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

吉田 明 夫*

Correlation between Seismic Activities in Tanba, to the West of Tanba
and near Wakayama, and the Hyogo-ken Nanbu Earthquake

Akio YOSHIDA *

Abstract

Correlation between seismic activities in the focal region of the Hyogo-ken Nanbu earthquake and in the surrounding regions were investigated. We found that seismic activity in the Tanba region had been well correlated with that of the Wakayama region, but the correlation has disappeared in 1990s. Activity to the west of Tanba region shows a tendency to be delayed to the activity in the Tanba region and this tendency is concordant with the feature shown by Yoshida and Takayama (1992) that activity in the Mino region is advanced a few years against the activities in the Tanba and Wakayama regions. Such seismic correlations with time lags between surrounding areas of the Kinki triangle are considered to mean that tectonic stress in that district has a tendency to propagate or diffuse to the west at the velocity of ~ 10 km/year. We present some evidence which decrease of the seismicity in the Tanba region in 1992-1993 period and increase in 1994 might be precursory changes for the Hyogo-ken Nanbu earthquake. Just after the Hyogo-ken Nanbu earthquake seismic activity in the Tanba region increased remarkably and an activity of small earthquakes was observed near the Yamasaki fault located to the west of the Hyogo-ken Nanbu earthquake. However, no unusual change of seismicity was seen in the Wakayama active region. Because a disastrous intraplate earthquake is likely to be followed by another large earthquake, and the most probable site of the succeeding large earthquake is the place where seismicity becomes active after the first earthquake (Yoshida and Ito, 1995), the Tanba region and its surrounding areas should be watched intensively in the following several to ten years.

I. はじめに

著者たちは先に、Huzita (1962) によって提唱されたテクトニック構造帯としての近畿トライアングルの周縁にあたる丹波、和歌山、美濃の地震活動が互いに良い相関を示すこと、特に、美濃の

活動が丹波、和歌山の活動に3年ほど先行する傾向のあることを報告し、その地学的意義について考察した(吉田・高山, 1992)。神戸、淡路島を中心に、1923年関東地震以来という甚大な被害をもたらした1995年兵庫県南部地震の震源は、近畿トライアングル西縁の丹波活動域の南西端に隣接

* 気象研究所地震火山研究部

* Seismology and Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

図 1 丹波と和歌山の活動域を結ぶ領域に関して、 $M \geq 3$ 、深さ ≤ 30 km の地震について見た時空間分布。以下、時空間分布図の作成には SEIS-PC (石川ほか, 1985) を用いた。

Fig. 1 Space-time distribution of earthquakes with $M \geq 3$, depth ≤ 30 km, in the region connecting the Tanba and Wakayama.

SEIS-PC program (Ishikawa *et al.*, 1985) is used to make maps of space-time distribution.

し、震源断層として動いたと考えられる六甲断層系は、それ自身、近畿トライアングルを画する構造境界の一部にあたっている。こうしたことから、兵庫県南部地震の震源域付近の活動もまた丹波、和歌山の活動と何らかの関連性を持つことが推定され、その震源域形成過程においても、近畿トライアングル沿いの地殻活動が密接な関わりを持っていたと予想される。本論文ではこのような観点の基に、和歌山、丹波、それに兵庫県南部地震の震源域を含む丹波西方域の地震活動の相関関係とその変化、並びに兵庫県南部地震の前後の周辺域の活動の変化について調べた結果を報告する。

II. 丹波と和歌山の地震活動の相関

図 1 は丹波と和歌山の活動域を結ぶ領域に関して $M \geq 3$ の地震の時空間変化を見たものである。1970年代末から $M 4$ 未満の地震数が増加しているのは、76型地震計の展開によって気象庁地震観測網の検知力が増大したことを表わしている。そうした検知力の変化を考慮に入れたとしても、1950年代前半、1960年代後半、1980年代後半の活発化が丹波と和歌山の双方に明瞭に認められることから、これら両地域の地震活動の間の関連性は明らかであろう。

