、この地域を含む丹波山地全域において、断層型と震源分布には相関はあまりなく、逆断層、横ずれ断層、中間型が混在しているのが特徴である。正断層型のメカニズム解を持つ微小地震もごく少数ながら見つかっている。

1995-1998年(兵庫県南部地震後)

解析した全 515 イベントの内訳は正断層型 7 イベント、逆断層型 107 イベント、横ずれ断層型 276 イベント、中間型 125 イベントである。1995 年から 1998 年までの、丹波山地の微小地震のメカニズムは、515 イベントのうち半数以上を占めている横ずれ断層型の微小地震が全域にわたって発生しているのが特徴である。続いて逆断層解および中間型がそれぞれ約 2 割を占め、この 3 種の断層型が全体の 98%である。兵庫県南部地震前と比べ、逆断層型の地震が大きく減り、代わりに横ずれ断層の卓越性が増していることが分かる。

3.2 震源の深さによる比較

兵庫県南部地震前後のメカニズムの変化を深さ 0-10km と、10-30km に分けてみたのが、Table 1 である。兵庫県南部地震前後の深さ 0-10km の横ずれ型のメカニズムはそれぞれ 38.9%および 47.7%であるのに対し、

Table 1 Number of earthquakes classified by the depth and the fault type for the periods before/after the Hyogo-ken Nanbu earthquake.

1988-1994 0-10km			1995-1998 0-10km		
fault type	Num.	rate(%)	fault type	Num.	rate(%)
normal fault	0	0	normal fault	3	1.74
reverse fault	67	31.09	reverse fault	33	19.19
strike slip fault	84	38.89	strike slip fault	82	47.67
intermediate	66	30.55	intermediate	54	31.4
Sum	217		Sum	172	

1988-1994 10-30km			1995-1998 10-30km		
fault type	Num.	rate(%)	fault type	Num.	rate(%)
normal fault	3	0.76	normal fault	4	0.87
reverse fault	120	30.53	reverse fault	74	21.57
strike slip fault	197	50.13	strike slip fault	194	56.56
intermediate	73	18.58	intermediate	71	20.7
Sum	393		Sum	343	

深さ 10-30km ではそれぞれ 50.0%、56.7%と、両期間とも 10%ほど増加している。Iio(1996)は震源が深くなるほど T 軸の plunge の角度が小さくなることを報

告しているが、兵庫県南部地震以後においてもこのような特徴には変化はなかったといえる。しかし、Fig. 3の丹波山地全体のメカニズムの変化から、兵庫県南部地震後に逆断層型の地震が大きく減り(30%→20%)、かつ横ずれ断層が増加している(46%→53%)。その一方、兵庫県南部地震前後で深さごとの断層型の割合はほとんど変化がない。つまり、このようなメカニズム解の変化は、活動の主要な深さが変化したことで起こったわけではなく、何らかの理由で0-10kmにおいて横ずれ型のメカニズムが多く発生したことが原因であると結論づけられる。

4. 応力テンソルインバージョン

単一の微小地震のメカニズム解のP軸および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多数のメカニズム解より定量的に推定する。

本研究では Horiuchi et al. (1995)により開発されたインバージョン法をもちいた。P波初動の押し引きから直接、その押し引きを最もよく説明する応力パラメーターをグリッドサーチにより求める方法である。さらに推定された最適応力解から、応力状態を厳密に議論するために、Gephart and Forsyth (1984)に従って95%信頼区間を推定した。

丹波山地における微小地震活動が最も活発である地域は約40km四方におよび、この地域全体に全く同一の応力場が作用しているとは考えられない。したがって、解析領域をいくつかの小領域に分け、小領域ごとにインバージョンを行う方法をとった。インバージョンを行った領域のうち、兵庫県南部地震前後で特に変化のあった領域についてFig. 4, 5に示す。Region1では、兵庫県南部地震後に同地震前に比べ、 σ_1 軸が東西からやや北東-南西向きに変化し、 σ_3 のplungeが変化していることが大きな違いである。兵庫県南部地震直前の1994年後半には猪名川町付近の群発地震など地震活動の変化が見られ、同地震直後にも震源の浅い活発な活動が観測されている。また兵庫県南部地震余震域に最も近く、全解析領域で最も応力軸に変化があった地域の一つである。この結果は、P波初動の押し引きで決めたメカニズム解から推定される応力軸の変

