

## 11 - 9 1995 年兵庫県南部地震の予測可能性：地震活動からみた予測性

### Possibility of earthquake prediction of the 1995 Hyogo-ken-Nanbu earthquake: evidence of the variations in seismic activities

京都大学防災研究所 地震予知研究センター

Research Center for Earthquake Prediction, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

#### 中期・短期予測

##### 1．はじめに

地震活動の面からの中期・短期予測可能性について検討する。地震前に近畿京阪神において、大地震が発生しうると言う予測はいくつかあった。地震後、地震活動の「異常変化」がいくつか研究されてきた。これらに使用された地震の震源要素に関するデータセットは、気象庁のものと京大防災研のものである。

以下、主なものについて述べ、それらの結果をまとめて、予測可能性について検討する。

##### 2．第3種地震空白域

近畿京阪神において大地震が発生しうると言う予測はいくつかあったが、当該地震の震源域を直接予測していたものは、石川(1995)だけであった(第1図 a,b)。石川は空白域に基づき、発生位置を予測していた。実際の震源域は予測域を含み南西にやや大きかった。これらの空白域(石川によって第3種地震空白域と定義されている)は、内陸における地震帯の概念に基づき、主に M3 以上の地震について、決定されたものである。

##### 3．丹波山地の活動の変化・震源移動

震源域における微小地震活動も地震が起こってから見れば、その前に静穏化したと見ることができ、顕著な現象ではなかった。それに比べて、震源域の北東部における地震活動の変化は顕著であった。地震活動は 1993 年頃から低下し、1994 年には活発化した。第2図 a には丹波山地における本震から約 1 年前の 1994 年の顕著な地震活動を示す(京都大学防災研究所地震予知研究センター, 1995)。第2図 b はその時空間分布である。中規模地震が北東の琵琶湖北西岸から本震の北東端の方向に発生しているように見える。

##### 4．猪名川群発地震

第2図には および で示す猪名川の群発地震も示されている。この地震群は断続的に発生したが大規模なものは 1994 年 7 月と 12 月および 1995 年 1 月(本震後)に発生した(第3図)。臨時観測の結果、12 月の地震は 7 月より浅く、1 月のものはさらに浅く 5km 以浅で発生した。通常この付近で発生する地震の深さ、10-15km とは異なり有意に浅かった。

##### 5．広域地震活動の変化

周辺の地震活動を地震の前後で比較したのが第4図である(京都大学防災研究所, 1996)。特徴的な地域を第4図 a のように選んで、第4図 b に積算地震数を示す。D 地域以外は地震の直後または

1ヶ月後に活発化していることがわかる。図示しないがE地域での地震後の活発化は顕著であった。Cの山崎断層付近でも地震は第4図cのように活発化した。さらに、D地域を除くと地震前に静穏化していることもわかる。

Enescu and Ito(2001)は広域における地震活動を統計的に評価した。第5図は取り上げた地震で Reasenber(1985)によって、クラスターを取り除いた地震を第5図の右図に示す。第6図には地震数の積算時間分布を比較して示す。地震後の積算分布が直線的に変化し、地震前の静穏化がよくわかる。第7図はそのデータについての月別頻度分布と地震数の積算時間分布およびz値(たとえば Wiemer and Wyss, 1997)を示す。z値が1993年から減少、すなわち地震活動の静穏化が始まっていることがわかる。第8図には全部のデータを用いて、フラクタルディメンジョン(FD)、月別地震数、b値の時間変化を示す。1991年頃からb値は増加をはじめ、1993年からb値の減少する。この減少期間は地震の静穏化とほぼ対応する。FDは1994年の地震の増加とともに急激に減少する。このような、地震数とb値の変化は、丹波山地の地震のみについても見られた(第9図、京大防災研、1995)。第10図には各種の変化をまとめたものを示す。

気象庁の震源データを用いて、地震前の地震活動の低下がいくつか報告されている。これらは、それぞれ意味のあるものかもしれないが、扱っている地震の大きさから、地域範囲や時間スケールが大きいものにならざるを得ない。これらも広範囲な地震活動の変化の指標となっている可能性はある。

## 6. 前震

地震の約11時間前から、本震の近く明石海峡付近で4個の前震が観測された。地震発生後に見れば、この地震活動自体はこの地域では希にしか起きないことであることが分かった。しかし、このような活動は広域では珍しくない。したがって、これらは場所が限定されていない限り事前に検出するのは非常に難しい。

## 7. まとめ

上記のような地震活動の変化は震源域だけでなく、近畿中北部の地震多発地域など周辺のデータを加えてはじめて明らかになった。さらに、半年前の地震の増加はに猪名川群発地震などのように、震源域のさらに北西部で発生した。このような震源域以外の広域の地震活動変化が、前兆だという確証はない。しかし、地震後にこれらの広範な地域の地震活動が変化したことを考慮すると、上記の地震活動の変化は前兆的变化であった可能性が高い。猪名川の群発地震は顕著な現象であり、深さも通常の活動より浅かった。

このような変化を事前に検知できるかというのが問題であるが、地域を限定して定期的に解析を続ければ、これらの「異常」は事前にわかったと思われる。しかし、単独のパラメータの変化としてはとらえることは難しいので、地域に応じたパラメータの組み合わせを探す必要がある。

