内陸大地震の先行的活動

吉田 明夫* 伊藤 秀美**

Forerunning Activity for Large Earthquake Which Succeeds Disastrous Intraplate Earthquake

Akio YOSHIDA* and Hidemi ITO**

Abstract

For the six among seven disastrous earthquakes with $M7$ or larger, which occurred in the Japanese islands since 1926, large earthquakes with $M6.3-6.7$ succeeded at the distance of several tens km from the epicenters of the disastrous earthquakes, and moderate forerunning earthquakes with $M4.5-5.5$ were observed for all of the succeeding large earthquakes near their epicenters. Those forerunning earthquakes seem to be induced by the increase of stress field along the tectonic zone which is brought about by the occurrence of disastrous earthquake in the surrounding regions. The forerunning activity is considered useful for selecting the site where we should make intensive observations to catch precursory phenomena expected to appear immediately before the occurrence of large earthquake.

I. はじめに

甚大な災害をもたらした1995年兵庫県南部地震の前日に、 $M3.5$ を最大とする前震が数個（気象庁によれば3個、京都大学防災研究所によれば4個）観測された。しかし、それらは兵庫県南部地震が起きてから前震とわかったもので、事前に、それらが差し迫っている大地震の前駆的な活動を表わすものであると判断することはできなかった。日本の内陸では今回観測されたような前震活動と同程度の活動は日常的に毎日どこかで起こっているといってもよく、そのほとんどすべては大地震に直接結びつくものではないので、兵庫県南部地震の前日の活動が前もって前震と判断できなかったとしてもやむをえないことであった。しかし、

兵庫県南部地震の震央付近に領域を限定すれば、1日のうちに $M2$ 以上の地震が3個発生するというのは異常であったともいえる。従って、もしその場所がごく近い将来に大地震の発生する恐れのある候補地としてあらかじめ認定されていたならば、前日の活動にあるいは注意が向けられていたということも考えられないことではない。

小・微小地震活動は絶えず変化している。その中で、何が異常で何が注意すべき変化であるのかを有効に判別する一般的な手法はまだ見いだされていない。地震活動の度合やその変化の時空間パターンは地域毎に特徴を持ち、それらはテクニクな背景や地殻構造と密接に関係していると見られることから、地震活動のみを基に、どの地域にも適用できる一般的な前震識別基準のようなも

* 気象研究所地震火山研究部

** 気象庁地震火山部

* Seismology and Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

** Seismological and Volcanological Division, Japan Meteorological Agency

のをつくるのは恐らく不可能ではないかと思われる。一方で、直前の地震予知が成功するかどうかは、前兆的变化（前震）が現われた時点での確にそれと判断できるかどうかにかかっている。こうしたことから、中、短期的にあらかじめ場所を予測しておくことは極めて重要であり、それが可能か否かがある意味で直前予知の成否を握っているともいえよう。

それでは、例えば数年程度という時間スケールで、いうならば intensively に活動の変化を注視すべき場所を実際に設定することができるであろうか。兵庫県南部地震が既知の活断層沿いで発生したこと、その六甲断層系が長期的な観点から要注意断層と事前に指摘されていた（Matsuda, 1981）ことから、活断層がたいへん注目を集めている。しかし、松田（1995）も述べているように、A級活断層といえども活動の再来周期は1,000年のオーダーであり、大地震の発生時期には±100年の曖昧さを免れえない。また、海溝沿いのプレート間巨大地震に関してその有効性がある程度確かめられている空白域（地震活動静穏化現象）という概念も、兵庫県南部地震の震源域の北半分が石川（1990）の指摘した18カ所の地震活動空白域の一つにあたっていたとはいえ、内陸大地震についてはまだ十分に成功事例が集積されているとはいえない。内陸における空白域の設定については、誰が試みても同じ結果となるほどの客観性はまだないといってよいと思われる。例えば、1995年4月1日に発生した新潟県北部の $M6.0$ の地震は石川（1990）及び Mogi（1989）の指摘していた空白域の北東端で発生したが、同地域に両者が設定している空白域には多少ずれがあり、予想している地震のメカニズムやテクトニックな意味づけも必ずしも同じではない。また、その空白域が将来 $M7$ 級地震によって解消されるとして、直前予知にとっての大きな問題は、そこにいつ地震が発生するのか、10年後か、100年後か、あるいは更に先かについて、いまのところ予測する手がかりが何もないことである。