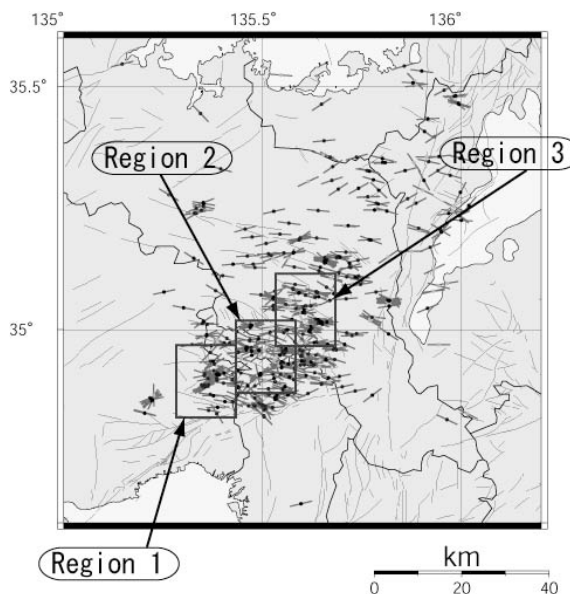


Fig. 4 Small regions for stress tensor inversion analyses.

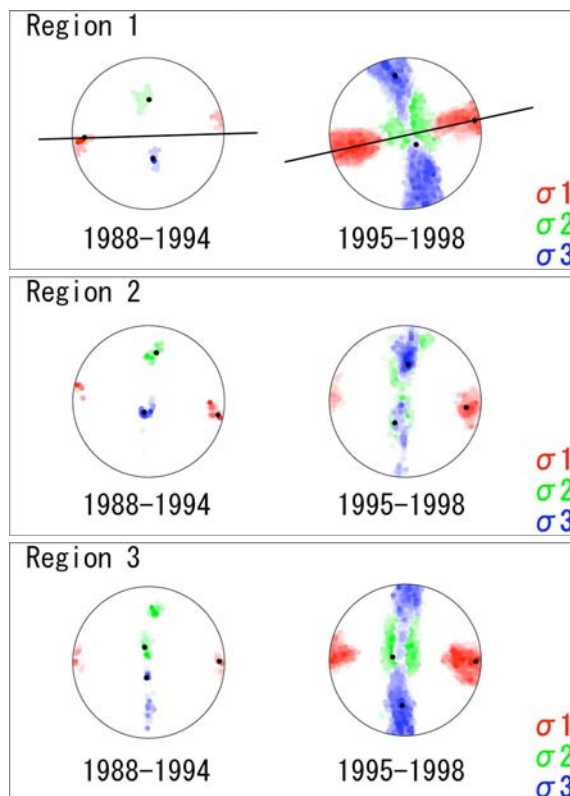


Fig. 5 Results of the stress tensor inversion for 3 small regions shown in Fig. 4.

化にも一致する。

Region2では、 σ_1 軸に大きな変化は見られないが、兵庫県南部地震前には垂直であった σ_3 は同地震後にはPlungeに大きなバラつきをもって分布していること

が分かる。さらにRegion3では、本震前後における応力軸の信頼範囲の大きさの変化が最も大きかったのが特徴である。しかし、 σ_1 のazimuth、 σ_2 のplungeに関してはほとんど変化はなかった。

5. 兵庫県南部地震による応力変化との比較

兵庫県南部地震が起こったことによる周辺地域の応力の変化と、メカニズム解および応力テンソルインバージョンにより推定された応力軸の変化について比較するために、MICAP-G (内藤・吉川, 1999) を用いて丹波山地における ΔCFF を計算した。本研究で用いた兵庫県南部地震の断層モデルは Hashimoto et al.

(1995) による断層モデルを用いた。この断層モデルは国土地理院によるGPS連続観測から得られた観測局の変位、GPS測量から得られた一、二等三角点間の辺長変化、水準測量による水準点の上下変動をデータとして、余震分布と活断層分布を参考に6つのセグメントからなる断層モデルを仮定し、最小二乗法を用いて各セグメントのすべり変位を推定している。

ΔCFF を計算する断層のモデルは、

- ① 東西圧縮が主であるため、走向が北から時計回りに 45° (strike= 45°)、dip= 90° 、rake= 180° の右横ずれ断層および、走向が北から時計回りに 135° (strike= 135°)の左横ずれ断層

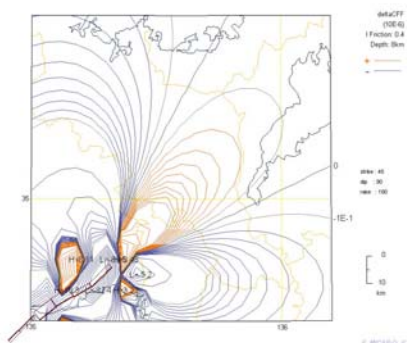


Fig. 6 ΔCFF for the fault of strike= 45° , dip= 90° , rake= 180° . Depth=8km.