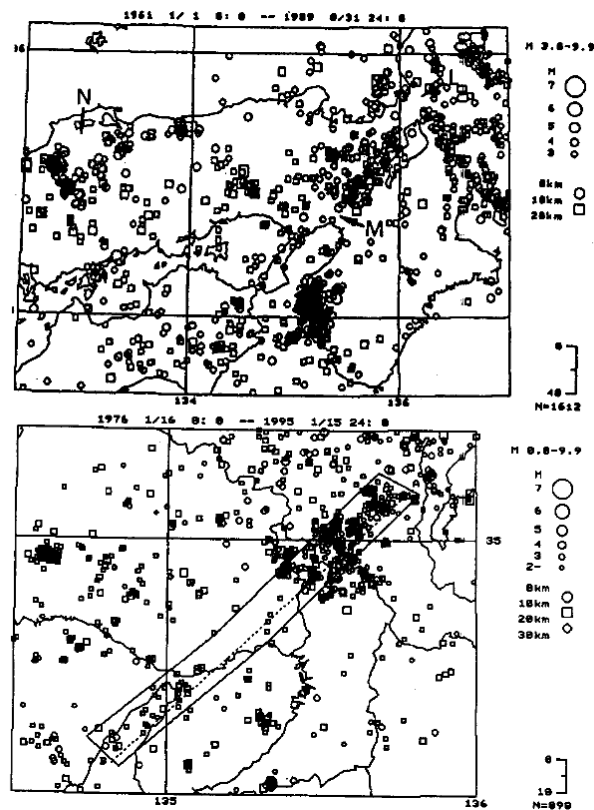
今後、基盤観測網の整備とデータの蓄積により、各種パラメータの実時間処理は可能になるであろう。問題なのはこのような観測値に対して何を基準にして「異常」と判断するかである。また、その「異常」のうちどれだけが大地震に関係するかということである。「異常」を見いだすためには、各地域の「正常」な状態、その地域の特性を把握しておく必要がある。また、予測の確度は、どの程度の「からぶり」を許すかの問題になる。結局は、猪名川群発地震の深さが「異常」であったように、各地域の特性をどれだけ事前に把握できているかに帰すことになる。このためには、地殻な

どの不均質との関連で内陸地震の発生モデルを構築し、各種パラメータの地球物理的意味づけをすることが必要である。特に、広域の変化が大地震に関連するとすれば、下部地殻、上部マントルの変形と応力蓄積過程をも含んだモデルが必要になる。

(伊藤 潔)

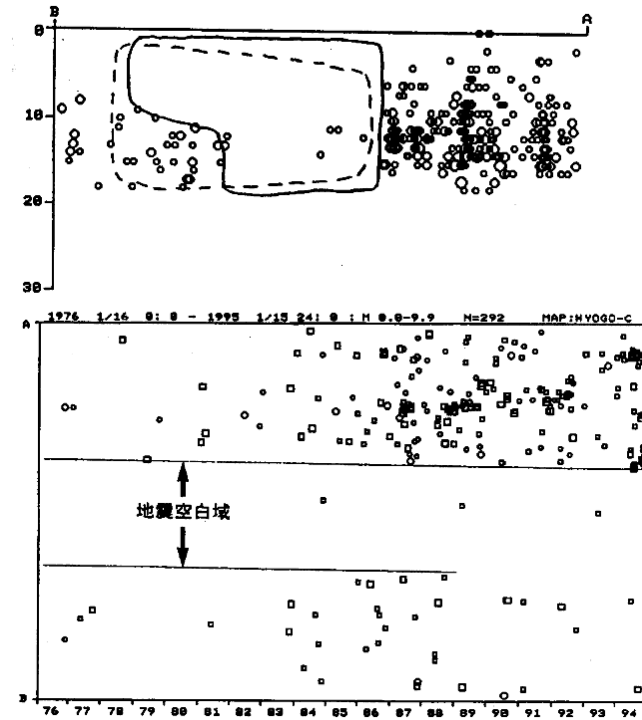
#### 参 考 文 献

- 1 ) Enescu, B. and K. Ito, 2001, Some premonitory phenomena of the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe) earthquake, *Tectonophysics*, 338, 297-314.
- 2 ) 石川有三, 1995, 地震活動空白域の定義, *月刊地球*, 号外 13, 71-80.
- 3 ) 京都大学防災研究所, 1996, 阪神・淡路大震災, 防災研球への取り組み,
- 4 ) 京都大学防災研究所地震予知研究センター, 1995, 1995年兵庫県南部地震
- 5 ) Reasenberug, P., Second-order moment of central California seismicity, 1969-1982, *J. Geophys. Res.*, 90, 54749-5495.
- 6 ) Wiemer S. and M.Wyss, 1997 Mapping of the frequency - Magunitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence time? *JGR*, 102, 15115-15128.