図 2 は1950年以降、ほぼもれなく検知できていると推定される $M \geq 4$ の地震に関して、吉田・

高山 (1992) にならって丹波、和歌山のそれぞれの地域における前後 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ある。同様に 5 年間の平均地震発生数の差の変化を求めてプロットしたものを図 3 に示す。これらの図から、両地域の地震活動がほぼ同時に活発化、静穏化している様子が明瞭に見てとれるが、特に、1960年代から1970年代にかけての変化傾向の一致は顕著と言える。ただし、図 2 で一つ注意しておきたいのは、1990年代になって両地域の地震活動の相関が消えていたことである。その様子は図 1 の時空間分布においても認められる。このことが兵庫県南部地震の前兆であったと直ちに断言することはできないが、兵庫県南部地震の数年前から震源周辺の活動——恐らく丹波の活動——が通常とは異なる変化傾向を示していたことは確かである。これに関しては第 V 章で再び議論する。

III. 丹波と丹波西方域の地震活動の時間差のある相関

吉田・高山 (1992) は、近畿トライアングル東縁の美濃の地震活動が、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を示し、それは近畿トライアングル周辺のテクトニック応力場の起源が東方にあって、かつそれが伝播性を持

図 2 縦軸は丹波（実線）と和歌山（破線）の活動域における $M \geq 4$ の地震の、前後3年間の平均発生数の差を表わす。ただし、10 km 以内、10 日以内に続いて発生した地震を除く（図3も同様）。横軸は年。

Fig. 2 The ordinate represents difference between post- and pre-three-year average of earthquake numbers with $M \geq 4$, depth ≤ 30 km, occurred in the Tanba region (solid line) and Wakayama region (broken line).

図 3 縦軸は丹波（実線）と和歌山（破線）の活動域における $M \geq 4$ の地震の、前後5年間の平均発生数の差を表わす。横軸は年。

Fig. 3 The ordinate represents difference between post- and pre-five-year average of earthquake numbers with $M \geq 4$, depth ≤ 30 km, occurred in the Tanba region (solid line) and Wakayama region (broken line).

っていることを表わしていると考えた。もし、この近畿トライアングルの東西の地震活動の時間差のある相関が実際に応力のゆっくりした伝播を反映しているならば、丹波西方域にはその活動の波が丹波より更に遅れて現われると予想される。

図4は丹波—丹波西方域について、 $M \geq 3.5$ の地震の時空間分布を見たものである。いま、1970年前後と1980年代後半から1990年代初めにかけての活動に着目すると、予想したように、丹波の方がその西方域に比べて若干先行して活動が生じている様子が認められる。1970年以前には $M 3.5$ 程度の地震も中国地方では完全に検知できていな

かったと見られるので（望月ほか、1978）、実際には1960年前後に丹波西方域でもっと地震が起きていて1950年代においても活動の移動傾向が見られた可能性がある。

図5及び図6は、図2、3と同様な手法によって、丹波と丹波西方域における5年間の平均地震発生数の変化を求め、比較して見たものである。丹波西方域の活動を3年進めてプロットした図6のほうが、時間差なしでプロットした図5と比べて、特に1960年から1970年にかけての対応が明らかに良いことが見てとれるが、これはまさに丹波西方域の活動が丹波の活動に比べて遅れる傾向の

図 4 丹波と丹波西方域を結ぶ領域に関して、 $M \geq 3.5$ 、深さ ≤ 30 km の地震について見た時空間分布。
ただし、10 km 以内、10日以内に続いて発生した地震を除く (図 5, 6 も同様)。

Fig. 4 Space-time distribution of earthquakes with $M \geq 3.5$, depth ≤ 30 km, occurred in the Tanba and to the west of Tanba.

図 5 縦軸は丹波 (実線, スケールは左) と丹波西方域 (破線, スケールは右) における $M \geq 3.5$ の地震の、前後 5 年間の平均発生数の差を表す。横軸は年。

Fig. 5 The ordinate represents difference between post- and pre-five-year average of earthquake numbers with $M \geq 3.5$, depth ≤ 30 km, occurred in the Tanba region (solid line; scale is shown in the left) and to the west of Tanba (broken line; scale is shown in the right).

