

兵庫県南部地震前後の周辺地域の 地震活動の変化と近畿のサイスマテクトニクス

吉田 明夫¹⁾

1. はじめに

兵庫県南部地震の前震, 余震活動の概略についてはすでに地質ニュース no. 486で紹介した(吉田, 1995a)。ここでは, 時間空間的にその範囲を広げて, 前兆と見られる地震活動の変化がなかったかどうか, 兵庫県南部地震の後どこで地震活動が活発化したか見てみようと思う。後予知とはなってしまうが, 震源域とその周辺における前兆的な変化を調べておくことは, 将来, 予知の実用化を目指す上で大きな意味を持つ。そして, 前兆的な変化は震源域以外にも, そこと密接な力学的つながりの推定される, 例えば本震直後に活動が誘発された地域等でも現れていた可能性がある。また, 内陸大地震の続発性を考えるならば, 兵庫県南部地震後に活発化したところは次の大地震の有力な候補地と目され(吉田・伊藤, 1995), その場所を明らかにしておくことは, 今後の推移の予測という点でもたいへん重要である。更に, 兵庫県南部地震の前後における小・微小地震活動の変化のパターンは, いわば, その震源域を囲む地域の力学的フレームを写しだす一種のあぶりだしと見ることもでき, テクトニックな考察にとっても基礎的なデータを提供することとなろう。

ところで, 兵庫県南部地震は Huzita(1962)によって提唱された「近畿トライアングル」の南西端境界断層を震源として発生した。従って, 兵庫県南部地震の震源域形成過程とその発生の地学的意義を論じる上で, 「近畿トライアングル」のサイスマテクトニクスに関する考察は欠かすことができないと考えられる。そうした観点から, やや長期的に見た時の「近畿トライアングル」とその周辺の地震活動に

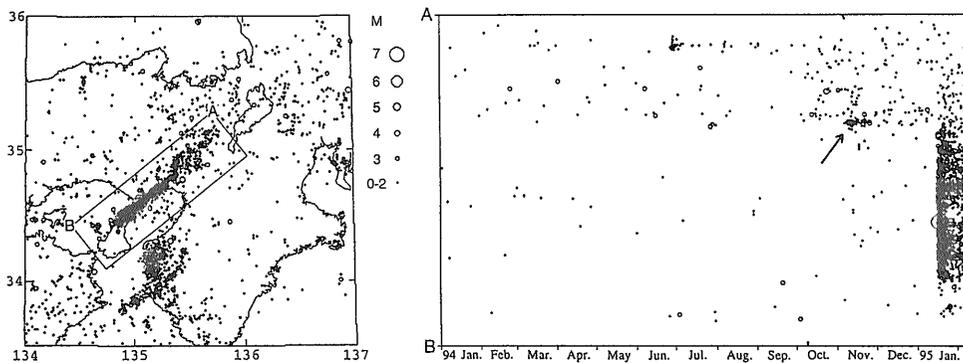
についても触れてみたい。その要点をあらかじめ述べるならば, 数年~十年という時間スケールでの地震活動のゆっくりした西進ということで特徴づけられる。もし, 地震活動の活発化を応力の増大と結びつけるならば, これはテクトニックな応力場の西方への伝播を表すことになる。ここではそのメカニズムについては述べないが(吉田(1995c)を参照), 近畿地方におけるそうした数年~十年の時間スケールで変動する応力場の起源に関して若干の検討を行う。