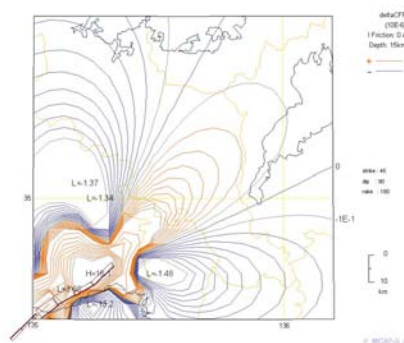


Fig. 7 ΔCFF for the fault of strike= 45° , dip= 90° , rake= 180° . Depth=15km.

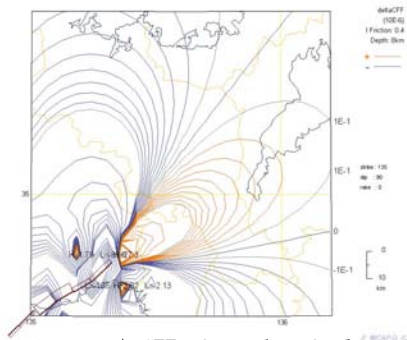


Fig. 8 ΔCFF for the fault of strike= 135° , dip= 90° , rake= 180° . Depth=8km.

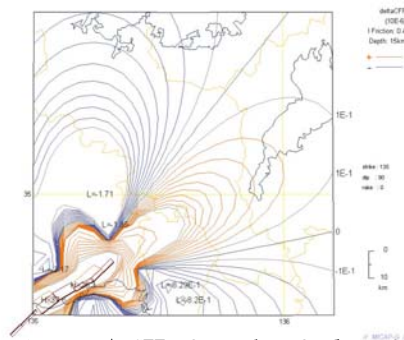


Fig. 9 ΔCFF for the fault of strike= 135° , dip= 90° , rake= 180° . Depth=15km.

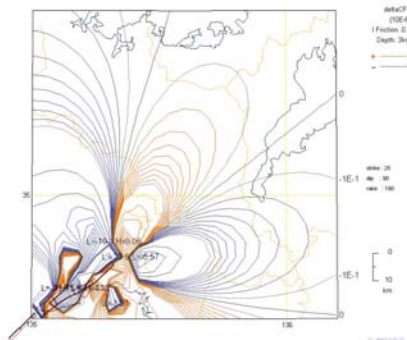


Fig. 10 ΔCFF for the fault of strike= 15° , dip= 90° , rake= 180° . Depth=3km.

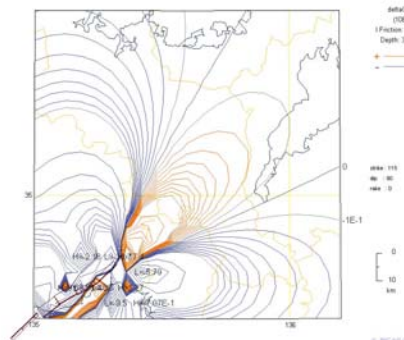


Fig. 11 ΔCFF for the fault of strike= 115° , dip= 90° , rake= 180° . Depth=3km.

②丹波山地南西部(猪名川町付近)において、 σ_1 軸が東西から東北東-西南西に変化したことから、strike=25°、dip=90°、rake=180°の右横ずれ断層および、strike=115°の左横ずれ断層の2つの場合である。またstrike=45°、135°の横ずれ断層(①)は深さ0-10kmで特に増加していることから深さ8kmおよび15kmの Δ CFFを、丹波山地南西部での兵庫県南部地震後の主要な活動は深さ約3kmだったので、strike=25°、115°の横ずれ断層(②)は深さ3kmでの Δ CFFを計算した。

Fig. 6, 7は、深さ8および15kmのstrike=45°の場合の右横ずれ断層に対する Δ CFFである。兵庫県南部地震後に地震活動が活発化した全域が増加域にあたり、兵庫県南部地震による応力の変化が丹波山地の地震活動を増加させたといえる。Fig. 8, 9は、深さ8および15kmのstrike=135°の場合の左横ずれ断層に対する Δ CFFである。大まかな分布はFig. 6, 7と似ているが、strike=45°の場合にくらべ、 Δ CFFの増加域は時計回りに10°程度回転したような分布が得られた。丹波山地はほぼ全域が増加域にはいるが、猪名川町付近の群発地震発生域はちょうど減少域と増加域の境にあたり、この地域で東西圧縮のメカニズム解がほとんどないことと一致する。また、Fig. 6, 7では、増加量が1barを超える地域は深さ=15kmよりも8kmの場合が広く、深さ0-10kmで横ずれ断層が増加していることにも調和的である。また、本研究の解析領域ではないが、兵庫県三田市付近に兵庫県南部地震後に群発的な活動が確認されている。 Δ CFFではこの地域に顕著な増加域が見られた。