あることを示している。

本章の結果は、近畿トライアングル周辺のテクトニックな応力場の少なくとも近年の変動は、その起源が東方にあって、しかも ~ 10 km/年の速度でゆっくりと西方に伝播する傾向を持っているという吉田・高山 (1992) の推論を支持するものである。著者は、ある地域一帯の地震活動の活発化や静穏化に見られる、数年 $\sim$ 10年という時間スケールでのテクトニックな応力場の変化の実態やその原因を明らかにすることは、地質構造帯や断層系などの内陸地殻ブロック構造のダイナミクス

を理解する上で基本的に重要な意味を持つと考えているが、これについてはまた稿を改めて論じたい (吉田, 準備中)。次章では上述したような兵庫県南部地震の震源域のテクトニックな位置づけに考慮を払いながら、その周辺地域の小・微小地震活動の近年の変化について検討する。

IV. 兵庫県南部地震前後の周辺の地震活動の変化

兵庫県南部地震の震源域周辺は丹波、和歌山に比べて活動度が低く、 $M 3$ 程度以上の地震をとっ

図 6 縦軸は丹波（実線、スケールは左）と丹波西方域（破線、スケールは右）における $M \geq 3.5$ の地震の、前後 5 年間の平均発生数の差を表わす。横軸は年。
丹波西方域に対する曲線を 3 年進めてプロット。

Fig. 6 The ordinate represents difference between post- and pre-five-year average of earthquake numbers with $M \geq 3.5$, depth ≤ 30 km, occurred in the Tanba region (solid line; scale is shown in the left) and to the west of Tanba (broken line; scale is shown in the right).
Graph of the difference for the region to the west of Tanba is plotted three years advanced.

図 7 兵庫県南部地震の震源域とその北東方延長の丹波活動域に、1985~1994年の期間に発生した $M \geq 2.5$, 深さ ≤ 30 km の地震の時空間分布。

Fig. 7 Space-time distribution of earthquakes with $M \geq 2.5$, depth ≤ 30 km, occurred during the period 1985~1994 in the focal region of the Hyogo-ken Nanbu earthquake and Tanba region.

たのでは、兵庫県南部地震に伴う応力や場の状況の変化を見るのに十分ではない。一方で、気象庁の地震検知力は近年格段に増大しており（横田・山本, 1989）、最近数年に限れば $M2$ 程度の地震に関しても十分議論できる。ということで、本章では、兵庫県南部地震発生前後の近畿トライアングル西縁各地域における小・微小地震活動の変化について見てみる。

図 7 は兵庫県南部地震の震源域とその北東方延長にあたる丹波地域の、最近10年間の $M \geq 2.5$ の

地震の時空間分布を示したものである。丹波では図中、破線で囲った1992~1993年の期間活動が低下し、1994年にまた活発化した様子が見えるが、統計モデルを適用してその静穏化、活発化の異常度を調べてみると、1994年の活発化は有意な異常と認められるのに対して、1992~1993年の静穏化は特に異常であったという結果にはならない（伊藤ほか, 1995）。しかし、先に指摘したように、丹波と和歌山の活動は通常良い相関を示すのにこの時期にはそれが消えていたということと、次に

図 8 兵庫県南部地震の震源域とその北東方延長の丹波活動域に発生した地震の時空間分布。
気象庁で震源の求まったすべての地震をプロット。
(a) 1994年1月1日～1995年2月10日。(b) 1994年12月1日～1995年2月10日。

Fig. 8 Space-time distribution of earthquakes (depth ≤ 30 km), occurred in the focal region of the Hyogo-ken Nanbu earthquake and Tanba region.
(a) Jan. 1, 1994 - Feb. 10, 1995. (b) Dec. 1, 1994 - Feb. 10, 1995.

述べる兵庫県南部地震発生前後の丹波、和歌山の活動の変化の特徴とを合わせ考えると、1992～1993年の丹波の静穏化は前兆であったと言って良いように思われる。

図 8 (a), (b) は図 7 と同じ地域について、それぞれ1994年1月1日～1995年2月10日、1994年12月1日～1995年2月10日の期間に発生した地震の時空間分布を見たものである。図 8 (a) で注目されるのは、1994年11月の猪名川町付近の活動(図中矢印で示す) と同時期に兵庫県南部地震の震源域付近でも地震が散発していることで、このことは猪名川町の活動が兵庫県南部地震の震源域の応力、もしくは場の状況に影響を与えたか、あるいは両地域の応力場が同時期に変化した可能性

を強く示唆する。なお、10月に活発化する前の約2カ月間、丹波の活動が静穏化していた様子も見える。

図 8 (a), (b) でもう一つ直ちに気づくことは、兵庫県南部地震の後、丹波の活動が顕著に活発化していることである。この事実は丹波地域と兵庫県南部地震の震源域との間の力学的なつながりの強さを示すと見て良いだろう。図 8 (b) ではまた、兵庫県南部地震の直前に丹波の活動が静穏化した様子も見られる。著者はこの直前の静穏化も兵庫県南部地震の前兆であった可能性が高いと考えている。その理由は同様な静穏化が内陸の顕著な地震の前にしばしば見られることで、この問題については別稿で詳しく論じる(吉田ほか、投稿中)。