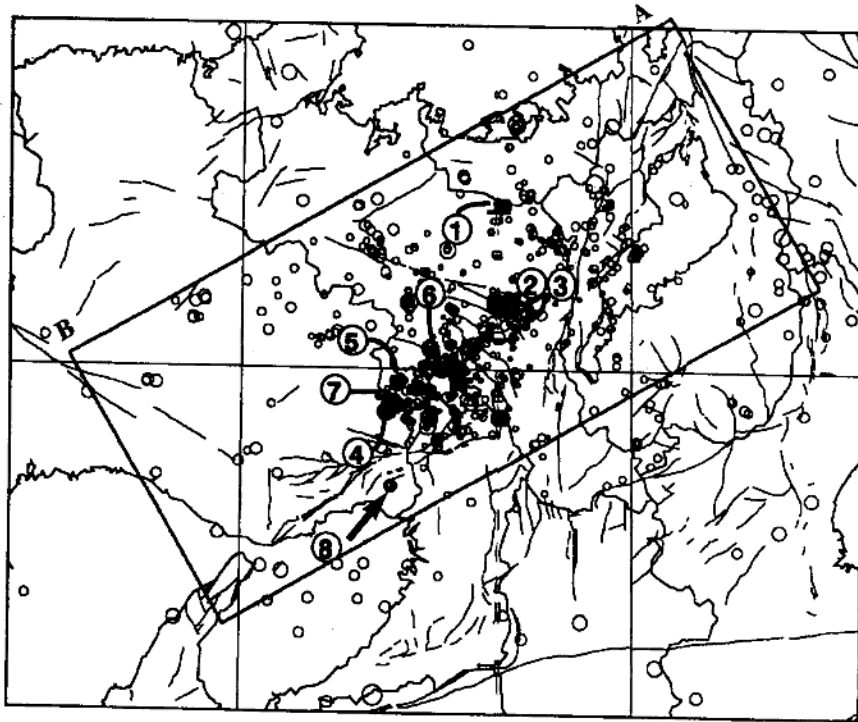
第1図 a 石川(1990)によって指摘された空白域。Mが兵庫県南部地震の震源域に重なる(上図)。第1図 b の時空間分布の位置。兵庫県南部地震の震源域とその北東延長部(下図)

Fig.1a Seismic quiescence pointed out by Ishikawa (1995). Region M shows a part of the source area of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake(upper figure). Location of Fig. 1b showing the source area of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake and the northeastern area of it (lower figure).



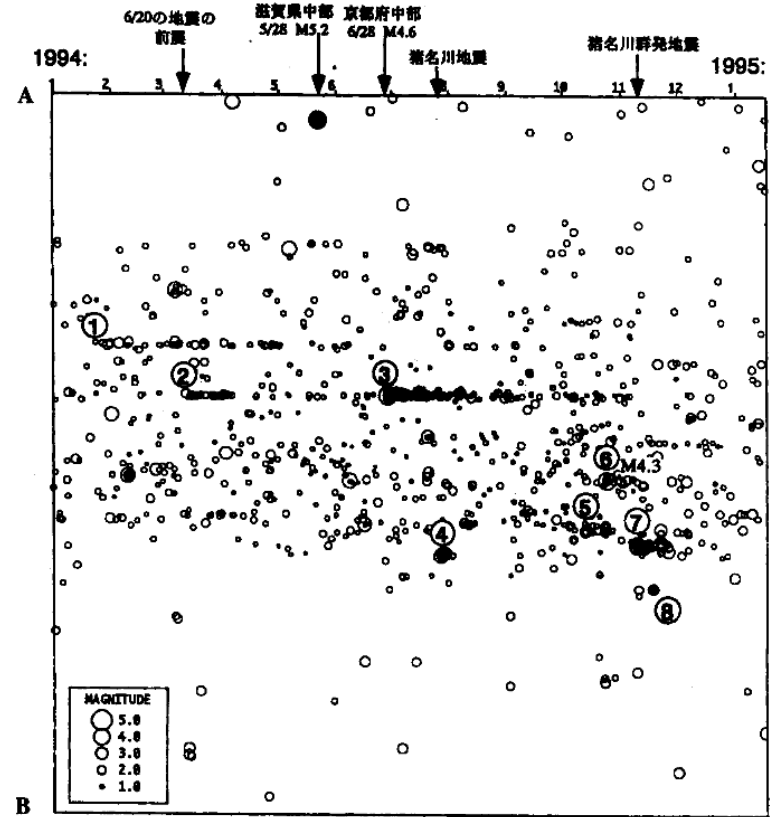
第1図 b 第1図 a (下図) 枠内の地震の AB 方向に沿う断面図(上図)。実線で示した範囲が空白域。この内部の3個の地震はマグニチュード3未満の小さな地震。波線で囲んだ地域は兵庫県南部地震の余震域第1図 a (下図) 枠内の地震の時空間分布図(下図)(石川, 1995による)

Fig.1b Cross section of focal depths of earthquakes in the rectangle along AB in Fig 1a. A few events in the quiescence are small as less than M3.0. The area in the dashed line is the aftershock area of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake (upper figure). Time-space diagram for the earthquakes in the rectangle in Fig. 1a (lower figure) (after Ishikawa, 1995).