以上述べてきたように、直前の地震予知に必須な前兆現象の事前捕捉にとって、ある意味ではそ

の鍵となる数年という時間スケールの中・短期的な発生場所の推定に関して、活断層も空白域もそれほど有効とはいえないように思われる。本論文では、そうした数年という時間スケールで intensively に監視すべき場所を推定する上で有効と見られる一つの手段を提案しようと思う。

II. 内陸大地震の続発性

内陸の大地震は単発で発生することは珍しく、それぞれのテクトニックな单元内で30~50年ほどの活動期にまとまって起きることが多い（例えば、茂木, 1982; Yoshida, 1987）。図1は1941-1992年間に内陸で発生した浅い $M \geq 6.5$ の地震の震央分布で、これからこの期間、伊豆半島周辺と中部地方北西域で大きな地震が多く発生している様子が見てとれよう。ここで興味深いのは、こうした大地震の後数年以内に、その周辺で $M \geq 6$ の地震が続いて起きている場合の多いことである。図1の13個の地震について見ると、うち10個の地震の後で、10年以内、震央距離100 km 以内に

図1 1941-1992年間に内陸及び沿岸域に発生した $M \geq 6.5$ 、深さ ≤ 30 km の地震の震央分布
吉田・高山（1993）による。

Fig. 1 Epicenters of earthquakes with $M \geq 6.5$, depth ≤ 30 km, which occurred during the period 1941 through 1992 in the Japanese islands (after Yoshida and Takayama, 1993)

$M \geq 6$ の地震が起きている。1926-1985年の 期間に発生した $M \geq 6.5$ の内陸の 浅い 地震について 見ると、その周辺50 km 以内、5年以内に $M \geq 6$ の地震が統発している割合は31%となり、これは5年、半径50 km 区域の時空間内に内陸で $M \geq 6$ の地震が発生する一般的な確率6 %に比べて、統計的に有意に大きな値であるといえる。

$M \geq 7$ に限れば、1926-1994年に 内陸で6個の地震が数えられるが(1927年北丹後地震 ($M 7.3$) 1930年北伊豆地震 ($M 7.3$), 1943年鳥取地震 ($M 7.2$), 1948年福井地震 ($M 7.1$), 1961年北美濃地震 ($M 7.0$), 1978年伊豆大島近海地震 (M

7.0)), このうち北丹後地震を除く5個について、1 ~ 8年後に50 km 以内で $M 6.3-6.7$ の地震が発生している。

以上の結果から見て、 $M 6.5-7$ の地震が 内陸で発生した場合、その周辺では $M \geq 6$ の地震の発生ポテンシャルが高くなっていると考えてよいと思われる。これだけでもある程度有用な情報といえるが、先に述べた、数年という時間スケールで intensively に監視すべき場所を設定するためには更に領域が絞られることが望ましい。次章ではその可能性について述べる。

図 2 内陸大地震発生前後の震源域周辺の $M \geq 4$ 、深さ ≤ 30 km の地震活動

(a) 1961年北美濃地震, (b) 1974年伊豆半島沖地震, (c) 1978年伊豆大島近海地震, (d) 1980年伊豆半島東方沖地震。横軸はそれぞれの地震の発生年を中心とした時間差, 縦軸は震央距離を表す。吉田・高山(1993)による。

Fig. 2 Space-time distribution of earthquakes with $M \geq 4$, depth ≤ 30 km, which occurred around the epicenters of (a) 1961 northern Mino earthquake, (b) 1974 off-Izu Peninsula earthquake, (c) 1978 near Izu-Oshima earthquake, and (d) 1980 east-off Izu Peninsula earthquake

The ordinate shows the epicentral distance from each earthquake, and the abscissa represents the time difference. (after Yoshida and Takayama, 1993)