2. 兵庫県南部地震前後の震源域とその周辺の地震活動

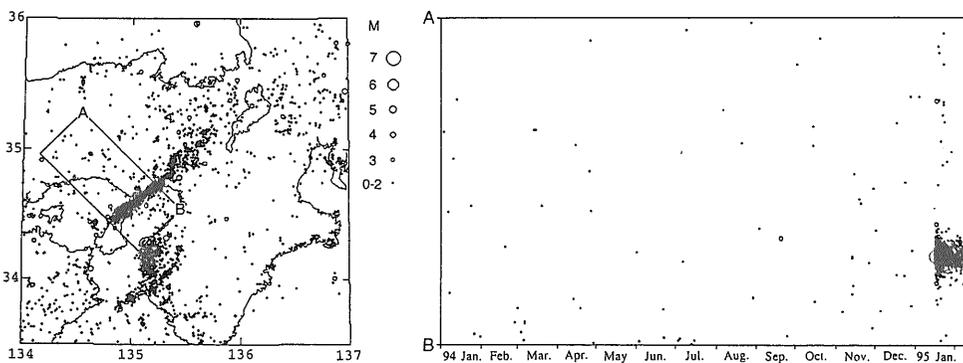
第1図は1994年1月1日—1995年2月10日の期間に兵庫県南部地震の震源域とその北東方の丹波地域に発生した浅い(深さ ≤ 30 km)地震の時空間分布である。兵庫県南部地震の後, 丹波の地震活動が活発化した様子はこの図から直ちに見てとることができるが, このほかに注目されるのは, 丹波では1994年10月頃から地震が増え始め, 11月には猪名川町で群発地震が発生していること(図中矢印で示す), また, それと同時期に兵庫県南部地震の震源域付近でも小地震の散発した形跡が見られることである。地震後の活発化は, 丹波と兵庫県南部地震の震源域との力学的関連性を示していると考えられるが, 猪名川町の群発地震に伴って兵庫県南部地震の震源域付近でも地震が起きていることはその推定を更に強めるものである。なお, 兵庫県南部地震の発生直前と, 1994年10月の活発化に先だって, 丹波の活動が静穏化したように見えることを付記しておく。

1) 気象研究所: 〒305 茨城県つくば市長峰 1-1

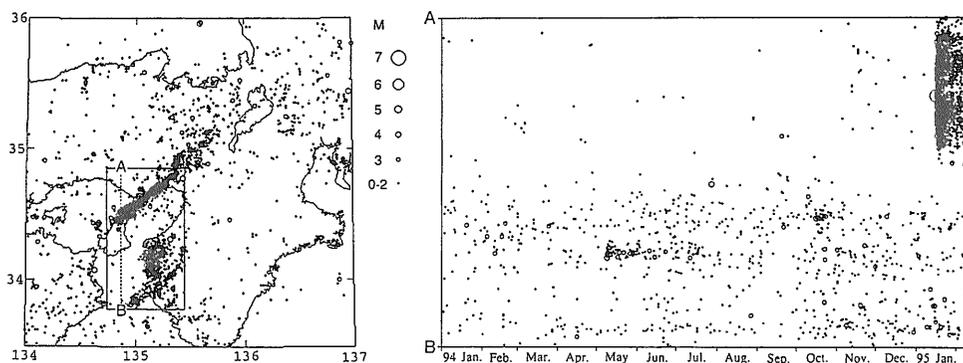
キーワード: 兵庫県南部地震, 丹波, 和歌山, 地震活動の相関, 応力場, 近畿トライアングル, テクトニクス



第1図 兵庫県南部地震の震源域とその北東方の丹波地域に発生した深さ ≤ 30 kmの地震の時空間分布。期間は1994年1月1日—1995年2月10日。大阪管区気象台の会話処理震源ファイルによる。第2, 3図も同様。図の作成にはSEIS-PC(石川ほか, 1985)を用いた。