図 9 兵庫県南部地震の震源域とその西方の山崎断層周辺に発生した地震の時空間分布。
気象庁で震源の求まったすべての地震をプロット。

Fig. 9 Space-time distribution of earthquakes (depth ≤ 30 km), occurred in the focal region of the Hyogo-ken Nanbu earthquake and around the Yamasaki fault which is located to the west of the Hyogo-ken Nanbu earthquake.

図 10 兵庫県南部地震の震源域と和歌山の活動域に発生した地震の時空間分布。
気象庁で震源の求まったすべての地震をプロット。

Fig. 10 Space-time distribution of earthquakes (depth ≤ 30 km), occurred in the focal region of the Hyogo-ken Nanbu earthquake and Wakayama active region.

図 9 は兵庫県南部地震の震源域とその西方、山崎断層付近の地震活動の時空間分布で、これから兵庫県南部地震の直後、山崎断層付近でも微小地震が誘発されたことがわかる。

一方、図 10 に見るように、和歌山の活動は兵庫県南部地震の影響を受けた様子が見えない。これは長期的に見て和歌山の活動と良い相関を示す丹波地域の活動が地震後、顕著な活発化を見せたことと比べて対照的であり、注目すべき事実と言える。

ところで、内陸大地震が一つ起きると続いてその周辺で別の大地震が発生する可能性が高い(吉田・高山, 1993)。そして、後発の大地震の発生場所は最初の大地震の直後に地震活動が活発化したところであることが多い(吉田・伊藤, 1995)。その意味で、今後年数、丹波とその付近の活動には特別に留意する必要があると思われる。

V. ま と め

1. 丹波と和歌山の地震活動には顕著な相関が

認められる。ただし、その相関は1990年代は消えていた。

2. 丹波と丹波西方域の活動には時間差が見られ、丹波の活動が先行する傾向が認められる。これは近畿トライアングル東縁の美濃の活動が丹波、和歌山の活動に先行する傾向のあることと整合している。
3. 近畿トライアングル周辺の近年の地震活動の西方への移動傾向はテクトニックな応力場のゆっくりした伝播ないしは拡散を表わしていると考えられる。
4. 兵庫県南部地震の震源域と丹波の活動域との間のサイズモテクトニックな密接な関係を考慮すると、丹波の地震活動に見られた1992～1993年の静穏化と1994年の活発化、特に1994年11月の兵庫県猪名川町付近の群発地震の発生は、兵庫県南部地震の前兆と言ってよいと思われる。また丹波地域で生じた直前の地震活動の静穏化も前兆であった可能性がある。
5. 兵庫県南部地震後、丹波で地震活動が著しく活発化した。山崎断層付近でも直後に微小地震が誘発された様子が見える。しかし、和歌山の活動には兵庫県南部地震の影響は認められない。今後、丹波とその周辺の活動の推

移には特別に注意を払う必要があると考えられる。

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.
- 石川有三・松村一男・横山博文・松本英照 (1985): SE-IS-PC の開発—概要—, 構造地質, **10**, 19-27.
- 伊藤秀美・吉川一光・吉田明夫・高山寛美・高山博之 (1995): いくつかの地域における最近の地震活動の異常度の定量的評価と活動推移予測, 地球惑星関連学会合同大会予稿集, p. 381.
- 望月英志・小林悦夫・岸尾政弘 (1978): 1965年～1974年の気象庁の震源検知能力, 験震時報, **42**, 23-30.
- 横田 崇・山本雅博 (1989): 地震活動等総合監視システム (その1 概要について), 験震時報, **52**, 89-99.
- 吉田明夫 (準備中): 広域地震活動の変化から推定される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.
- 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**, 544-550.
- 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.
- 吉田明夫・高山博之 (1993): 内陸大地震発生前後の震源域周辺の地震活動, 地震, **46**, 17-24.
- 吉田明夫・伊藤秀美・細野耕司 (投稿中): 内陸地震発生の直前に地質構造帯に沿って現われる地震活動の前兆的静穏化, 地学雑誌.
- (1995年5月2日受付, 1995年5月15日受理)