III. 先行的活動

勝又・浜田 (1985) は、1961-1984年の期間に日本の内陸あるいは沿岸部に発生した $M6$ 以上、震源の深さ50 km 以浅の地震の先行活動を調べて、数年~10年程度前に、それらの震源域もしくは断層近辺で $M4.5-5.5$ の地震が発生している場合がかなりの割合で見られることを指摘し、内陸における $M6$ 級地震の発生機構との関連性に注意した。彼らはそのテクトニックな解釈については今後の問題とだけ述べているが、その意義の一端は図2から推量することができる。図2は $M6.5$ 以上の4つの内陸地震について、その発生前後の周辺における地震活動の時空間分布を調べたものである。これらの図で注目されるのは、いずれの場合にも10年ほど前に震源の極近傍で勝又・浜田 (1985) の指摘したような先行地震が見

られることと、それらの地震のやや前、あるいはそれとほぼ同時期に、数十km 離れたところで顕著な活動が起きていることである。先行地震は、いうならばそうした活動が飛火したのと同じと見ることができる。ただし、単なる飛火でないのは、その顕著な活動と先行地震を結ぶゾーンに沿って、しばしば小地震活動が一次的に活発化したり、移動していったりする現象が認められることで (吉田・高山, 1993), このことはテクトニックな内陸ブロック境界に沿う応力の高まり、あるいはその伝播を表わしていると推定される。そうした応力変化の生じたゾーンの中で、 $M4.5-5.5$ という内陸ではやや目立つ地震が発生した場所というのは、その近辺に大きな地震を起こせるようなエネルギーが蓄えられつつあることを示しているとも考えられる。

上で述べた事実は、内陸で $M6.5$ 程度以上の地

図3 1930年北伊豆地震後、翌年6月30日までに発生した $M5$ 以上の地震の分布 (白丸) と、1931年9月16日の $M6.3$ の地震 (黒丸) 十字の入った白丸は1931年6月11日の $M5.9$ の地震。

Fig. 3 Epicentral distribution of earthquakes with $M5$ and larger which occurred after the 1930 Kita-Izu earthquake by June 30, 1931

The black circle shows the epicenter of the eastern Yamanashi earthquake ($M6.3$) on September 16, 1931, and the circle with cross represents the epicenter of earthquake with $M5.9$ which occurred on June 11, 1931.

図4 1943年鳥取地震後1年間における $M4.5$ 以上の地震分布 (白丸) と1949年兵庫県北部の地震の震央 (黒丸) 十字の入った白丸は1943年9月13日の $M4.9$ の地震。

Fig. 4 Epicentral distribution of earthquakes with $M4.5$ and larger which occurred during one year after the 1943 Tottori earthquake

The black circle shows the epicenter of the northern Hyogo earthquake ($M6.3$) on January 20, 1949, and the circle with cross represents the epicenter of earthquake with $M4.9$ which occurred on September 13, 1943.

震が発生した後に、続いてどこで大きな地震が起きるかを推定するのに役立つと期待される。内陸で $M4.5-5.5$ の地震は毎年10個程度は日本のどこかで起きているが、それらのすべてに注目するのではなく、 $M6.5$ 程度以上の地震が発生した近辺で、かつその後小地震活動が活発化したゾーン内に起きたものとすれば数は限られる。先に、1926年以後の6つの $M7$ 級内陸地震のうち5個について、1~8年後に50 km 以内で $M6.3-6.7$ の地震が起きていることを指摘した。次に、それらの前に先行地震が実際にあったか、また、それはいつ発生しているか、以下、順に見てみよう。

1) 1930年北伊豆地震

北伊豆地震の翌年9月16日に山梨県東部で $M6.3$ の地震が発生した。その極近傍で同年6月11日に起きた $M5.9$ の地震は、勝又・浜田 (1985) のいう先行地震といってよいと思われる (図3)。

図5 1948年福井地震後1年間における $M4.5$ 以上の地震の分布 (白丸) と1952年大聖寺沖地震の震央 (黒丸)
十字の入った白丸は1948年7月2日の $M4.6$ の地震。

Fig. 5 Epicentral distribution of earthquakes with $M4.5$ and larger which occurred during one year after the 1948 Fukui earthquake

The black circle shows the epicenter of the Daishoji-oki earthquake ($M6.5$) on March 7, 1952, and the circle with cross represents the epicenter of earthquake with $M4.6$ which occurred on July 2, 1948.