第2図 兵庫県南部地震の震源域とその西方、山崎断層周辺に発生した深さ ≤ 30 kmの地震の時空間分布。期間は1994年1月1日—1995年2月10日。



第3図 兵庫県南部地震の震源域と和歌山付近の地震活動域に発生した深さ ≤ 30 kmの地震の時空間分布。期間は1994年1月1日—1995年2月10日。

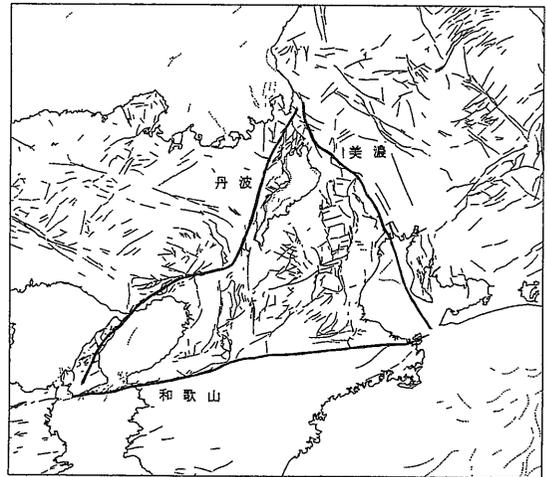
第2図は第1図と同期間における兵庫県南部地震の震源域とその西方，山崎断層周辺に発生した地震の時空間分布である。これから，山崎断層周辺でも兵庫県南部地震の直後に小地震活動が誘発されたことがわかる。これに対して，第3図に示すように，和歌山付近の地震活動域では兵庫県南部地震の影響を受けた形跡が見えない。ここには図を載せていないが，震源の南西側延長にあたる四国でも地震活動の変化は見られていない。

丹波と兵庫県南部地震の震源域との間に認められる地震活動の相関性は，兵庫県南部地震の震源域形成過程における丹波の地震活動の敏感性を示すものである。このことから推して，1994年10, 11月の丹波の活動の活発化は兵庫県南部地震の広義の前兆の変化であったと考えてよいのではなかろうか。

なお，最近10年ほどの丹波の地震活動を見ると，1994年の活発化に先んじて1992-1993年に静穏化した様子が見られる。この静穏化も前兆であった可能性が考えられるが，これについては丹波と和歌山付近の活動の間の長期的な相関関係と関連させて次節であらためて述べる。

3. 「近畿トライアングル」周辺の地震活動の相関

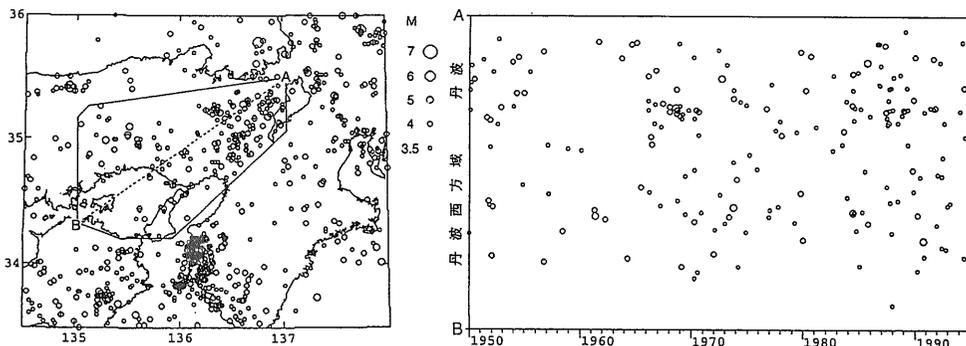
本節では，最初にも述べたように，兵庫県南部地震のテクトニックな意義を考える上で鍵構造ともいえる「近畿トライアングル」(第4図参照)に着目し，その周辺における地震活動の長期的な特徴について見てみる。なお，近畿地方の地震活動と地質構



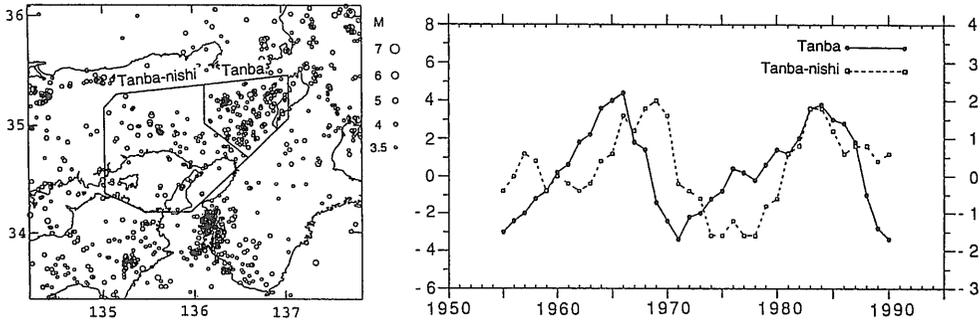
第4図 「近畿トライアングル」(太線わく内)とその周辺地域の活断層。活断層の分布は「新編」日本の活断層(活断層研究会，1991)による。