丹波山地南西部(猪名川町付近)における Δ CFFの結果

Fig. 10, 11では深さ3kmにおけるstrike=25°および115°の場合の横ずれ断層に対する Δ CFFである。いずれの場合でも、猪名川町付近は Δ CFFが1barを超えるような増加域に入った。この地域では兵庫県南部地震前の1994年7月、11月に群発地震活動が起こり、同地震後にはさらに活発な活動を呈した。しかも、同地震の発生を境として、P軸方位が東西から北東-南西に変化したことが大きな特徴である。 Δ CFFの結果はこのような地震活動と非常によい相関を持つといえる。

6. 考察

本研究では、丹波山地における1992年以降のメカニズム解を網羅的に求め、さらに、それ以前のデータを加え、比較したことで、兵庫県南部地震前後のメカニズム解、応力軸の変化について解析することができた。

Katao et al. (1997)では、兵庫県南部地震後の丹波山地におけるメカニズム解は、ほぼ東西圧縮で、横ずれおよび、逆断層が卓越しており、兵庫県南部地震前後の広域応力場に大きな変化はなかったことを報告している。本研究の結果では、P軸方位のバラつきが大きくなったものの、丹波山地全域について平均の方向に大きな変化は見られなかった。また、Iio (1996)は、T軸のplungeの角度は震源が深くなるほど、小さくなることを示したが、本研究でもこれと同様の結果が、兵庫県南部地震前後で確認できた。

また、応力テンソルインバージョンを行うことによって、個々の地震のP軸の方位では分かりにくかった、より狭い領域での応力場についての議論が可能となった。その結果、兵庫県南部地震震源断層に最も近い丹波山地南西部において、東西から東北東-西南西方向への、顕著な主応力軸(σ_1)の変化があったことが確認された。この地域では σ_1 だけでなく σ_3 の変化も見られた。

丹波山地全域では、 σ_1 の方向に大きな変化はなかったが、推定された応力軸の信頼範囲が広がり、10km以浅における横ずれ断層の増加も起こった。

そして兵庫県南部地震前には丹波山地中央部には存在しなかった正断層型のイベントが、同地震後に亀岡市付近で少数ながら発生している。

Katao et al. (1997)では、兵庫県南部地震の余震の中で特異なメカニズムをもつ余震が発生し、いくつかのイベントではP軸が本震断層に垂直であることを指摘している。過去の研究でも1989年に起きたカリフォルニアのLoma Prieta地震において同様な活動が観測されている(Michael et al, 1990; Oppenheimer, 1990)。このような大地震前後のメカニズム解の変化は、すべり分布や応力分布の不均質による局所的な応力場の乱れに起因している可能性がある。

これらの研究は主に大地震の震源域内の研究結果

であるが、丹波山地のような大地震の周辺地域についても、応力場の擾乱などが観測されることが期待される。実際に丹波山地は兵庫県南部地震による Δ CFF の計算によっても、ほぼ全域が増加域にはいった。

兵庫県猪名川町付近では 1994 年 7 月と 11 月に群発地震が発生した。兵庫県南部地震後にはさらに群発地震活動が活発になっている(片尾, 1995)。兵庫県猪名川町付近では走向 25° の横ずれが起りやすいという Δ CFF の結果は、実際にその方向の活動が活発化した事実と調和的である。この地域は、兵庫県南部地震余震域北東に隣接した地域であるので、同地震による影響が最も強く、局所的に応力軸が変化した可能性がある。しかしながら、この群発活動は 1994 年の 7 月には深さ 10km 付近, 11 月には深さ 5km 付近で発生している。さらに兵庫県南部地震後には 3km と時間とともに浅くなっていく傾向が見られ、発生領域に明らかな違いが見られる。つまりこの地域における P 軸および応力軸の変化は、単なる水平方向の応力変化だけで説明するには不十分である可能性が残されている。

丹波山地の他の地域に関しては兵庫県南部地震によって加えられる応力も、それ以前の応力場と同じ東西圧縮であるので、P 軸方位の変化はない。しかし微小地震活動度は大きく上がっており、同地震により、応力の载荷はされていると考えることができる。