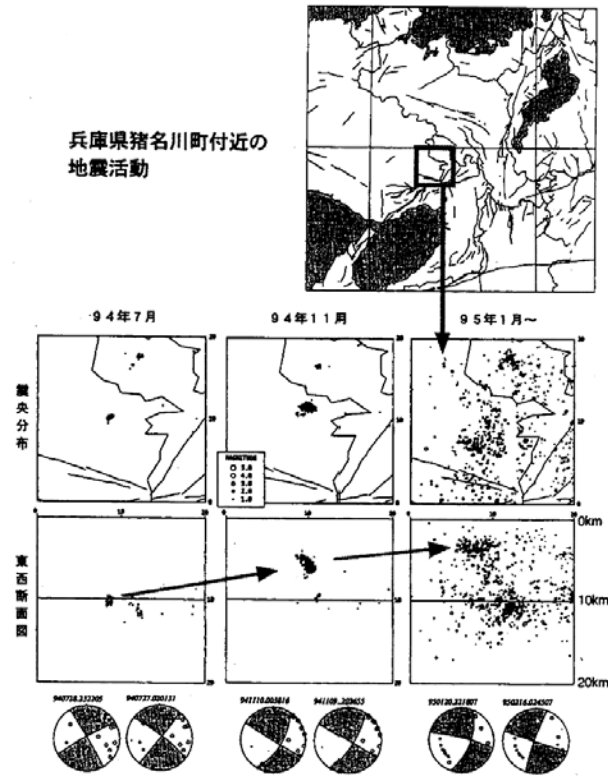
第2図 a 1994年の丹波地域の顕著な地震活動

Fig.2a Noticeable seismic activities in the Tanba Mountains in 1994 (After DPRI, Kyoto Univ. (Katao),1995).



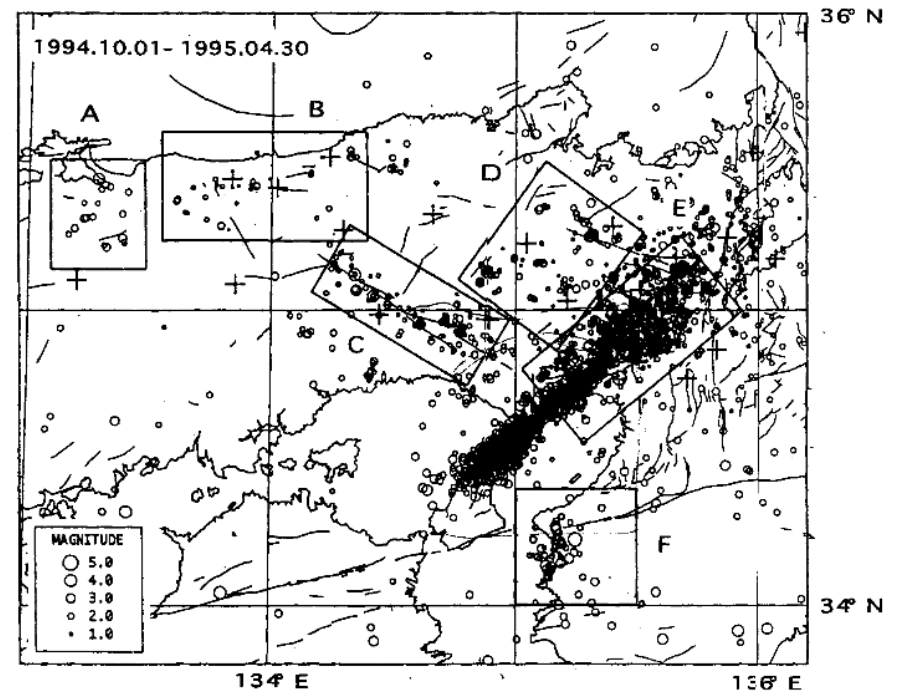
第2図 b 第2図 a 領域 AB 内の地震の時空間分布図。①～⑦は第2図 a の活動に対応している。(京大防災研(片尾), 1996)

Fig.2b Space-time diagram for the events in the rectangle in Fig.2a. No.①-⑦ correspond to activities in dicated in Fig.2a (afterDPRI,Kyoto Univ. (Katao), 1996)



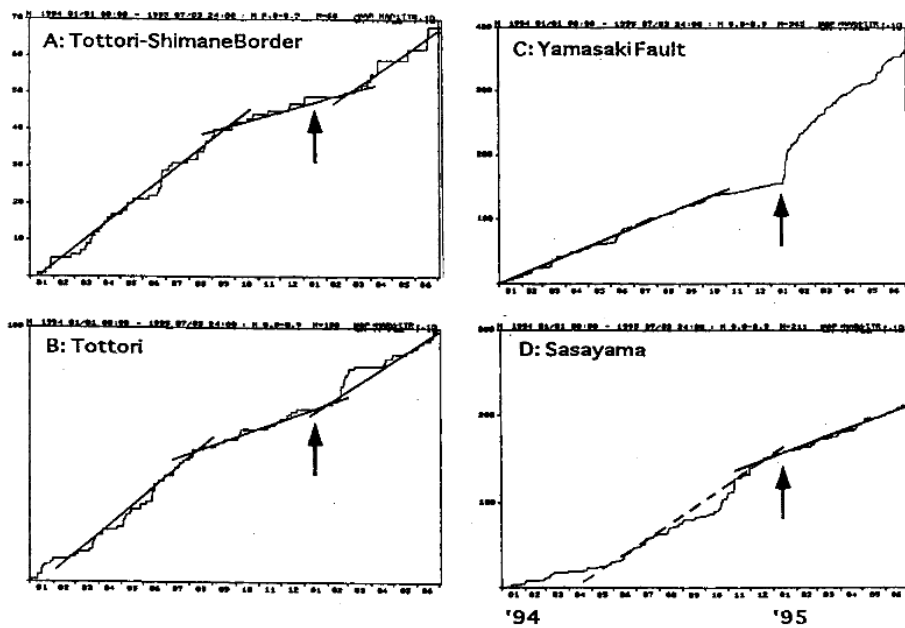
第3図 兵庫県猪名川町付近の群発地震、1994年7月、11月、1995年1月の活動について、震央分布と東西に投影した深さ断面図を示す。下段はそれぞれの時期の主な発震機構（上半球ステレオ投影）である。（京大防災研）。

Fig.3 Seismicity around the town of Inagawa. Epicenter distributions and cross sections of focal depths along E-W plane for the swarm activities in July, 1994, November, 1994 and January, 1995 are indicated from left to right. Focal mechanism solutions for each activity are shown in the lower figures (stereo-projection on upper hemisphere).