造との対応については，本誌(吉田ほか，1993)ですでに紹介しているのでそれも合わせて参照されたい。

第5図は兵庫県南部地震の震源域を含む丹波西方域と丹波地域に発生した M3.5以上の地震について見た時空間分布である。この図から，丹波地域では1950年代前半，1960年代後半，1980年代半ばと3回活動期があったことがわかるが，これに対して丹波西方域では1950年代後半，1960年代末から1970年代初め，1980年代後半から1990年代初めにかけてと，丹波地域にやや遅れて地震が多く発生している様子が見える。このような時間差を持った地震活動の相関をよりはっきりと捕らえるため，丹波と丹波西方域のそれぞれについて，前後5年間の



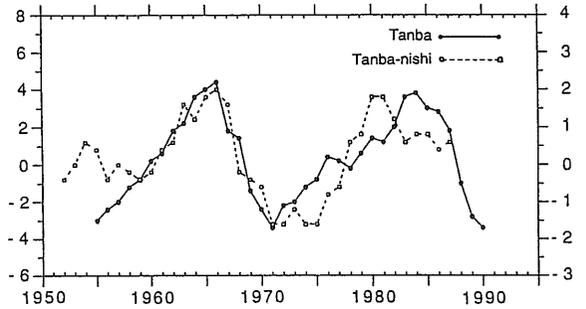
第5図 丹波と丹波西方域(兵庫県南部地震の震源域を含む)に発生した $M \geq 3.5$ ，深さ ≤ 30 km の地震の時空間分布。10日以内，10 km 以内に続いて発生した地震を除いてある。この図以下，第6, 7, 9, 10図は吉田(1995b)による。



第6図(上と右上) 丹波と丹波西方域のそれぞれについて、 $M \geq 3.5$ の地震の前後5年間の平均発生数の差(N_i を*i*年に発生した地震数とすると、差 D は $D = (N_i + N_{i+1} + N_{i+2} + N_{i+3} + N_{i+4}) / 5 - (N_{i-1} + N_{i-2} + N_{i-3} + N_{i-4} + N_{i-5}) / 5$ で表される)を各年について求め、プロットしたもの。

平均地震発生数の差を計算し、それらを重ねてプロットしたものを第6図に示す。第7図は丹波西方域のグラフを丹波のグラフに対して3年進めてプロットしたものである。両図を比べれば、第7図の方が二つのグラフの対応の良いことは明らかであろう。このことはまさに、丹波西方域の活動の変化が丹波のそれに比べてやや遅れて現れる傾向があることを示している。

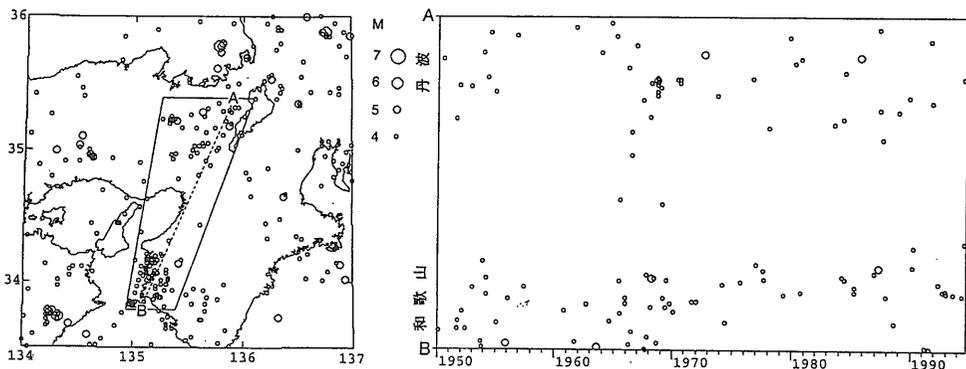
次に「近畿トライアングル」の西縁と南縁にあたる丹波と和歌山の活動を比較してみる。第8図は $M4$ 以上の地震について見た時空間分布図である。これから、両地域の地震活動の相関性は明らかと思われるが、一つだけ注意したいのは1990年代に入って丹波の活動が和歌山の活動と比べて相対的に不活発であったことである。この様子(詳しく見ると静穏化したのは1992-1993年)はもっと小さな地震



