

## 四国東部の地震活動

### —気象庁による一元化震源 (1997. 10~2005. 12) の結果—

許斐直・松村一男・近藤和男

#### 要 旨

南海地震に先立って最上部マントルに働いている南北方向の応力が地殻上部にも作用して現在の東西方向の応力との差が無くなる結果、地殻地震の活動の低下が顕著になると言う岡野・木村の仮説の立場に立って四国東部の浅発地震活動の水準の評価するため、気象庁による一元化震源 (1997年10月~2005年12月) について時系列と規模別頻度分布を調べグーテンベルグ・リヒターの式のa値及びb値を求めた。又南海地震の脆性破壊領域であるマントル地震についてより広範囲の領域について同様の事を試みた。地殻地震の活動低下に続きマントル地震の静穏化も起こるならば、上記のような数値化によってその兆候を検出する事が出来るかも知れない。

**キーワード**：南海地震，地震活動の低下，グーテンベルグ・リヒターの式，起震応力

#### 1. はじめに

南海道大地震(昭和 21 年 12 月 21 日)(中央気象台, 1947) より 59 年経った今, 次の南海地震に至る過程のどの様な段階にあるかを推定する事は地震学的にも防災上からも大きな課題である。

木村 (2001) は四国地方の地震発生のメカニズムと昭和の南海地震の前の地震活動に関する岡野・木村の長年の研究をまとめた上で, 「次の南海地震の発生直前には地殻に働く東西と南北方向の応力差がほとんどなくなる結果, 地殻地震の活動低下が顕著になる事が推定される。」と言う見通しを述べた。そして 1998 年頃からやや活発化している地殻地震の活動から見て「南海地震の発生時期が切迫しているとは考えられない。」事を指摘している。

又同じ論文で「モホ面直下に約 9 度の傾斜で北下りの分布を示すマントル地震発生層に南海地震を起こすエネルギーが蓄積される」ことを主張し, この脆性領域における破壊とすべりが南海地震そのものである事を述べている。

さらに四国における地殻地震は南海地震の前 19 年間はほとんど発生しておらず, 4 年前からはマントル地震も又活動が低下していた事を述べ, マントル地震における静穏化も次の南海地震の発生過程で重要な指標となり得る事を示唆している。

そこで著者らは 1997 年 10 月以降の気象庁による一元化震源を用いて四国東部とその周辺の地震活動度を表現して, 次の南海地震へ向っての歪エネルギー蓄積の段階を評価するための基礎資料とすることをめざした。

#### 2. 地震発生の時系列と規模別頻度分布

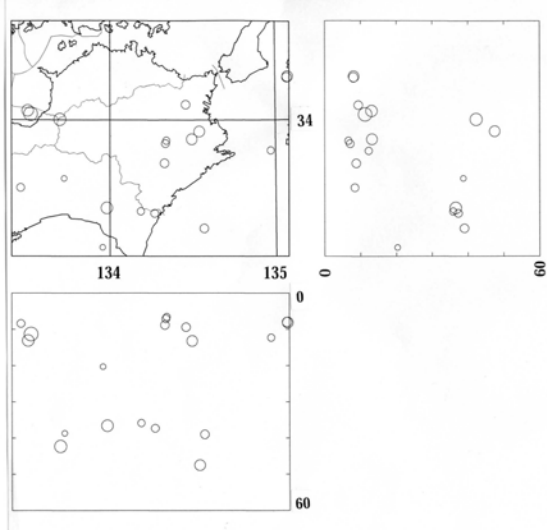
##### 2.1 震源データ

用いたデータは気象庁が FTP サイトで公開している震源データ・ファイル JMA\_HYP の確定震源 (1997 年 10 月より 2005 年 10 月) と JMA\_PDE の速報震源 (2005 年 11, 12 月) をつないだ震源リストである。尚四国での Hi-net データの処理は 2000 年 10 月から実施されている。この期間の四国東部での主な地震は

**Table 1** 及び **Fig. 1** の通りで、1999 年 10 月に川之江沖に発生したマグニチュード (M) 4.9 の地殻内の地震、2005 年 5 月に池田付近で発生した M4.7 のマントル内地震などであった。前者については元のファイルには M4.6 として 1 個の地震が登録されているが、石井観測点の振動継続時間から見て小さすぎるので M を修正した。又この地震は 6 秒前にそれよりやや小さな地震を伴った。

**Table 1** List of major earthquakes with  $M > 3.8$  for the period from Oct.1997 to Dec. 2005.

Y	M	D	H	M	S	N	E	H	M
1998	9	24	17	3	21.4	33.46	134.57	39.0	4.2
1998	11	22	9	15	0.0	33.37	133.96	20.3	3.8
1999	7	19	5	14	49.1	33.79	134.33	8.8	4.2
1999	10	30	6	25	50.8	34.05	133.50	13.1	4.7
1999	10	30	6	25	56.3	34.03	133.52	11.3	4.9
2000	2	12	12	1	32.6	33.71	133.72	38.7	3.8
2000	4	11	11	31	49.8	33.85	134.97	12.3	4.0
2000	7	23	1	46	43.7	33.88	134.34	7.1	4.1
2000	7	26	16	24	15.4	33.66	133.46	8.4	4.1
2001	1	25	19	45	26.8	33.94	134.54	47.5	4.5
2001	2	8	14	11	58.5	33.91	134.49	13.2	4.5
2002	3	11	15	54	19.7	34.08	134.46	9.4	4.2
2003	8	14	23	45	53.9	33.56	133.98	36.6	4.6
2003	8	31	10	41	24.4	33.54	134.27	37.3	4.1
2004	4	6	7	51	6.0	33.90	134.34	6.6	4.0
2004	6	8	8	5	23.9	34.21	135.08	8.1	4.5
2004	6	8	9	4	51.5	34.21	135.07	8.0	4.3
2004	11	11	2	22	28.9	33.55	134.19	35.9	4.0
2005	5	27	3	17	20.6	34.00	133.70	42.3	4.7