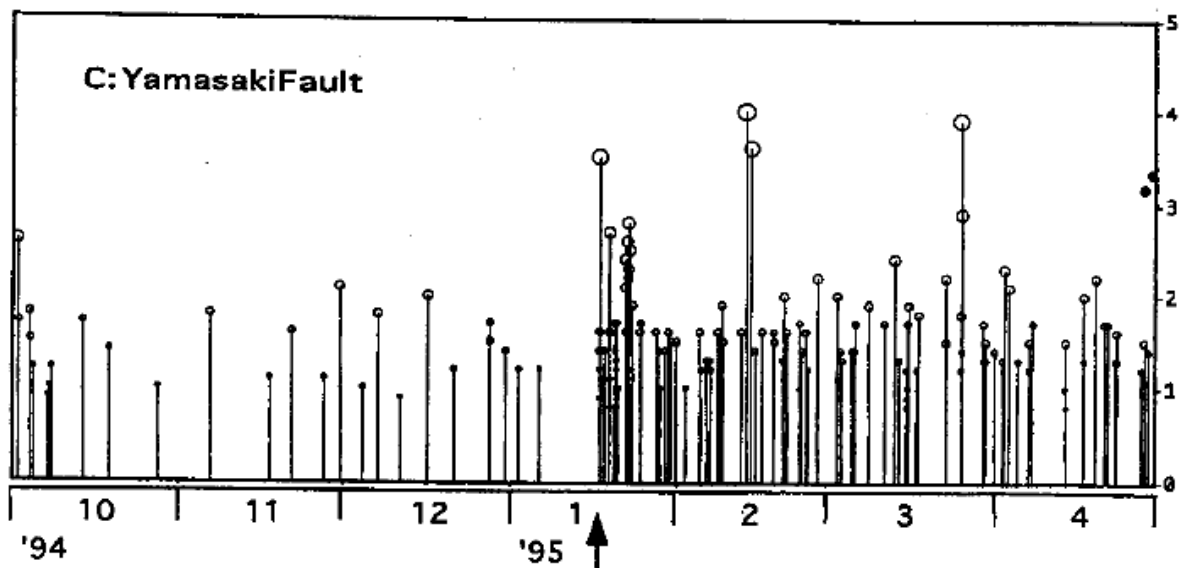
第4図 a 兵庫県南部地震の前後の地震分布（1994年10月1日-1995年4月3日）。A-Fは地震活動変化を調べた領域。

Fig.4a Seismic activities for a half year before and after the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake. Regions A-F show the areas in Figs. 4b and 4c.



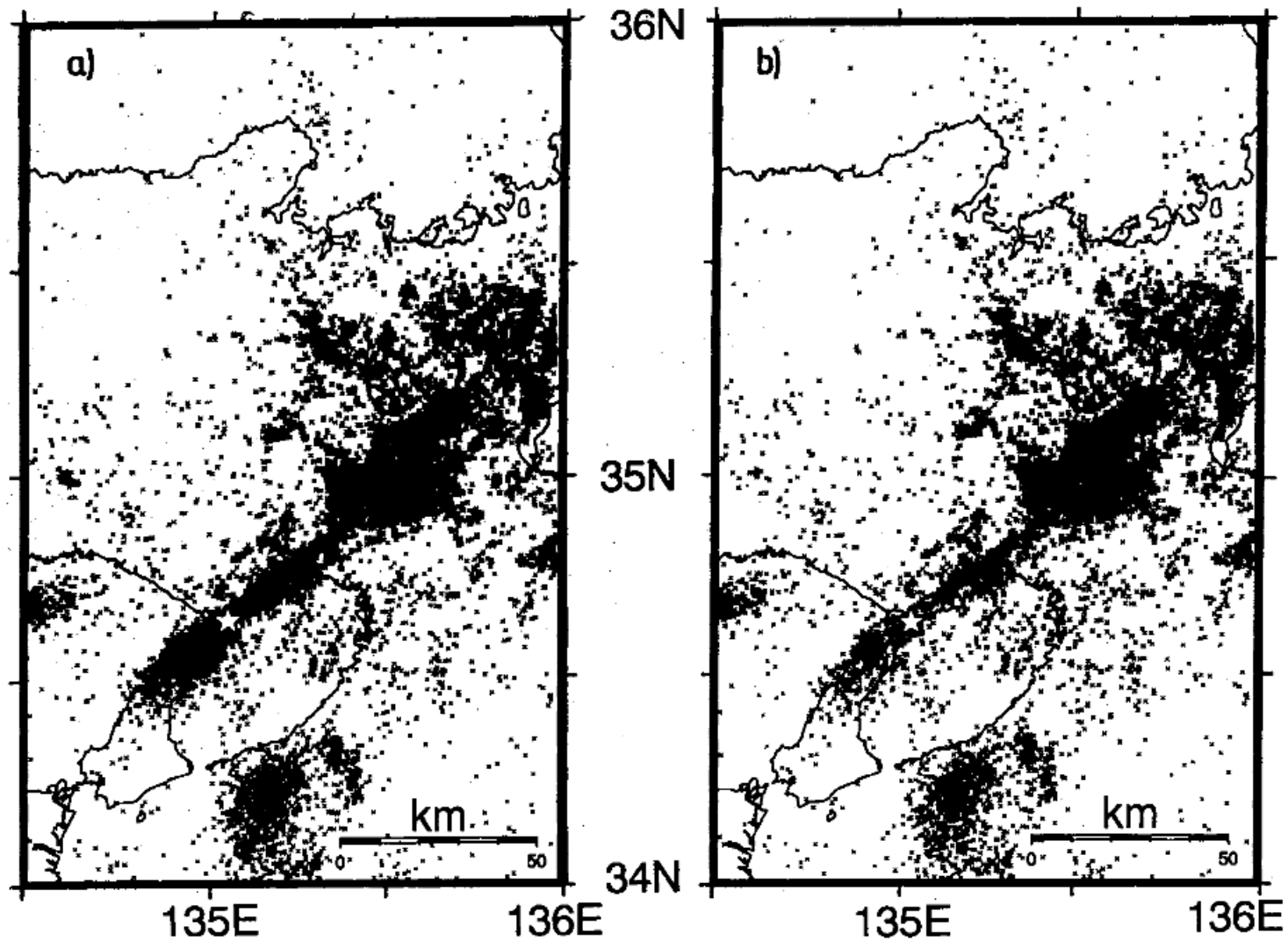
第4図 b 第4図 a に示した領域 A-D における積算地震数の変化 (1994 年 1 月 1 日~1995 年 6 月 30 日)。矢印: 兵庫県南部地震。