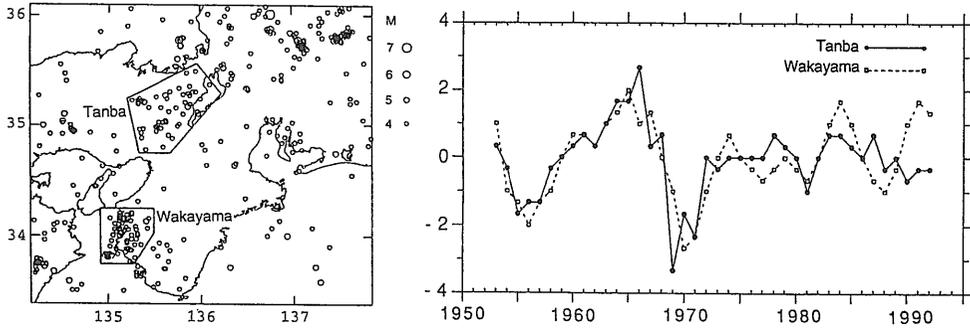
第7図 第6図の丹波西方域のグラフを丹波のグラフに対して3年進めてプロット。二つの領域の地震活動の相関の様子が第6図よりもはっきりと見える。

までとるとより明瞭である(吉田, 1995b)。

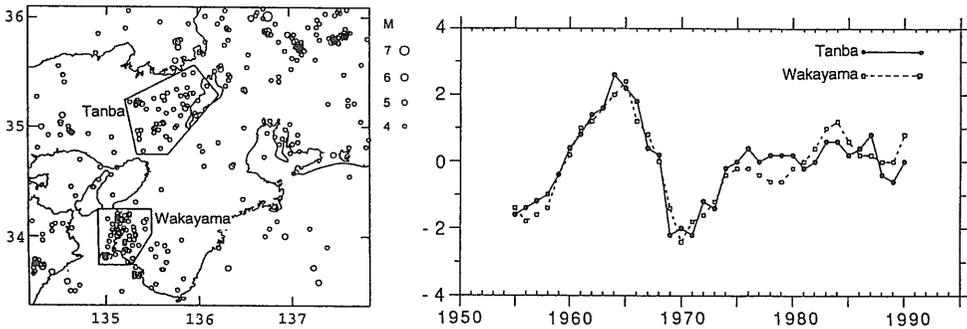
第9図は第6, 7図と同様に、丹波、和歌山付近のそれぞれの活動域について、前後3年間の平均地震発生数の差を各年について求め、それらを重ねてプロットしたもので、予想した通り、この二つの領域では地震活動がほぼ同時期に増加、減少する性質を持っていることがわかる。前後5年間の平均



第8図 丹波と和歌山を結ぶ領域に発生した $M \geq 4$ 、深さ ≤ 30 kmの地震の時空間分布。10日以内、10 km以内に続いて発生した地震を除いてある。



第9図 丹波と和歌山付近のそれぞれの活動域について、 $M \geq 4$ の地震の前後3年間の平均発生数の差を各年について求め、プロットしたもの。



第10図 丹波と和歌山付近のそれぞれの活動域について、 $M \geq 4$ の地震の前後5年間の平均発生数の差を各年について求め、プロットしたもの。

発生数の差をプロットした第10図ではその相関性は更に著しい。なお、第9図において、1990年代に入って丹波と和歌山付近の活動の変化にずれが見られることに注意したい。これは先に述べた1992-1993年の丹波での地震活動の静穏化に対応したもので、この時期、両地域の地震活動の相関が消えていたことを意味する。第2節で述べた丹波の地震活動の“敏感性”を考慮するなら、この丹波のみに現れた地震活動の低下は兵庫県南部地震の広義の前兆であった可能性があると考えられる。