したがって、本震断層近傍のみで応力軸の方向変化がおこったが、それ以外の本震断層から離れた地域では応力変化、とくに方向の変化は小さかったと結論づけられる。

Yukutake (2006) は、応力テンソルインバージョンから推定される本震後の応力場と、本震断層モデルを仮定したときの断層周辺の応力変化から、1984 年長野県西部地震および 2000 年鳥取県西部地震本震断層近傍における本震前の応力場の絶対値について、推定をおこなっている。地震が起こる前に、その周辺地域で作用していた応力場を推定することは、その断層上で発生した地震の発生機構を理解することにつながる重要な問題であり、本研究の今後の課題ともいえる。

謝 辞

本研究には、京都大学防災研究所地震予知研究センターの微小地震観測システム(SATARN)により収録された阿武山観測所系・鳥取観測所系・北陸観測所系観測網の地震波形データを用いました。さらに SATARN に収録された東京大学地震研究所和歌山観測所、名古屋大学、気象庁の観測点のデータも使用しています。これらの観測網に関わっておられるすべての方に感謝いたします。

本研究の解析にあたっては文部科学省による「京都大学 21 世紀 COE プログラム: 活地球圏の変動解明」の補助を受けた計算機に用いました。

また、大学防災研究所地震予知研究センターの行竹洋平氏には研究を進める上で数多くのアドバイスをいただきました。

参考文献

- 飯尾能久・片尾 浩・浅田照行・中川 渥・竹内晴子・渡辺 晃 (1992): 光ディスクを用いた 地震波形収録処理システムについて, 京都大学防災研究所年報, **35**, B-1, 371-378.
- ト部卓・東田進也 (1992): win-微小地震観測網波形験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, No1, C22-P18.
- 大見士朗・渡辺邦彦・平野憲雄・中川渥・竹内文朗・片尾浩・竹内晴子・浅田照行・小泉誠・伊藤潔・和田博夫・澁谷拓郎・中尾節郎・松村一男・許斐直・近藤和男・渡辺晃 (1999): 微小地震観測網 SATARN システムの現状と概要, 京都大学防災研究所年報, **42**, B-1, 45-60.
- 片尾浩 (1995): 近畿地方北部の微小地震活動の活発化, 地震予知連絡会会報, **54**, 7-2.
- 内藤宏人・吉川澄夫 (1999): 地殻変動解析支援プログラム MICAP-G の開発, 地震, **2**, **52**, 101-103..
- Gephart, W. J. and D. W. Forsyth (1984): An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: Application to the San Fernando Earthquake Sequence, J. Geophys. Res., **89**, No.B11, 9305-9320.

- Hashimoto, M., T. Sagiya, H. Tsuji, Y. Hatanaka and T. Tada (1995): Co-seismic displacements of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, *J. Phys. Earth*, **44**, 255-279.
- Horiuchi, S., G. Rocco and A. Hasegawa (1995): Discrimination of fault planes from auxiliary planes based on simultaneous determination of stress tensor and a large number of a fault plane solutions, *J. Geophys. Res.*, **100**(5), 8327-8338.
- Iio, Y. (1996): Depth-dependent change in the focal mechanism of shallow earthquakes: Implications for *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.
- Michael, A. J., W. L. Ellsworth and D. H. Oppenheimer (1990): Coseismic stress changes induced by the 1989 Loma Prieta, California Earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **17**, 1441-1444.
- Oppenheimer, D. H. (1990): Aftershock slip behavior of the 1989 Loma Prieta, California Earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **17**, 1199-1202.
- Yukutake, Y. (2006): Spatial change in the stress field around large earthquake faults, Doctor thesis, Kyoto University.

Determination of Focal Mechanisms of Microearthquakes and Estimation of the Stress Field in the Tanba Region

Tomohiko OGASAWARA, Hiroshi KATAO and Yoshihisa IIO

Synopsis

We determined newly focal mechanisms of about 900 microearthquakes in the Tanba region, adjacent area of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, using up/down sense of P-wave onset, and also analyzed regional stress field using the stress tensor inversion method. Average feature of focal mechanisms and the stress field was not changed by the Hyogo earthquake. But, southwestern areas in the Tanba region near the rupture of the Hyogo earthquake show the changes on P-axis azimuth and the stress field. These results are well consistent with the theoretical stress pattern caused by the Hyogo earthquake.

Keywords: Tanba Plateau, micro-earthquake, focal mechanism, stress field, 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake