

## 関東・東海地域における「地震前兆指標」の 地域性と時間変化

堀 貞喜\*・大久保 正\*

国立防災科学技術センター

### Regionality and Temporal Variation of the "Earthquake Precursory Indicator" in the Kanto-Tokai District, Central Japan

By

Sadaki Hori and Tadashi Ohkubo

National Research Center For Disaster Prevention, Japan

#### Abstract

Regionality and temporal variation of the *earthquake precursory indicators* such as *b*-value,  $\Delta M$  (difference between duration and amplitude magnitudes) and  $V_p/V_s$  are investigated for eight high-seismicity regions in the Kanto-Tokai district, central Japan. Each region is defined in the three-dimensional manner by an assembly of many cubic volumes of  $5 \times 5 \times 5$  km<sup>3</sup>. The averaged values of the three earthquake precursory indicators are calculated from the NRCDP's data base for the period from January 1981 to September 1986. We find remarkable regionality in *b*-values, which are significantly different from one another in some regions in the Kanto district. On the contrary, regionality of  $\Delta M$  and  $V_p/V_s$  is weak relative to their variations in individual regions. Temporal variation of the three parameters are also investigated in conjunction with an earthquake occurrence. *b*-values in some regions largely changed with long periods (several months to years).  $\Delta M$ , in contrast, is very stable in most of the regions. No significant variation is detected for  $V_p/V_s$  because it strongly fluctuates. It is likely that anomalous changes of *b*-value and  $\Delta M$  before the *M*6.1 event on October 4, 1985 which occurred near the border between Chiba and Ibaraki prefectures are precursory ones.

---

\* 第2研究部地震前兆解析研究室

## 1. はじめに

$b$ 値、地震波速度、あるいは地震波のコーダ減衰の変化等は従来から地震前兆を示すパラメータ（以下「地震前兆指標」と称す）として指摘されている（Suyehiro, 1966; Nur, 1972; Smith, 1986; Sato, 1986, 1987）しかしこれまでの研究のほとんどは、特定の地震が発生した後、震源域周辺について注意深く解析されたもので、定常監視を前提とするような、地震前兆指標の地域性や変動のパターンなどについての系統的な研究結果の報告はあまり多くない。その一方で、地震予知に対する社会的要請は強く、国立防災科学技術センター（以下「防災センター」と略す）では、1986年から計算機システムが一新され、「地震前兆解析システム」（APEシステム）の開発が進行中である（Matsumura et al., 1986）。APEシステムの中でも、データの収録に始まり、震源決定を含む処理から、地震前兆の検出および地震発生の危険度の評価に至るまで、すべて計算機が自動で行うという「自動地震前兆解析」の部分は、世界でも例を見ない試みとして、重要な意味を持っている。今回の研究では、「自動地震前兆解析」の予察段階として、地震活動に関係したいくつかの地震前兆指標について、その地域性と時間変化を可能な限り主観を排した計算方法によって調べた。

## 2. 資料と解析方法

防災センターでは1979年7月以来微小地震の観測を続けており、震源の決定された地震の総数は約10万個に及んでいる。この間、観測点数も徐々に増大し、1986年9月現在、他機関からの提供点も含めて69点がテレメータされている。これらの観測点は、関東・東海地域における、東西約400 km、南北約300 kmの領域をほぼおっている。本研究では、1981年1月から1986年9月までのデータを用いて、地震前兆指標のうち、 $b$ 値、振動継続時間マグニチュードと振幅マグニチュードの差（ $M_{F-P} - M_{AMP}$ ）及びP波とS波の速度比（ $V_p/V_s$ ）の3つについて解析した。解析の対象を1981年以降にしたのは、1980年6月に伊豆半島東方沖で発生したM6.7の地震後の群発地震活動が、当時の防災センターのデータ処理能力を上回るほど活発であったため、しばらくの間、処理に際して特定の観測点における振幅に下限を設けていたので、この間、地震の検知能力がかなり低下していたと考えられるからである。以下にこれら地震前兆指標の計算手順について述べる。

### 2.1 調査領域の設定

ここで求めようとしている地震前兆指標は、震源および読み取りのデータを用いて計算されるものであるため、特に、時間変化を調べるためには、地震活動度が高く、持続的に地震が発生している地域が調査対象として好都合である。またこうした地震の「巣」は平面的な形状をしていないため、3次元的な領域の設定が必要となる。そこでまず、前述した関東・東海地域の400×300kmの領域を深さ方向にも100kmとって直方体とし、その内部を一辺5 km

の立方体に分割した。そして1981年1月から1986年9月までに発生した地震のうち、精度良く震源が決定されているもの全体についてどの領域で起きたのかを調べ、各立方体ごとに発生地震数を求めた。次に1立方体あたりの地震数が10個以上となった領域をほぼ機械的に連結することにより、地震の巣を3次的に識別した。その後各地震の巣について、地震活動度の高さや持続性、さらに観測点の配置を考慮して、最終的に以下の8つの調査領域を設定した。

- |                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| 領域1：長野県西部          | 領域5：千葉県北・中部       |
| 領域2：浜名湖から長野県恵那にかけて | 領域6：霞ヶ浦南方周辺       |
| 領域3：伊豆半島東方沖とその周辺   | 領域7：茨城県南部         |
| 領域4：山梨県東部          | 領域8：茨城県南西部（鬼怒川西側） |

図1に各領域の外縁を真上から見た図を、図2に領域5～8の外縁を深さ方向に投影した図を示す。これらの領域は3次的には重複していない。

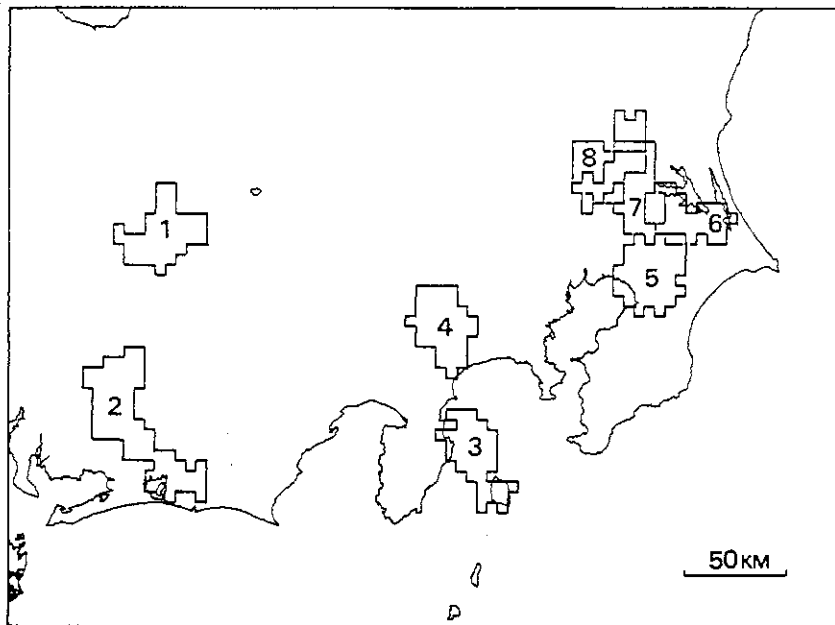


図1 解析対象とした8領域の位置。

Fig. 1 Location of 8 regions investigated in this study.

## 2.2 地震前兆指標の地域性の計算方法

今回対象とした地震前兆指標の中で**b**値は、地震の検知能力、即ちもれなく震源決定のなされている地震のマグニチュードの決定をしておかないと正しく算出できない。既に防災センターの微小地震観測網の検知能力については、松村（1984）や Papanastassiou and

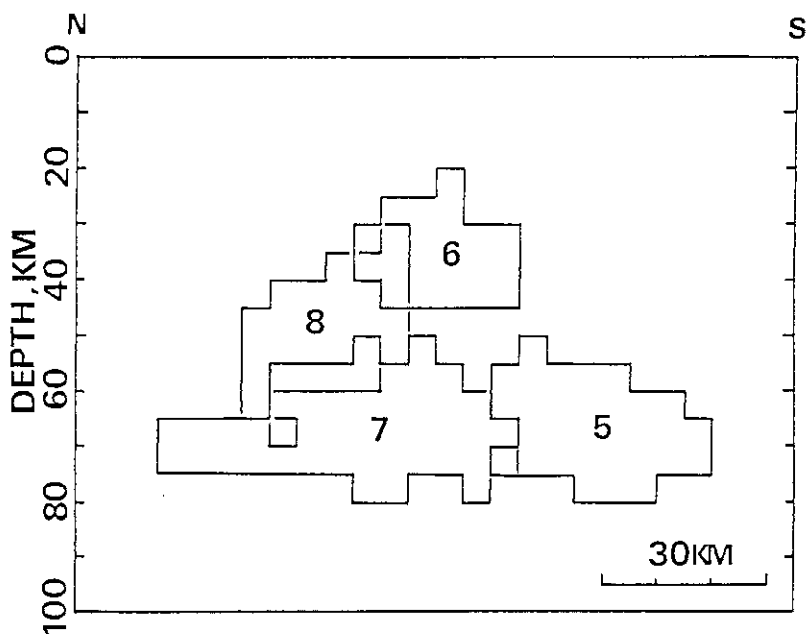


図2 領域5～8の南北断面図。  
 Fig. 2 Vertical section of Regions 5 to 8 along the NS direction.