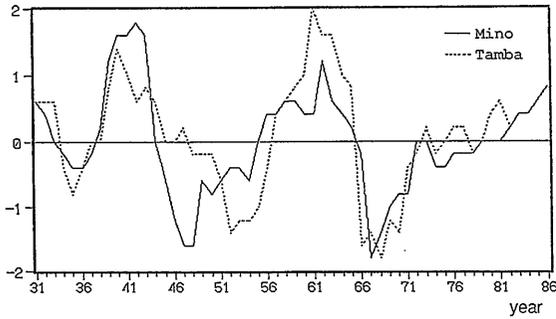
ところで、第11図に示すように、「近畿トライアングル」の東側にあたる美濃の地震活動は、丹波、和歌山の活動に対して3年ほど先行する傾向のあることがすでに指摘されている(吉田・高山, 1992)。このことと、上で見た、丹波の活動が丹波西方域の活動に対して先行する傾向のあることを合わせると、「近畿トライアングル」周辺では、少なくとも最近数十年間の地震活動を見る限り、活発な領域がゆっくりと東から西へ移っていったという著

しい特徴を持つことがわかる。もし、地震活動の活発化を応力の増大と結びつけて考えるならば、これは「近畿トライアングル」周辺において一種の応力波が東から西へ伝播していったことを意味する。次にこのような伝播性応力場の起源について若干検討する。

4. 近畿地方の地殻内応力場の起源

Huzita(1962)は「近畿トライアングル」という構造区存在を提唱した際、その造構応力として「トライアングル」を囲む美濃、丹波、紀伊半島南部の中・古生代の堆積岩層によるしめつけということ考えた。この考えでは「近畿トライアングル」には東西性と南北性の二方向の応力場が作用していることになる。しかし、近年発生した地震のメカニズム解は、近畿地方全体が東西圧縮、南北伸張の場にあることを示している(例えば、石川, 1995)。

近畿地方における東西性の圧縮応力場の起源に関



第11図 美濃と丹波のそれぞれの活動域について、 $M \geq 4$ の地震の前後5年間の平均発生数の差を各年について求め、丹波のグラフ(点線)を3年進めてプロットしたもの。吉田・高山(1992)による。

しては、これまでにいくつか考えが出されている。その主なものを挙げれば、フィリピン海プレートの斜め沈み込みによる引きずり、太平洋プレートと東北日本間のカップリング応力の北部フォッサマグナ領域を介した伝達、糸魚川—静岡構造線でのオホーツクプレートとユーラシアプレートの収束、またはアムールプレートの東進等であるが、前二者は近畿地方の日本海側から紀南まで齊一的に東西圧縮の場にあることを説明するのが難しい。また、糸魚川—静岡構造線沿いの地殻歪は必ずしも東西圧縮を示してはいない(多田・橋本, 1990)。フォッサマグナにおける応力場に関しては、伊豆半島の衝突や、北部の信濃川に沿う活構造帯のテクトニックな意義について、まず的確な評価を行うことが先決であろう。

さて、前節で述べた「近畿トライアングル」周辺域の応力場の東から西への伝播性は、応力を担う媒質が粘弾性的な性質を持つことと、その応力の起源が東方にあることを示唆している。いま、そうした柔らかな粘弾性的構造を持つ西南日本がアムールプレートに属すると考えた時、東から伝播してくる応力場の起源をアムールプレートの東進に求めるのは合理的とはいえないのではなかろうか。なぜなら、先部が“柔らかな”媒質を押しした場合、その内部の応力場は元から先へと伝播するパターンを示すと考えられるからである。ただし、このことは必ずしもアムールプレートの存在そのものを否定するわけではない。

ところで、地震のメカニズム解から求まる応力場はあくまでもそれらの地震が発生した時点における

ものであることに注意したい。Huzita(1962)は「近畿トライアングル」地域内には南北性の応力場の作用によってつくられた構造地形が存在することを指摘している。このことは近年の応力場が東西性であることと何ら矛盾するものではない。これまで繰り返し述べたように、「近畿トライアングル」周辺の応力場は強くなったり弱くなったりする波的な性質を持つ。ある時期に別のタイプの応力場が優勢になったとしても不思議ではない。実際に、例えば、南紀の応力場は1946年南海道地震の発生によって大きな影響を受け、最大主圧力方向がその地震の前は南北であった可能性が指摘されている(市川, 1966)。

筆者は「近畿トライアングル」とその周辺の応力場の起源に関する問題は、フィリピン海プレートと西南日本、太平洋プレートと東北日本、そして東北日本と西南日本間の力学的カップリング状態のエピソード的な変化による応力のゆらぎが、地殻の粘弾性的な性質やブロック構造を通してどのように伝わっていくのか、その仕組みを解明することによってはじめて本質的な理解への道が開けると考えている。