Fig.4b Cumulative numbers of earthquakes in Fig. 4a from Jan., 1994-June, 1995. Arrows show the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake.



第4図 c 山崎断層周辺域 (第4図 a の領域 c) についてのマグニチュード時系列 (1994 年 10 月 1 日-1995 年 4 月 30 日)。矢印は兵庫県南部地震。

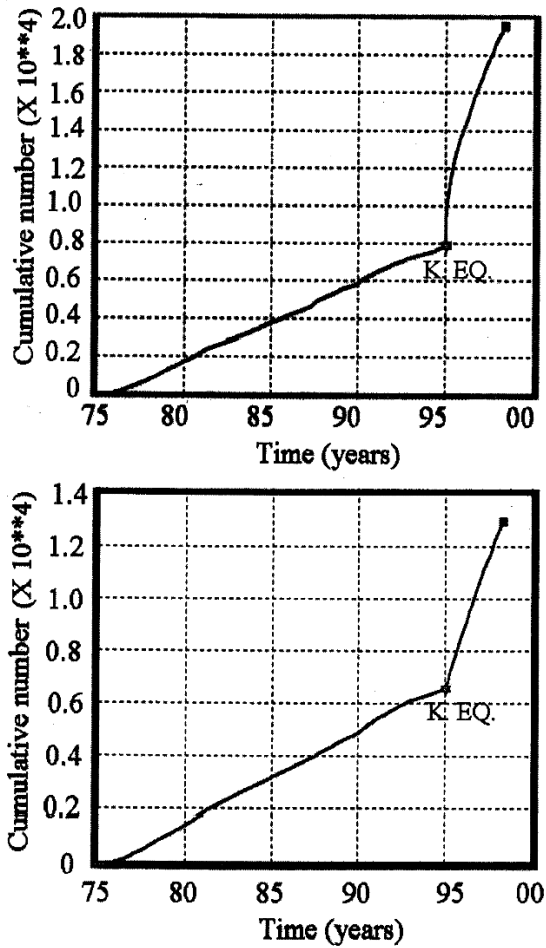
Fig.4c Magnitude of earthquakes in the region C in Fig. 4a from Oct., 1994-April, 1995. An arrow shows the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake.



第5図 1976-1995年のM>1.5の地震の震央分布(左図)とクラスターを除去した震央分布(右図)。京大防災研のデータによる。

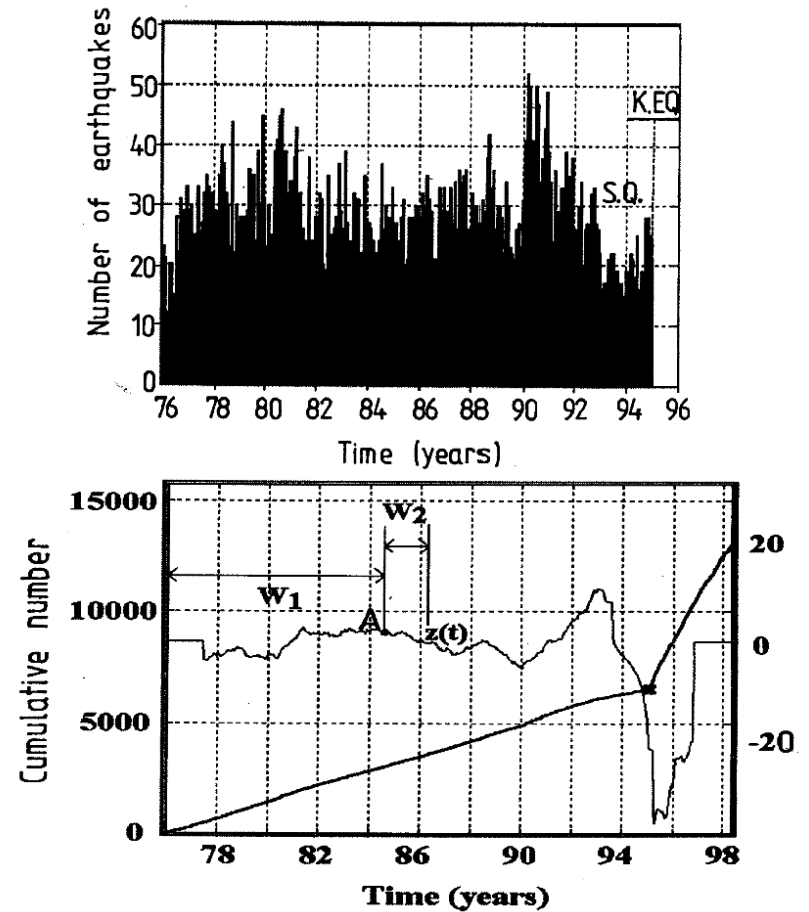
Fig.5 Epicenter distribution of earthquakes of M>1.5 in the northern Kinki District (left figure) and declustered one (right figure). Star shows the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake





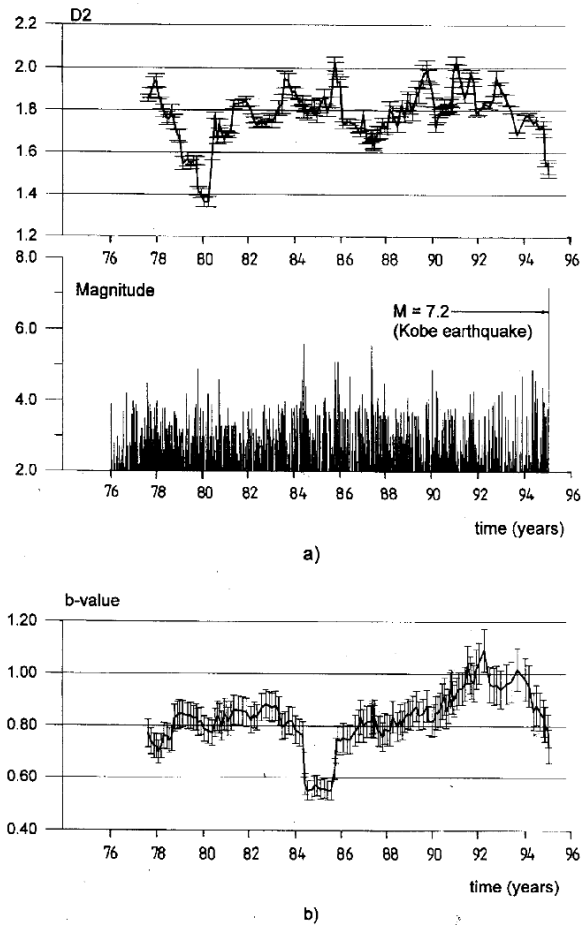
第6図 第5図に示す  $M > 1.5$  の地震数の積算値（上図）とクラスターを除去した地震の積算値（下）。兵庫県南部地震前の地震活動の減少が見られる。

Fig.6 Cumulative number of earthquakes of  $M > 1.5$  in Fig.5 (upper figure) and declustered one (lower figure). It is noticed that decrease of seismicity is seen in both figures.



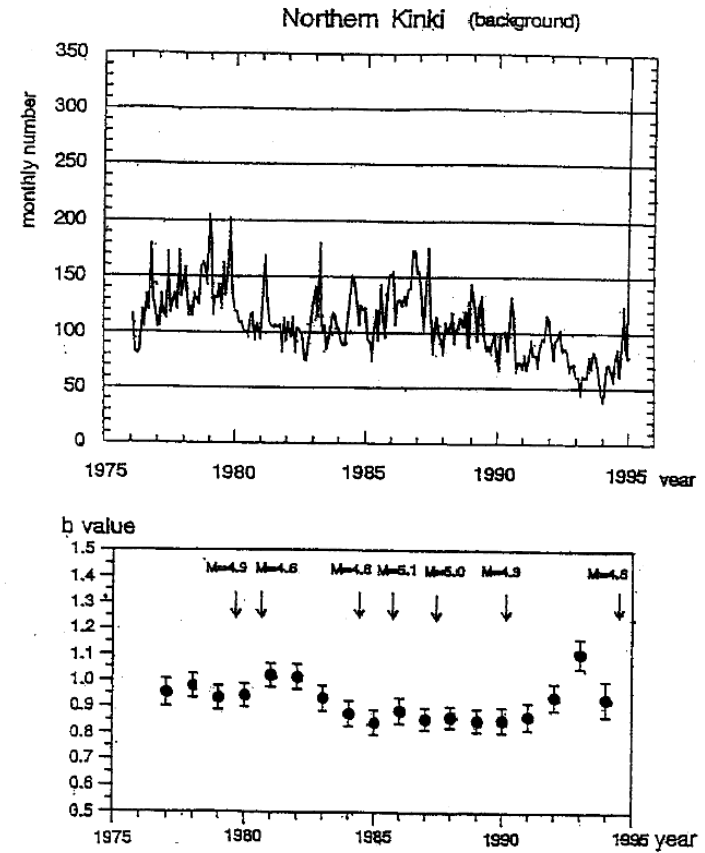
第7図 クラスターを除いた地震の頻度分布（上図）および積算頻度分布と Z-value（下図）  $W_2$  は 1.5 年とした。

Fig.7 Frequency distribution (Upper figure) and cumulative frequency and z-value for the declustered earthquake catalogue (lower figure).  $W_2$  is taken as 1.5 years.