Matsumura (1987) が詳しく議論している。また、年々観測点が増加していったので、その検知能力の向上についても大久保(1984)が報告している。しかし、今回の研究では特定の3次元的形状をした地震の巣を対象としているため、その領域内で発生する地震の検知能力を新たに評価してみた。今回は、最も単純な方法、即ちマグニチュードと積算個数の関係を表わすグラフを領域ごとに作成し、直線関係からはずれる下限のマグニチュードを調べた。図3にそのグラフを示す。設定したマグニチュードの下限、即ちもれなく検出されていると考えられる地震の最小規模は矢印で表わしてある。また、図には示していないが、各領域とも半年ごとに同様のグラフを作って検知能力の変化を調べてみたが、若干の向上が認められるものの、特に目立った変化は認められなかった。このようにして得られた地震の検出限界マグニチュードは、1.9～2.4となったが、当然のことながら、領域3のように、浅い領域で周囲の観測点分布が密であるほど小さくなっている。また、防災センターの観測網は微小地震を対象としているため、 $M > 5$ の地震については、そのマグニチュードが正しく決定されなくなる傾向がある。そこで  $M = 5$  を上限として、モーメント法に基づく Utsu (1966) の方法によって  $b$  値とその標準偏差を求めた。その計算式は次の通りである。

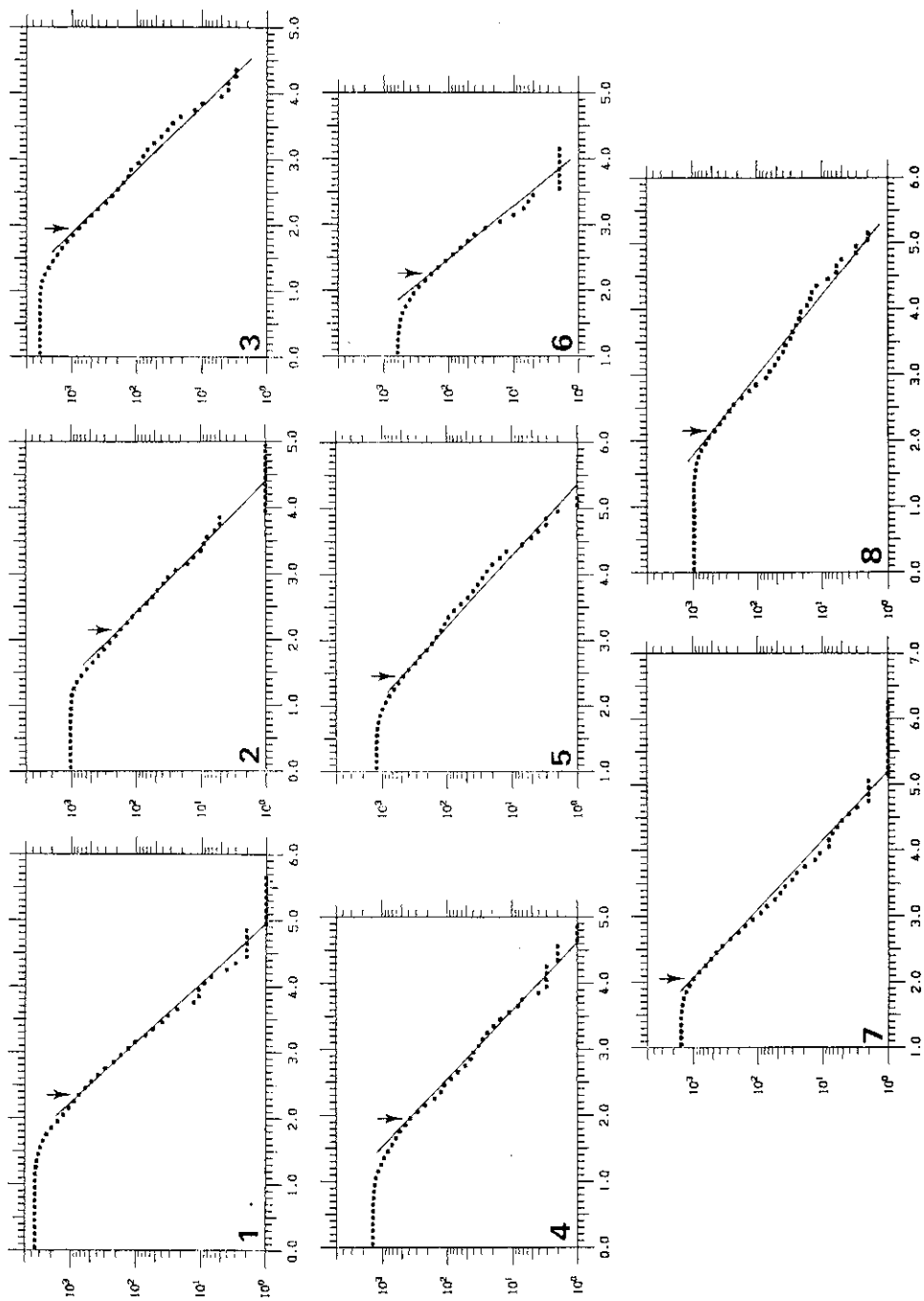


図3 各領域における規模と積算個数の関係、 $b$ 値を求めるために設定した下限のマグニチュードを矢印で示す。  
 Fig. 3 Magnitude-frequency relationship in each region. Lower limit of the magnitude for calculation of  $b$ -value is indicated by an arrow.

$$b = 0.4343 (m - l) / \sum_{i=l+1}^m M_i - m M_m + l M_l$$

$$\sigma_b = 0.4343 / (\sqrt{m} \cdot \sum_{i=l+1}^m M_i / m - M_m)$$

ただし、 $M_m$ 、 $M_l$  はそれぞれマグニチュードの下限と上限で  $m$ 、 $l$  はそれぞれマグニチュードが  $M_m$ 、及び  $M_l$  以上の地震数である。ここでは全ての領域で  $M_l = 5$  とした。

次に  $M_{F-P} - M_{AMP}$  の算出方法について述べる。現在防災センターの定常処理では、振幅マグニチュード  $M_{AMP}$  を、渡辺 (1971) による式、

$$M_{AMP} = 1.18 \log A + 2.04 \log r - 0.81$$

を用いて、各観測点毎に求め、それを単純平均することにより決定している(鷗川他, 1984) ただし、 $A$ 、 $r$  はそれぞれ、速度振幅 ( $\text{ms}^{-1}$ )、震源距離 (m) である。一方持続時間マグニチュード  $M_{F-P}$  は、振動継続時間  $t_{F-P}$  から、

$$M_{F-P} = C_1 + C_2 \log t_{F-P}$$

として、各観測点ごとに求めて、やはり単純平均することによって決定している。ただし、 $C_1$ 、 $C_2$  は、 $M_{F-P}$  が  $M_{AMP}$  とほぼ等しくなるように、各観測点ごとにあらかじめ設定した係数である。このようにして決定された  $M_{F-P}$  と  $M_{AMP}$  の差 ( $\Delta M = M_{F-P} - M_{AMP}$ ) を、先に求めた下限の規模以上の地震に対して、前兆指標として求めた。しかし、振幅は、本来、観測点の方位によって大きく変わり得るものであるから、平均値を算出するのに用いられた観測点数によって、地震ごとの  $M_{AMP}$  の持っている誤差に大きな違いが生ずる可能性がある。そこで  $\Delta M$  の算出には少なくとも5点以上の観測点で  $M_{AMP}$  が決定された地震のみを用いた。こうして得られた  $\Delta M$  を 1981年1月から1986年9月までに各領域で発生した地震についてそれぞれ算出し、その平均値と標準偏差を求めた。

最後に  $V_p/V_s$  計算方法について述べる。 $V_p/V_s$  の算出方法には、1点法、2点法、多点法が知られており、それぞれ一長一短があるが、ここでは和達ダイアグラムの傾斜を求める多点法を用いた。多点法を用いる場合、観測点のとり方によっては、どこの異常状態が反映されるのかわからなくなってしまう。そこで今回は、まず各領域とも、1981年1月の段階で既に設置されてあった25観測点の中から、最も近い3つを「必須観測点」とし、下限の規模以上の地震の中でもこの必須観測点で  $P$ 、 $S$  とともに読み取りのなされているものだけを対象とすることにした。それ以降に設置された観測点については、なるべく対象領域を囲むような観測点を選び出して、これを「使用観測点」とした。そしてこれらの使用観測点で  $P$ 、 $S$  の読み取りがなされている時は、その読み取り値も必須観測点での読み取り値と合わせて和達ダイアグラムの傾きを求めるのに用いた。この必須観測点と使用観測点は領域別に表1に示してある。和達ダイアグラムは、 $P$ 時刻に対して  $S-P$ 時間をプロットしたもので、両変量とも誤差を含むため、そのグラフに直線をフィットする場合、通常最小二乗法よりも、主成分分析法が適していると考えられる(大内・奥田, 1986)。しかし、ここでは簡単のため  $S-P$ 時間のみ誤差があるとして、重み付きの最小二乗法を用いた。重みは鷗川他(1984)

表1  $V_p/V_s$  を計算するために用いた観測点。  
Group A : 必須観測点, Group B : 使用観測点.

Table 1 List of observation stations used for the calculation of  $V_p/V_s$ . Group A : Key stations indispensable for the calculation. Group B : Other stations used for the calculation.

Region No.	Group A	Group B
1	KGN KSH SMY	GER KGN ACH
2	KGW SMY TNR	ABN KSH TOE MKB OHS
3	JIZ NRY NSI	SMD HDA HTS OSM
4	HHR ENZ ASG	TR2 YMK AKW SMB
5	SHM ICH IWT	CDP FCH HRM KTU MIN YSK YFT
6	ICH SHM YKI	CDP MOR NMT YST HAS
7	MOT SHM IWT	MOR CDP OHR YST CHS
8	MOT IWT OHR	MOR SHM CDP YMI YST

にならって読み取り時刻のランク (A~D, \*) に応じて誤差を推定して決定した。表2に、 $P$ および $S$ 時刻のランクと $S-P$ 時刻の重みの関係を示す。こうして1981年1月から1986年9月までに発生した地震について、各領域ごとに得られた $V_p/V_s$ の平均と標準偏差を求めた。

### 2.3 地震前兆指標の時間変化の計算方法

今回求めた地震前兆指標のうち、 $b$ 値は、1つの地震だけでは計算できない。そこで1つ地震が発生すると、その地震を含めて過去100個の地震のマグニチュードを使い、2.2で述べた方法で $b$ 値とその標準偏差を計算した。また、 $\Delta M$ および $V_p/V_s$ は、1つの地震に対しても計算できる量であるが、特に $\Delta M$ は変動が激しいため、10個の地震における平均値と標準偏差を用いて、最新の地震の発生した時点における値とした。また $V_p/V_s$ も領域5、

表2  $P$ 時間と $S$ 時間の読み取り精度のランクと最小二乗法に用いた $S-P$ 時間の重み。

Table 2 Weights of  $S-P$  time used for least squares calculation.

Rank of $S$ time	Rank of $P$ time			
	A	B	C	D
A	1.00	0.56	0.07	0.00
B	0.56	0.25	0.05	0.00
C	0.07	0.05	0.02	0.00
D	0.00	0.00	0.00	0.00

7および8では、1つの地震ごとに、かなり値がばらつくため、やはり、過去10個の地震における平均値と標準偏差をとって平滑化を行った。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 地震前兆指標の地域性

以上のようにして得られた各領域の $b$ 値、 $\Delta M$ 、そして $V_p/V_s$ の、1981年1月から1986年9月までの平均値と標準偏差を図4に示す。まず、 $b$ 値は全体的に見ると1前後の値になっているが、個々に見た場合、かなりの地域性が認められる。特に、領域6の高い値と領域5および8の低い値が目立つ。また、松村(1984)は、領域7と領域8を含むような、茨城県南西部の比較的広い直方体領域についての $b$ 値を調べ、0.92という値を得ているが、今回の結果では、やや浅い領域8の方が約0.8、深い方が約0.9となって有意に異なる値になった。一方、 $\Delta M$ は領域3を除いて、全て負の値となった。これは、持続時間マグニチュードの方が振幅マグニチュードに比べて、系統的に小さく求まっていることを示しており、持続時間マグニチュードの計算式における係数 $C_1$ 、 $C_2$ を再検討する必要もある。地域性も若干認められるが、それぞれの持つ誤差は、領域2を除いてかなり大きい。 $V_p/V_s$ は、全体的にはほぼ1.75前後になっているが、これも領域1を除いてばらつきがかなり大きく、特に有意な地域性というものは認められない。 $\Delta M$ や $V_p/V_s$ にあまり地域性が認められないのは、算出に用いた観測点の分布が、対象領域の空間的な広がりによって大きすぎたためと考えられる。

#### 3.2 地震前兆指標の時間変化

次に、1981年1月から1986年9月までの期間における、地震前兆指標の時間変化を領域ごとに図5～12に示す。各図とも、(a)～(c)はそれぞれ $b$ 値、 $\Delta M$ 及び $V_p/V_s$ のグラフで、細線で示したのは標準偏差である。また、地震発生との関係を見るために、(d)に各領域で発生したマグニチュードが3以上の地震について、発震時刻とマグニチュードが図示してある。以下に、地震前兆指標と地震発生との関連について、各領域ごとに述べる。

##### ① 領域1 (長野県西部) (図5)

ここでは、1984年9月に、M6.8の長野県西部地震が発生している。井元(1987)は、ベイズ型統計モデルを用いて東海地域における $b$ 値の時空間変化を調べているが、この領域でM6.8の地震前に $b$ 値が低下したとしている。 $b$ 値は、1983年3月頃から、それまで約1.2であったのが、1.0近くまで低下し、1984年になると、再び大きくなっている。しかしその変動量は、誤差範囲内であり、直ちにこれを長野県西部地震の前兆現象であるとすることはできない。Sato(1987)は、下呂観測点における地震記象を調べ、長野県西部地震に先立って、コーダ波の継続時間が長くなったとしている。同様のことが、多くの観測点でも観測



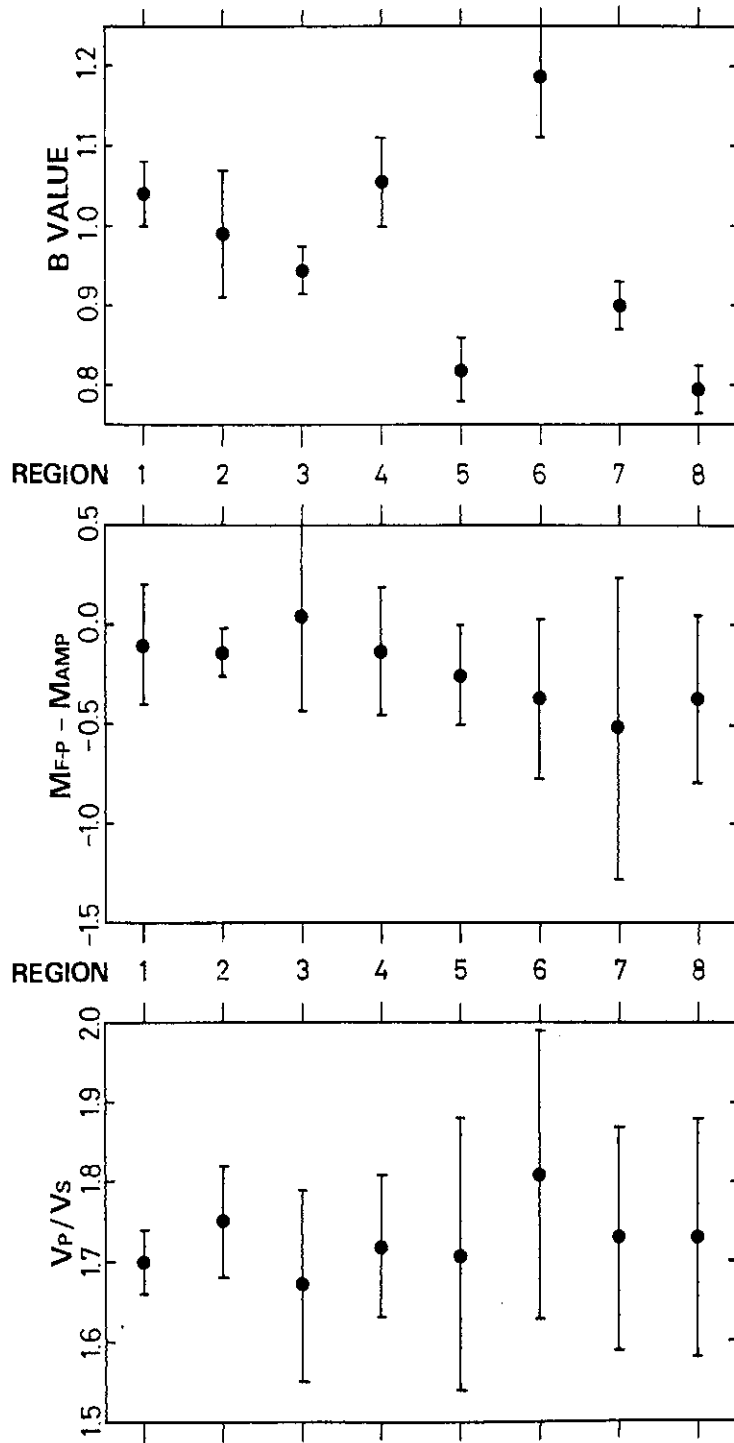


図4 各領域における  $b$  値,  $\Delta M$ , および  $V_p/V_s$  とその標準偏差.  
 Fig. 4  $b$ -value,  $\Delta M$ , and  $V_p/V_s$  and their standard deviations in each region.

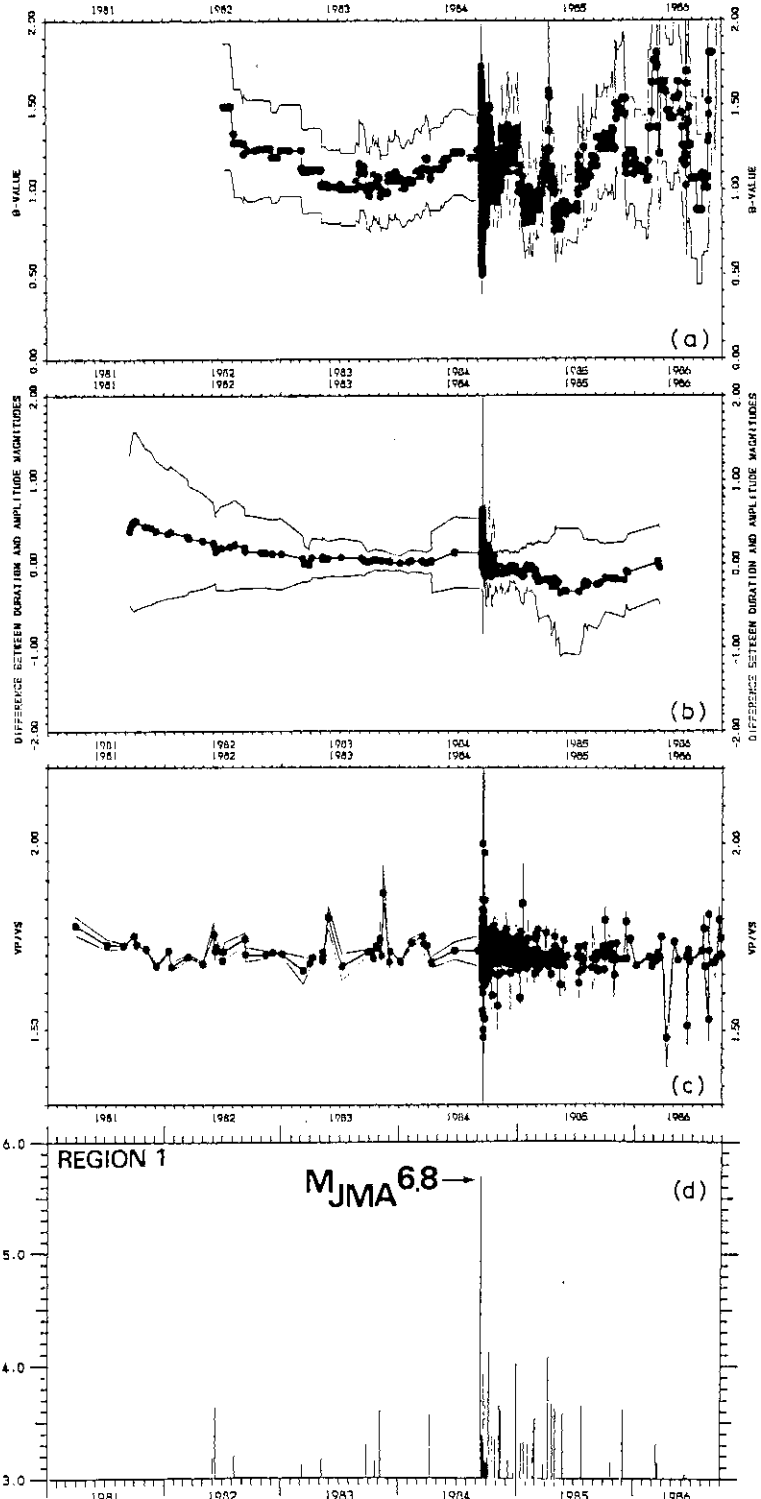


図5 領域1における地震前兆指標の時間変化、(P)  $b$ 値、(S)  $\Delta M$ 、(C)  $V_p/V_s$ 、  
 Fig. 5 Temporal variations of (a)  $b$ -value, (b)  $\Delta M$  and (c)  $V_p/V_s$ , and  
 (d) Magnitude -time plot for Region 1.

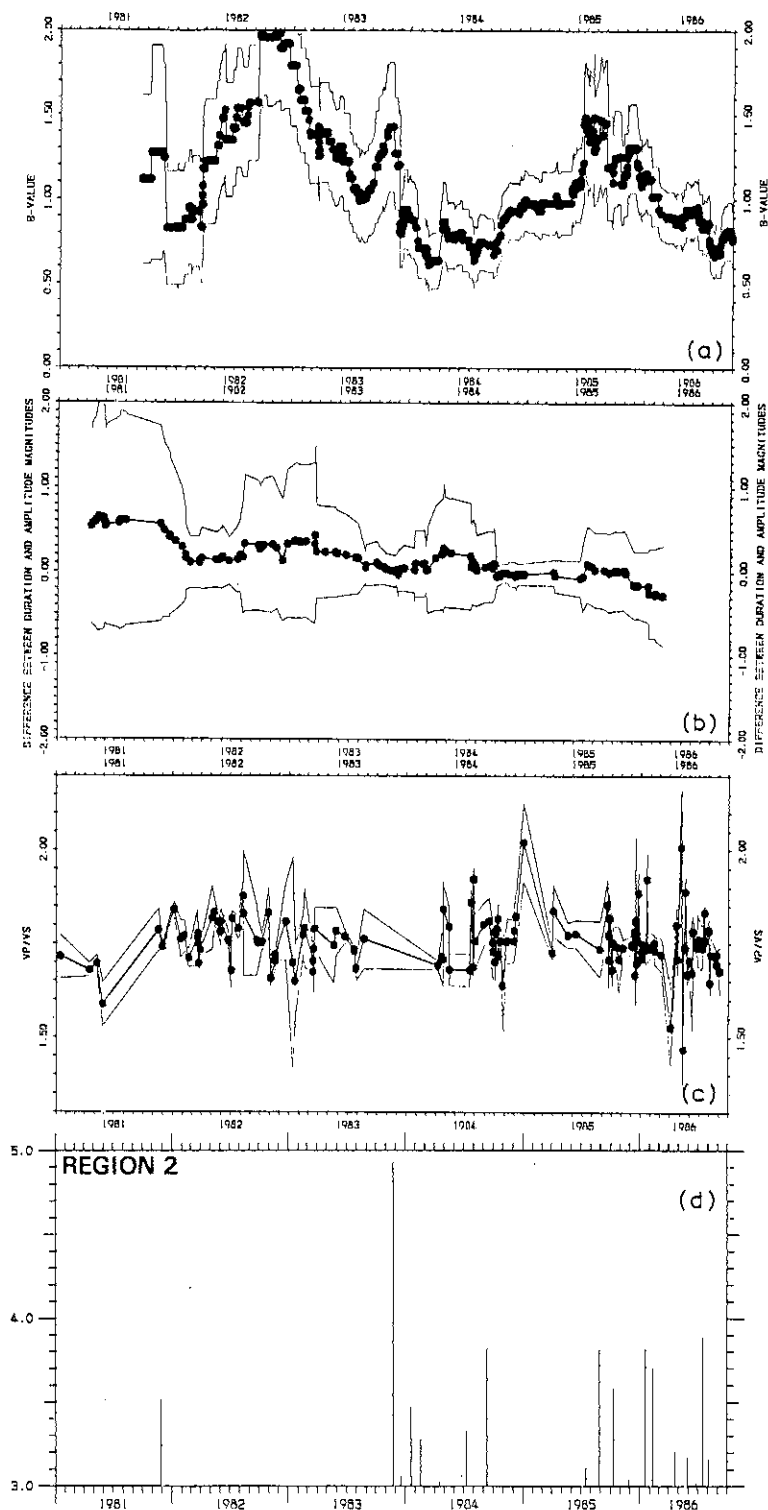


図6 領域2における地震前兆指標の時間変化, (a)  $b$  値, (b)  $\Delta M$ , (c)  $V_p/V_s$ ,  
 Fig. 6 Temporal variations of (a)  $b$ -value, (b)  $\Delta M$  and (c)  $V_p/V_s$ , and  
 (d) magnitude-time plot for Region 2.

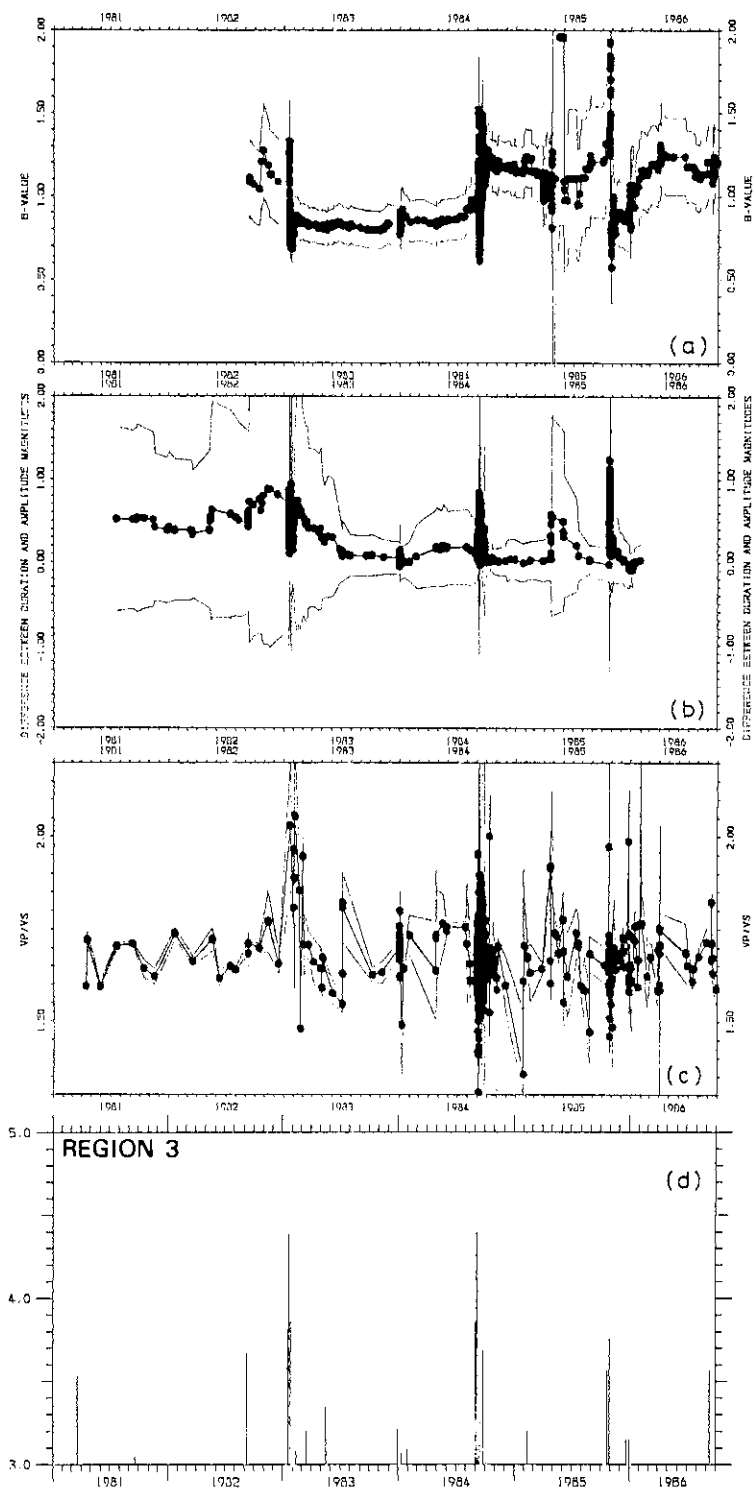


図7 領域3における地震前兆指標の時間変化 (a)  $b$  値, (b)  $\Delta M$ , (c)  $V_p/V_s$ ,  
 Fig. 7 Temporal variations of (a)  $b$ -value, (b)  $\Delta M$  and (c)  $V_p/V_s$ , and  
 (d) Magnitude-time plot for Region 3.

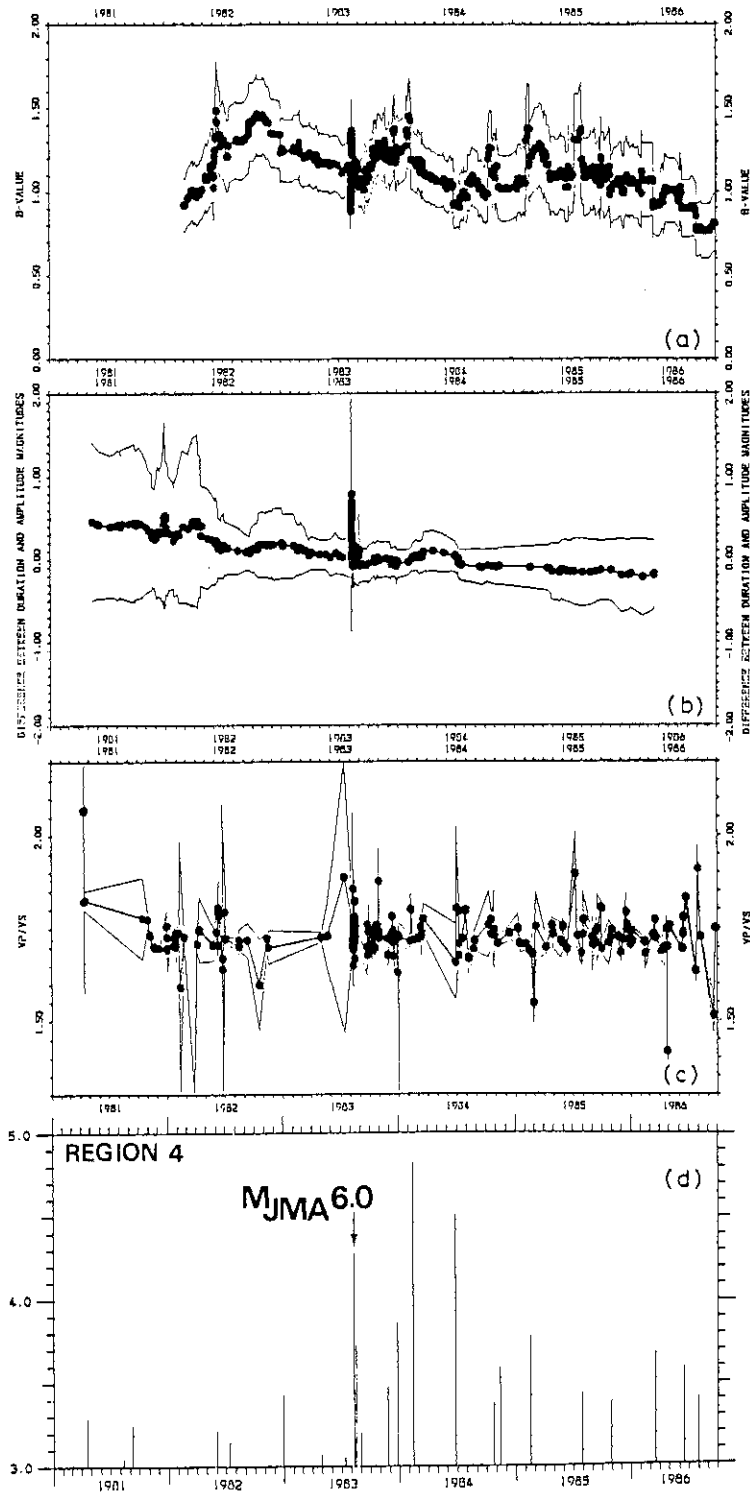


図 8 領域 4 における地震前兆指標の時間変化, (a) *b* 値, (b)  $\Delta M$ , (c)  $V_p/V_s$ ,  
 Fig. 8 Temporal variations of (a) *b*-value, (b)  $\Delta M$  and (c)  $V_p/V_s$ , and  
 (d) Magnitude - time plot for Region 4.

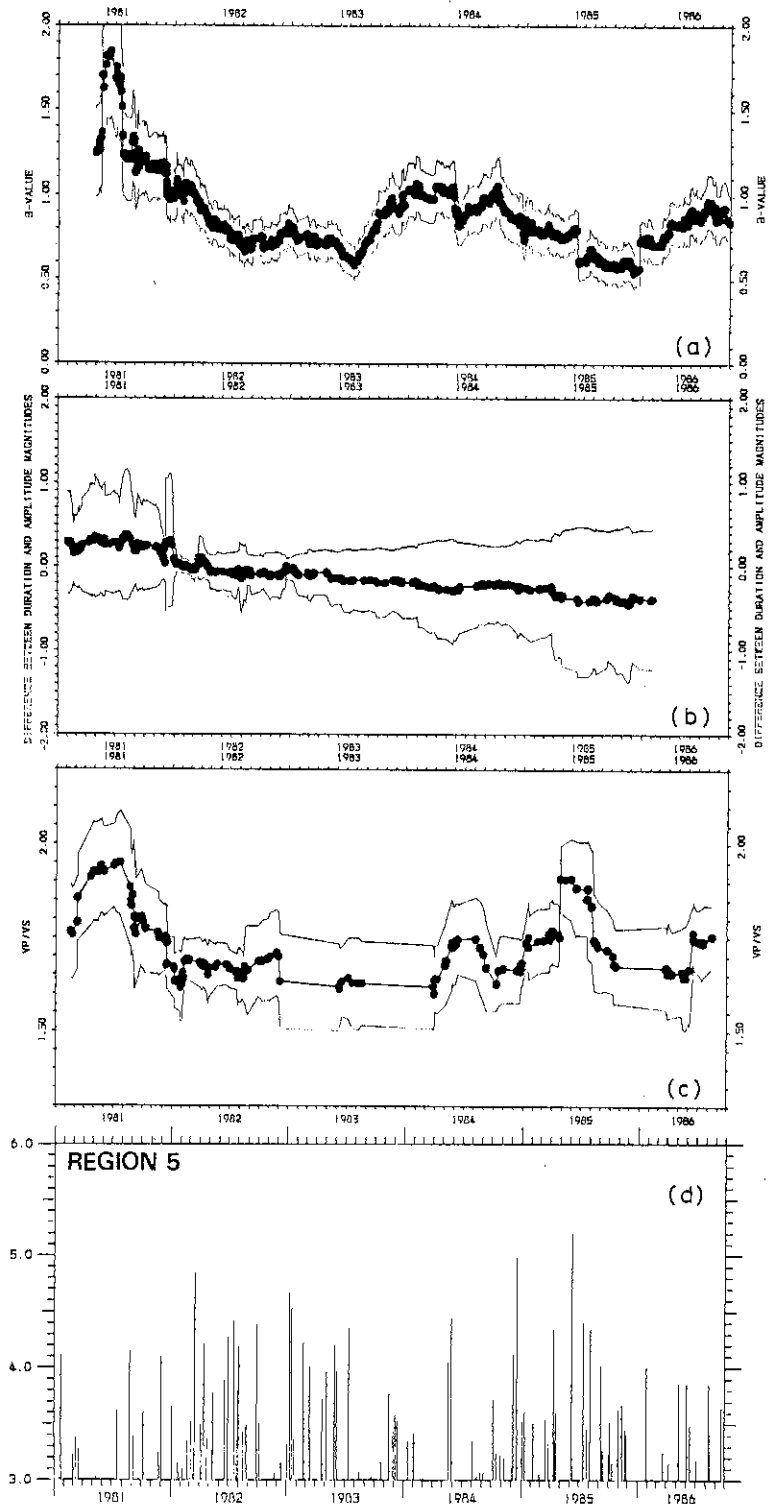


図9 領域5における地震前兆指標の時間変化, (a)  $b$  値, (b)  $\Delta M$ , (c)  $V_p/V_s$ ,  
 Fig. 9 Temporal variations of (a)  $b$ -value, (b)  $\Delta M$  and (c)  $V_p/V_s$ , and  
 (d) Magnitude - time plot for Region 5.

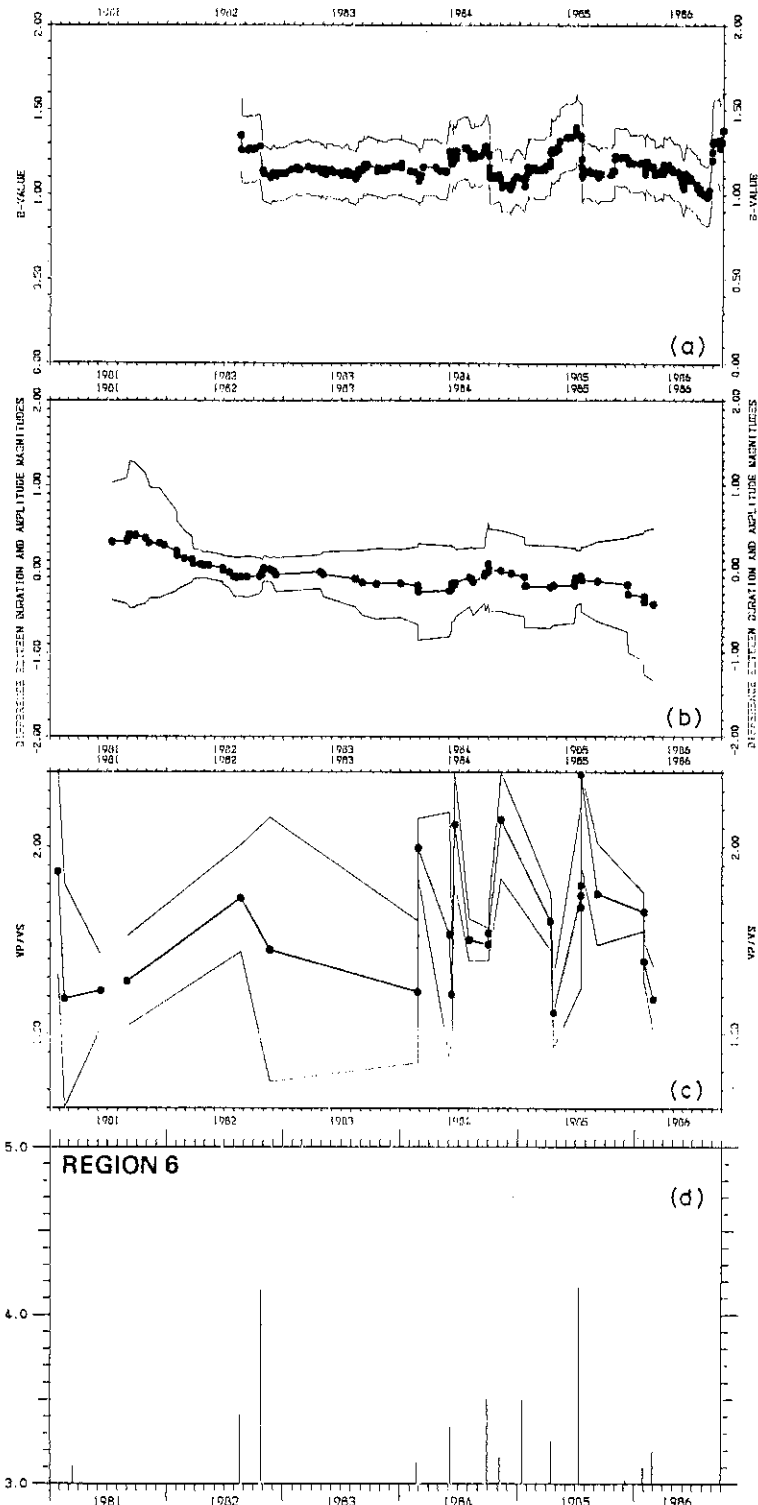


図 10 領域 6 における地震前兆指標の時間変化。(a)  $b$  値、(b)  $\Delta M$ 、(c)  $V_p/V_s$ 、  
 Fig. 10 Temporal variations of (a)  $b$ -value, (b)  $\Delta M$  and (c)  $V_p/V_s$ , and  
 (d) Magnitude-time plot for Region 6.