5. おわりに

兵庫県南部地震の震源域と丹波地域の間には、地震活動の短期的な変化にも、また長期的な変動傾向に関しても密接な関連性が認められる。これら二つの領域は「近畿トライアングル」の北西辺に沿って隣接しており、テクトニックな背景を見ても力学的なつながりを持つ十分な根拠を有している。こうした点を考慮すれば、丹波地域の地震活動の1994年10-11月の活発化や1992-1993年の静穏化は、兵庫県南部地震の広義の前兆の変化であったと考えてよいと思われる。

丹波地域では兵庫県南部地震の後、顕著に地震活動が活発化した。過去の事例を見ると、内陸でM7以上の大地震が発生するとその周辺で続いてM6.5クラスの地震が発生することが多く、また、後発地震は最初の地震の直後に地震活動が活発化したところで起きる特徴がある(吉田・伊藤, 1995)。このことから、今後数年、丹波とその周辺の地震活動の変化には細心の注意を払う必要があると思われる。

る。

最近数十年の地震活動には美濃から丹波・和歌山を経て丹波西方域へと活発な領域が次第に移動していった傾向が明らかに認められる。これは応力の高まりが「近畿トライアングル」地域を東から西にゆくりと伝播していったことを示すと考えられる。

「近畿トライアングル」に作用する応力場の起源については、西南日本外帯におけるフィリピン海プレートの斜め沈み込みや糸魚川—静岡構造線でのオホソクプレートとユーラシアプレートの収束、あるいはアムールプレートの東進、更には太平洋プレートと東北日本のカップリング応力の北部フォッサマグナ領域を介した伝播などが提案されているが、いずれもまだ十分に満足すべきものとはいえない。筆者は「近畿トライアングル」周辺の応力場の実態を明らかにするためには、その動的な特性に注目する必要があると考えている。プレート間境界条件のエピソード的な変化やプレート内変形に伴う応力のゆらぎが、地殻の粘弾性的性質やブロック構造を介してどのように伝わっていくか、その伝達の仕組みの解明が重要な鍵を握っているのではなかろうか。

文 献

Huzita, K. (1962): Tectonic development of the median zone (Setouchi) of southwest Japan, since Miocene. *J. Geosci. Osaka City Univ.*, **6**, 103-144.

市川政治(1966): 日本付近の地震のメカニズムに関する統計的研究と二, 三の話題. *気象庁研究時報*, **18**, 83-154.

石川有三(1995): 兵庫県南部地震と応力場, 空白域. *地質ニュース*, 本号, 22-25.

石川有三・松村一男・横山博文・松本英照(1985): SEIS-PCの開発一概要一. *構造地質*, **10**, 19-27.

活断層研究会(1991): 「新編」日本の活断層. 東京大学出版会, 479p.

多田 堯・橋本 学(1990): フォッサマグナ中・北部地域の地殻水平変動とそのテクトニックな意義について. *地学雑誌*, **99**, 92-97.

吉田明夫(1995a): 1995年兵庫県南部地震. *地質ニュース*, no. 486, 6-11.

吉田明夫(1995b): 丹波と丹波西方域及び和歌山付近の地震活動の相関と兵庫県南部地震. *地学雑誌*, **104**, 印刷中.

吉田明夫(1995c): 地殻内応力場の数年~10年の時間スケールの変動とそのテクトニックな意義. 準備中.

吉田明夫・伊藤秀美(1995): 内陸大地震の先行的活動. *地学雑誌*, **104**, 印刷中.

吉田明夫・大久保泰邦・佐藤興平(1993): 地震活動と地質構造一. *地質ニュース*, no. 468, 6-15.

吉田明夫・高山博之(1992): 近畿トライアングル周縁域の地震活動の相関とその地学的意義. *地学雑誌*, **101**, 327-335.

YOSHIDA Akio (1995): Change of seismic activities surrounding the focal region of the Hyogo-ken Nanbu Earthquake before and after its occurrence and seismotectonics in the Kinki district.

〈受付/受理: 1995年5月8日/5月24日〉