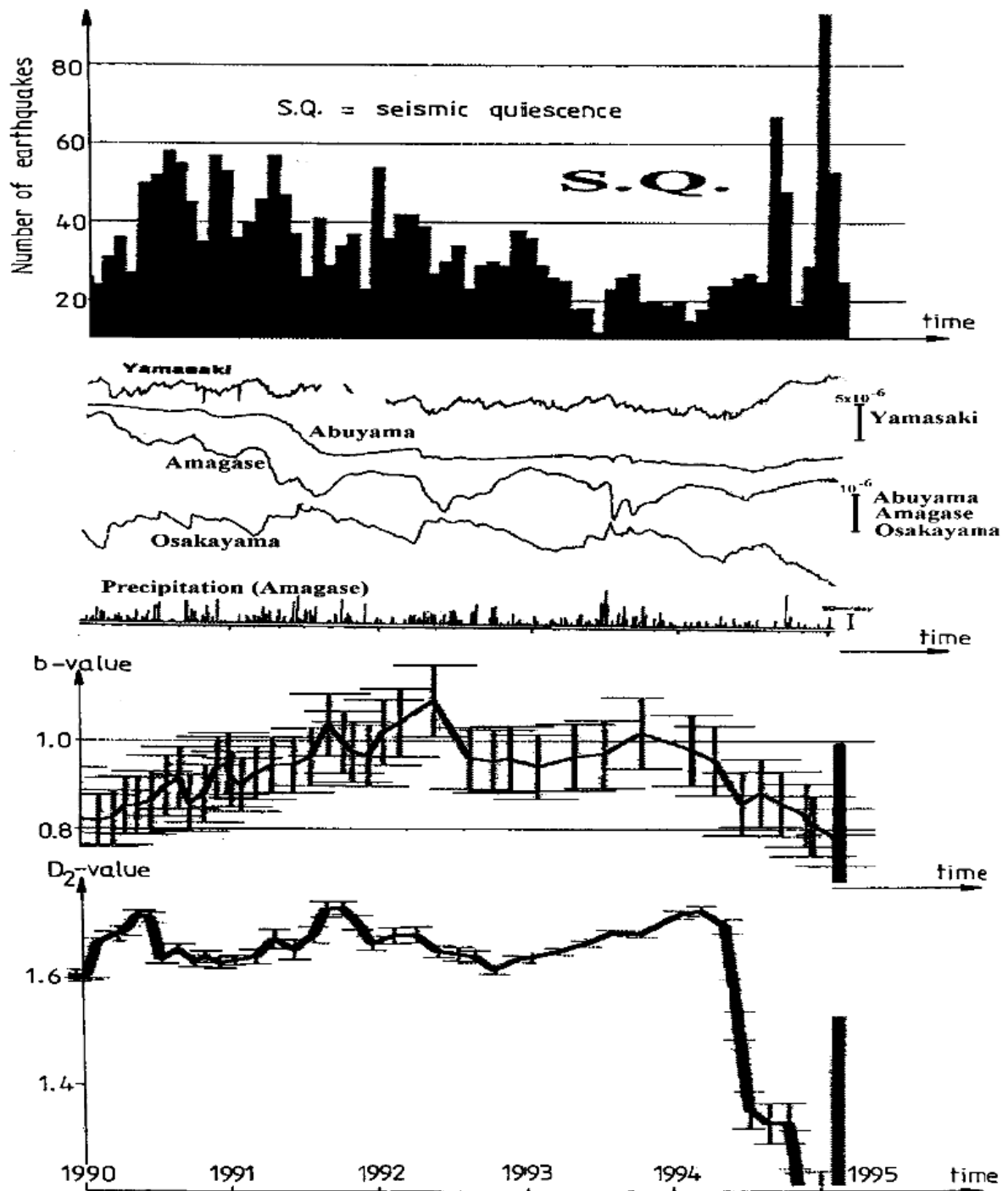
第8図  $M > 2.0$  の地震のフラクタルディメンジョン, 200 個のウィンドウを移動して求めたもの (上図), 月別頻度 (中図), 200 ごと時間的に移動して最尤法で求めた  $b$  値 (下図)

Fig.8 Time variations of fractal dimension (upper figure) and  $b$ -value (lower figure) determined by using a moving window of 200 events, and monthly frequency distribution of earthquakes (middle figure).



第9図 丹波山地のみの地震活動について余震および群発地震活動を除いた地震数の変化 (上図)。  $b$  値の変化 (下図)。(京大防災研、1995)。

Fig.9 Monthly number(upper figure) and  $b$ -value of declustered earthquake only in the Tanba Mountains(DPRI, Kyoto Univ, 1995).



第10図 各種変化を並べたもの。上から月別地震数、歪み変化、b値、フラクタルディメンジョン。1994年中頃からの変化が見られる。

Fig.10 Time variations of some parameters from top to bottom, monthly number of events, crustal strains with strain meters at four crustal movement observatories, b-values and fractal dimensions. It is noticed that all parameters show clear changes from around the middle of 1994.