駿河湾西岸の静岡付近でも1935年に $M6.4$ の地震が発生したが、北伊豆地震の後、その北方とともに西方にも活動が拡散したことが知られており (Yoshida and Hamada, 1991), 1931年3月に駿河湾北岸で $M5.3$, $M5.4$ の地震が連続している (図3参照)。

2) 1943年鳥取地震

鳥取地震の場合には5年余り後に、その震源域の東方、兵庫県北部で $M6.3$ の地震が発生した。気象庁震源ファイルによれば、その震央近くで鳥取地震と同日に $M4.6$ の地震が、また3日後に $M4.9$ の地震が見られるが (図4), 震源を再計算した浜田 (1987) のファイルによっても、鳥取地震後に活動が兵庫県北部に延びたことが知られる。

3) 1948年福井地震

福井地震の4年後にその北方で大聖寺沖地震

図6 1961年北美濃地震後3年間に起きた $M5.0$ 以上の地震の分布 (白丸) と1969年岐阜県中部地震の震央 (黒丸)
十字の入った白丸は1963年7月24日の $M5.1$ の地震。

Fig. 6 Epicentral distribution of earthquakes with $M5.0$ and larger which occurred during three years after the 1961 northern Mino earthquake

The black circle shows the epicenter of the central Gifu prefecture earthquake ($M6.6$) on September 9, 1966, and the circle with cross represents the epicenter of earthquake with $M5.1$ which occurred on July 24, 1963.

($M 6.5$) が起きた。この場合にもその震央付近では福井地震の4日後に $M 4.6$ の地震が発生している (図5)。その地震の震央は、震源再計算した浜田 (1987) によれば大聖寺沖地震の余震域の中に入っている。

4) 1961年北美濃地震

北美濃地震の2年後に、その南西約30 km のところで $M 5.1$ の地震があり、それから6年ほど後にその近傍で岐阜県中部地震 ($M 6.6$) が発生した (図6)。1963年の $M 5.1$ の地震は勝又・浜田 (1985) によって典型的な先行地震と見なされているものである。ところで図2から、北美濃地震についても先行的活動が10年ほど前にその震源近くであったことが見てとれることに注意したい。その活動は、先に先行地震の特徴として指摘したように、周辺での顕著な活動に伴って、いまの場合は1948年福井地震の後で生じている。なお、

図7 1978年伊豆大島近海地震後1年間に起きた $M 5.0$ 以上の地震の分布 (白丸) と1980年伊豆半島東方沖地震の震央 (黒丸) 十字の入った白丸は1978年12月3日の $M 5.4$ の地震。

Fig. 7 Epicentral distribution of earthquakes with $M 5.0$ and larger which occurred during one year after the 1978 near Izu-Oshima earthquake

The black circle shows the epicenter of the east-off Izu Peninsula earthquake ($M 6.7$) on June 29, 1980, and the circle with cross represents the epicenter of earthquake with $M 5.4$ which occurred on December 3, 1978.

Yoshida (1989) は福井地震の前後で中部地方北西部の地震活動パターンが変わり、以後、北美濃地震から岐阜県中部地震、1984年長野県西部地震と続くゾーンで活発化したことを指摘している。

5) 1978年伊豆大島近海地震

伊豆半島と伊豆大島の間の海域を震源とする伊豆大島近海地震は、断層が西に延びて伊豆半島中部にまで達した。1980年伊豆半島東方沖地震 ($M 6.7$) はその断層の北20 km ほどのところで発生したが、震源に極近いところで1978年12月3日、 $M 5.4$ の地震が起きている (図7)。この地震もまた、典型的な先行地震と見てよいだろう。なお図2から、伊豆大島近海地震についても13年ほど前、周辺の顕著な活動に呼応するように先行的な活動がその震源近くであったことがわかる。

IV. おわりに

前震活動は日本の内陸に発生した浅い $M 6$ 以上の地震の約60%について観測されているが、そ

図8 1995年兵庫県南部地震発生後約2ヵ月半 (1月17日~3月31日) の間に起きた $M 4.0$ 以上の地震の分布

琵琶湖西岸の地震は3月23日の $M 4.0$ の地震。

Fig. 8 Epicentral distribution of earthquakes with $M 4.0$ and larger which occurred during two and half months after the 1995 southern Hyogo prefecture earthquake

The earthquake in of $M 4.0$ plotted on the western coast of the Biwa lake occurred on March 23, 1995.