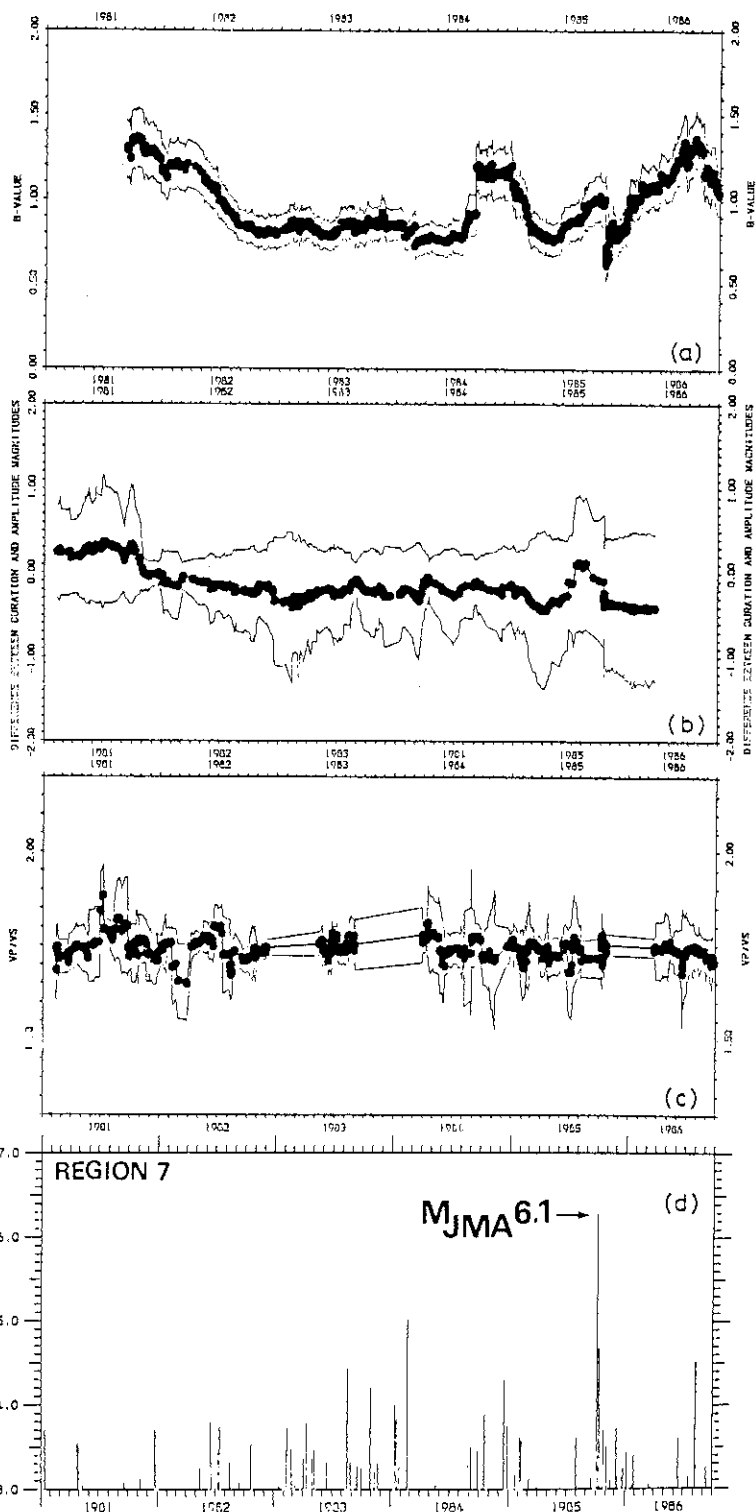


図 11 領域 7 における地震前兆指標の時間変化。(a) *b* 値, (b)  $\Delta M$ , (c)  $V_p/V_s$ ,  
 Fig. 11 Temporal variations of (a) *b*-value, (b)  $\Delta M$  and (c)  $V_p/V_s$ , and  
 (d) Magnitude - time plot for Region 7.



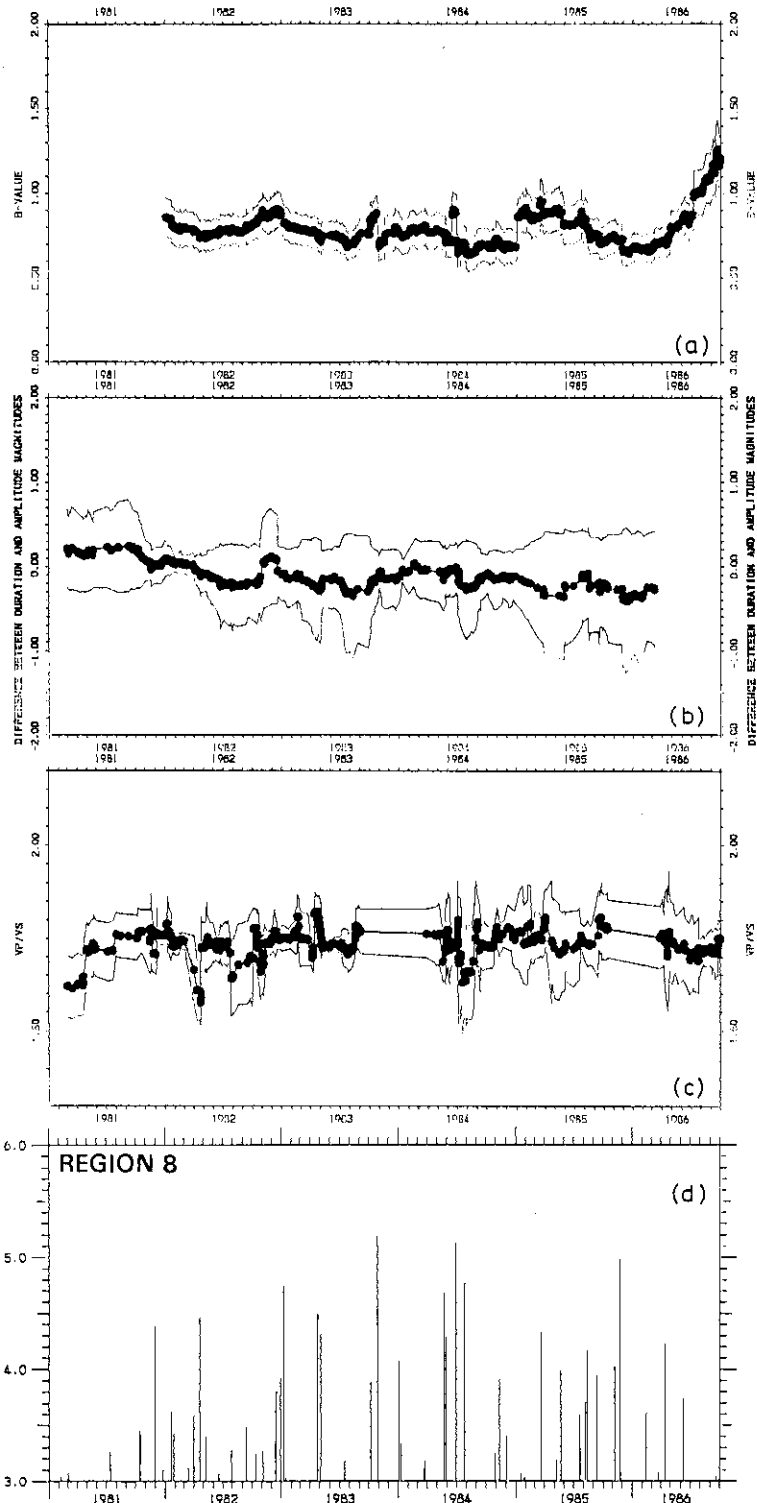


図 12 領域 8 における地震前兆指標の時間変化。(a)  $b$  値。(b)  $\Delta M$ 。(c)  $V_p/V_s$ 。  
 Fig. 12 Temporal variations of (a)  $b$ -value, (b)  $\Delta M$  and (c)  $V_p/V_s$ , and  
 (d) Magnitude-time plot for Region 8.

されたとすると、今回求めた  $\Delta M$  も、地震に先行して増大しているはずである。しかし  $\Delta M$  は、1981年から1983年の始めにかけて、ほぼ単調に減少しているが、1983年の中頃から1984年の前半にかけては、むしろ非常に安定している。ただ、そのばらつき量は、1983年から1984年前半にかけて、他の期間と比べるとかなり小さくなっている。 $V_p/V_s$  には、特に目立った変化は認められない。

② 領域2 (浜名湖から長野県の恵那にかけて) (図6)

この領域では、1983年11月にM4.9の地震が発生している。 $b$  値には、かなり長周期でしかも大きな変動が認められる。とくに、1982年後半には、2に近い値をとっている。1983年になると、値は、低下しているが、7月になってから再び上昇し、11月の地震の後には、再び低下している。 $\Delta M$  の方は、地震発生とはほぼ無関係に単調減少しているが、そのばらつき量は、1年半の周期で増減を繰り返す傾向が認められる。 $V_p/V_s$  にも前兆的変動のようなものは全くない。

③ 領域3 (伊豆半島東方沖とその周辺) (図7)

この領域は、非常に地震活動度の高い場所で、解析期間中には、マグニチュードが5を超えるような地震こそ起きていないが、1983年1月、1984年9月、そして、1985年3月と10月に比較的規模の大きい群発地震活動が発生している。しかし、今回求めた地震前兆指標には、注目すべき変動が認められない。

④ 領域4 (山梨県東部) (図8)