これらの多くは通常よく見られる活動と変わらず、本震が起きて始めて前震だったとわかるものである (Yoshida, 1990)。しかし、最初に述べたように、もし、その場所があらかじめ数年以内に大地震が発生する恐れのある場所として注目されていたならば、事前の前震捕捉の可能性はかなり高くなると期待される。

本論文で示したように、 $M6.5-7$ 級の内陸被害地震から数年以内、数十km以内に起きた $M4.5-5.5$ の地震の近辺は、過去の事例から見てその後数年以内に続いて大地震が発生する場所の有力な候補地と考えられる。後続地震の候補地ということで、これらによって内陸におけるすべての大地震発生危険箇所が網羅されるわけではないが、まず予知の可能性のあるものからという実際の見地にたてば、これはこれで十分役に立つ情報といえることができる。

さて、最近の $M7$ 級内陸直下型地震はいうまでもなく1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震である。図8は1月17日から3月31日までの $M4$ 以上の地震の震央分布であるが、余震域から飛び離れた地震として3月23日に発生した琵琶湖西岸の地震が目立つ。丹波地方は兵庫県南部地震の直後に活動が活発化した様子が見え (吉田, 1995), その点からも琵琶湖西岸域が注目されるが、ただ、いわゆる先行地震としては $M4.0$ というのはやや小さいようにも思われる。いずれにしても今後数年、兵庫県南部地震の震源域周辺の活動については注意深く監視していく必要がある。

文 献

浜田信生 (1987): 日本列島の内陸部に発生した被害地震に伴う地震活動の再調査とその地震学的意義。気象

研究所研究報告, **38**, 77-156.

石川有三 (1990): 日本列島内陸部の地震活動空白域。月刊地球, **12**, 355-361.

勝又 護・浜田信生 (1985): 内陸地震に先行した地震活動 (やや、長期的にみた場合)。日本地震学会講演予稿集, 1985, No. 1, 134-135.

Matsuda, T. (1981): Active faults and damaging earthquakes in Japan—Macro seismic zoning and precaution fault zones. In Simpson, D. W. and Richards, P. G. eds.: *Earthquake prediction*. Maurice Ewing Series 4, American Geophysical Union, Washington, D. C., 279-289.

松田時彦 (1995): 基調報告 兵庫県南部地震。日本第四紀学会「1995年1月17日兵庫県南部地震調査速報会」記録, 3-4.

茂木清夫 (1982): 日本の地震予知。サイエンス社, 352 p.

Mogi, K. (1989): The mechanism of the occurrence of the Matsushiro earthquake swarm in central Japan and its relation to the 1964 Niigata earthquake. *Tectonophysics*, **159**, 109-119.

Yoshida, A. (1987): Characteristic patterns in the space-time distribution of large shallow earthquakes in the Japanese islands. *Tectonophysics*, **136**, 283-297.

Yoshida, A. (1989): Characteristic space-time patterns in seismic activity in the northwest Chubu district of Honshu island, Japan, and the 1984 Nagano-ken Seibu earthquake. *Tectonophysics*, **162**, 93-102.

Yoshida, A. (1990): Characteristics of foreshock activities associated with large shallow intraplate earthquakes in the Japanese islands. *Pap. Meteorol. Geophys.*, **41**, 15-32.

吉田明夫 (1995): 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.

Yoshida, A. and Hamada, N. (1991): Redetermination of hypocenters of foreshocks, main shock, and aftershocks of the Kita-Izu earthquake and the Ito earthquake swarm of 1930. *J. Phys. Earth*, **39**, 329-344.

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2, **46**, 17-24.

(1995年4月18日受付, 1995年5月15日受理)