この領域では、1983年8月に、M6.0の山梨県東部地震が発生している。この地震に先立って、防災センターの地殻活動観測網では、傾斜記録(佐藤他、1984)、コード継続時間(Sato, 1986)やラドン濃度(吉田, 1984)に異常変動が観測された。 $b$  値は、1982年11月頃から地震発生時にかけて、単調に減少しているが、同様な変化は、1984年2月から7月にかけても認められ、この場合は大きな地震の発生にはつながっていない。また、1986年3月頃からも、 $b$  値は低下し続けている。他の2つの地震前兆指標は、解析期間中はかなり安定している。

⑤ 領域5 (千葉県北・中部) (図9)

この領域は、地震活動度がかかなり高く、 $M \geq 4$  の地震もかなりの頻度で発生している。 $b$  値は、1981年後半から1982年中頃まで、かなり急激に低下し、その後ほぼ1年間、0.7程度の低い値を維持していたが、1983年7月頃から翌年の初めにかけて、約1.0まで上昇した。一方  $\Delta M$  にはほとんど変動がない。また、 $V_p/V_s$  は、前述したように、この領域では、10個ずつ移動平均をとって平滑化しているが、それでも1981年の前半と、1985年中頃にかかなり大きな値になった時期がある。しかし、この領域には中規模の地震が頻発しているため、こうした地震前兆指標の変動を特定と地震との関係を識別するのは困難である。

⑥ 領域6（霞ヶ浦南方周辺）（図10）

この領域には、特に大きな地震は起きておらず、 $M4$ 級のもの、1982年10月と1985年7月に発生しているだけである。しかし、 $b$ 値は1984年の終わり頃から、やや低下した後、1985年7月の地震（ $M4.2$ ）の直前まで、約8カ月間増大し続けている。それまで非常に安定していたことから、この変化は、地震の発生に関係した先行現象であるとも考えられる。一方、 $\Delta M$ は比較的安定しており、また、 $V_p/V_s$ は平滑化していないため、そのばらつきが目立つ。

⑦ 領域7（茨城県南部）（図11）

この領域では、1985年10月に、東京で震度5の揺れを感じた $M6.1$ の地震が千葉・茨城県境付近で発生している（堀、1986）。この地震に先行して防災センターの地殻活動観測網では、ラドン濃度に異常変動が認められた（吉田、1986）。今回解析した地震前兆指標の内、 $b$ 値と $\Delta M$ にも、前兆的変動と考えられるものが認められる。まず $b$ 値は、1982年の終わりから1984年の中頃まで0.9前後で非常に安定していたが、1984年の9月から12月まで、約1.2という高い値となった。その後、1985年5月にかけて、値はもとにもどったが再び上昇し、10月の地震発生に至った。また $\Delta M$ も、1985年3月頃までほとんど変動がなかったものが、やや値が大きくなった後、地震が発生し、その後もとの水準にもどっている。これは、地震発生の半年程前から、コーダ波の継続時間が平均的に長くなったことを意味している。一方、 $V_p/V_s$ は、1.75付近で、かなり安定している。

⑧ 領域8（茨城県南西部鬼怒川西側）（図12）

この領域も、非常に地震活動度が高く、中規模の地震が頻発している。しかし、今回調べた3つの地震前兆指標には、特定の地震に関係するような変動は認められない。ただし、 $b$ 値は、1986年4月頃から、過去に例のない上昇を続けており、今後の地震発生の可能性も含めて、さらに監視が必要である。

#### 4. ま と め

領域を3次元的に設定し、各領域について $b$ 値、 $\Delta M$ 、 $V_p/V_s$ を調べた結果、以下の事実が判明した。

- ① それぞれの地震前兆指標に地域性が認められた。なかでも $b$ 値は、霞ヶ浦南方と千葉県北・中部のように、接近した場所でも0.4程度の差が認められる。 $\Delta M$ と $V_p/V_s$ は、領域ごとの差に比べて、データのばらつきがやや大きい。これは $\Delta M$ の場合、使用する観測点を限定しなかったことと、 $V_p/V_s$ の場合、和達ダイアグラムを作るために用いた観測点の分布が、対象領域の空間的広がり比べて大き過ぎたことが、理由として考えられる。
- ②  $b$ 値はほとんどの領域で比較的周期の長い時間変化を呈した。一方 $\Delta M$ や $V_p/V_s$ には特筆すべき変動が、認められない場合が多い。

- ③ 1985年10月4日に千葉・茨城県境付近で発生した地震 ( $M6.1$ ) に先行する  $b$  値と  $\Delta M$  の変動は、前兆現象である可能性が高い。その他にも検出された変動の中には、地震発生に関係していると考えられるものがある。
- ④ 領域8 (茨城県南西部鬼怒川西側) では、1986年4月以来、 $b$  値が顕著に増大し続けている。

今回の研究は、特定の地震に注目した、所謂「後予知」的な解析ではなく、APEシステムに組み込む予定の実践的な自動地震前兆解析のための、予察的な研究としての意味も持っている。今後、その開発にあたって、今回の解析で得られた地震前兆指標の地域性や変動パターンに対する知見を生かすことができると期待される。

## 謝 辞

本論文の作成にあたり、防災センター第2研究部の大竹政和主任研究官 (地震予知総括) は、有益な助言を与えて下さった。ここに深く謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 堀 貞喜 (1986) : 1985年10月4日千葉・茨城県境付近に発生した地震の発生メカニズムとその構造的意義について。地震2, **39**, 81-97.
- 2) 井元政二郎 (1987) : 東海地域における最近の  $b$  値の時空間変化。地震2, **40**, 19-26.
- 3) 松村正三 (1984) : 微小地震観測網の検知能力の評価について—国立防災科学技術センター関東・東海地殻活動観測網—。地震2, **37**, 475-489.
- 4) Matsumura, S., Y. Okada, M. Imoto, S. Shimada, S. Hori, T. Ohkubo, M. Ohtake and K. Hamada (1986) : The analyzing system for precursors of earthquakes (APE) of the NRCDP, Japan. Proceedings of the 5th Joint Meeting of the UJNR Panel on Earthquake -Prediction Technology, Tsukuba, Japan.
- 5) Nur, A. (1972) : Dilatancy, pore fluids and premonitory variations of  $ts/tp$  travel times. Bull. Seism. Soc. Am., **62**, 1217-1222.
- 6) 大久保正 (1984) : 地震の規模別頻度分布による防災センター観測網の震源決定能力の推定。地震学会講演予稿集, No. **2**, 260.
- 7) 大内 徹・奥田 暁 (1986) : 地震観測データの統計解析(1) — 最小二乗法と主成分分析法 —, 地震学会講演予稿集, No. **2**, 95.
- 8) Papanastassiou, D. and S. Matsumura (1987) : Examination of the NRCDP's (The National Research Center for Disaster Prevention) Seismic Observational Network as regards I. Detectability-locatability II. Accuracy of the determination of earthquake source parameters. 国立防災科学技術センター研究報告, **39**, 37-65.
- 9) Sato, H. (1986) : Temporal change in attenuation intensity before and after the eastern Yamanashi earthquake of 1983 in central Japan. J. Geophys. Res., **91**, 2049-2061.
- 10) Sato, H. (1987) : A precursorlike change in coda excitation before the western Nagano earthquake ( $M_s = 6.8$ ) of 1984 in central Japan. J. Geophys. Res., **92**, 1356-1360.
- 11) 佐藤春夫・立川真理子・大久保正 (1984) : 山梨県東部の地震 (1983年8月8日) に先行した異常な地殻傾斜変化。地震2, **37**, 197-205.

- 12) Smith, W. D. (1986) : Evidence for precursory changes in the frequency - magnitude  $b$ -value. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **86**, 815 - 838.
- 13) Suyehiro, S. (1966) : Differences between aftershocks and foreshocks in the relationship of magnitude to frequency of occurrence for the great Chilean earthquake of 1960. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **56**, 195 - 200.
- 14) 鶴川元雄・石田瑞穂・松村正三・笠原敬司 (1984) : 関東・東海地域地震観測網による震源決定方法について. 国立防災科学技術センター研究速報, **53**, 1 - 88.
- 15) Utsu, T. (1966) : Statistical significance test of the difference in  $b$ -value between two earthquake groups. *J. Phys. Earth*, **14**, 37 - 40.
- 16) 渡辺 晃 (1971) : 近地地震のマグニチュード. *地震*, **24**, 189 - 200.
- 17) 吉田則夫 (1984) : ラドン濃度変化の要因. 地震学会講演予稿集, No. **2**, 21.
- 18) 吉田則夫 (1986) : 1985年10月4日千葉・茨城県境付近の地震前のラドン濃度の異常. 地震学会講演予稿集, No. **1**, 149.

(1987年2月16日原稿受理)