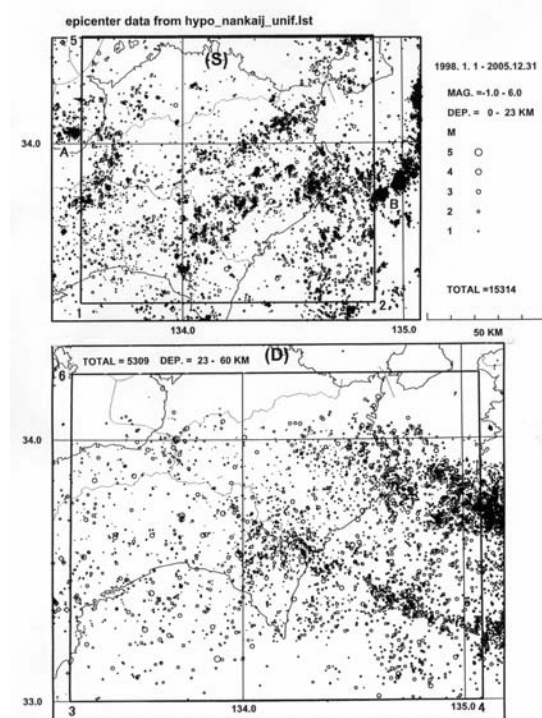


**Fig. 1** Hypocenter map of major earthquakes with  $M > 3.8$  for the period from Oct.1997 to Dec.2005.

## 2.2 領域の設定

次に時系列と規模別頻度分布を調べる領域を **Fig. 2** のように設定する。上図 (S) の太線で囲んだ範囲は深さ 23 km 以下の地殻内の地震で、2 年を越える群発地震活動となった川之江沖の礪 (A) と長期に渡る群発活動となっている日ノ岬沖の地震群 (B) を含まない領域をとった。又下図 (D) のそれは深さ 23 km 以下の主としてマントル内の地震に対する領域である。即ち東側の境界は中村ら (1997) で求められたマントル地震の等深度線の分布において、リーディング・エッジ (沈み込む震源面の先端部分) が傾斜の違いから和歌山県側で折れ曲がり裂けるような形になっている部分で取った。又西側の端は高縄半島から広島県の方へ震源面がリーディング・エッジに向かって引き伸ばされたような形になっている部分を避けて震源面が比較的単純な形態を示す領域を選んだ。

地殻地震の下限の地域的な違いから (S) の両サイドでは若干の部分が (D) の方へ含まれ、南部の海域においては深さの精度がおちているので地殻地震とマントル地震の分離は必ずしも良くない。



**Fig. 2** Region of the data for the time series and the frequency distribution of magnitude.

## 2.3 時系列

**Fig. 3a** 及び **Fig. 3b** に S 領域の時系列を東西方向 (1-2) と南北方向 (5-1) に対して示す。Fig. 3a の左

図はすべての地震についてのものであるが、先に述べた四国での Hi-net データの読み取り・処理の始まりが小さな地震の増加として見てとれる。この図では煩雑であるのでMを2以上に限って右図に示すと、1999年半ばから2002年の初めにかけてM4クラスの地震が徳島県の中・東部で4個ほど続いた事が分る。それぞれ同じMに対して別の方向で見た Fig. 3b を見るとこの間たまたま淡路島付近でも活動がやや活発であった。又、同じ図から2004年の半ばから2005年にかけて徳島県北部のM2以上の数が減っているが、これは徳島平野の部分での活動の低下に対応するものである。

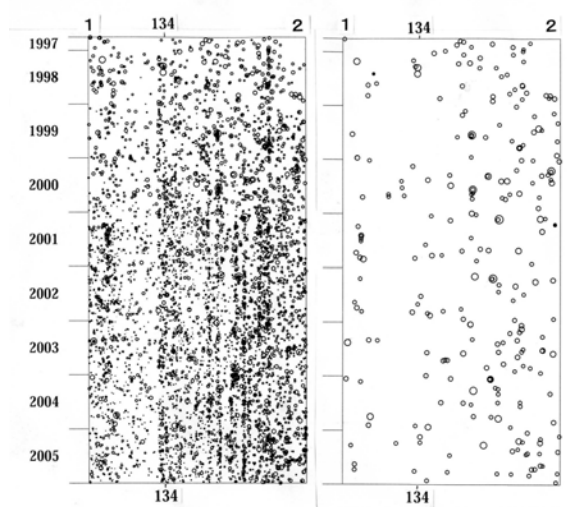


Fig. 3a Time series of shallow earthquakes. Left figure is for all earthquakes and right one is with magnitude over 2.0.

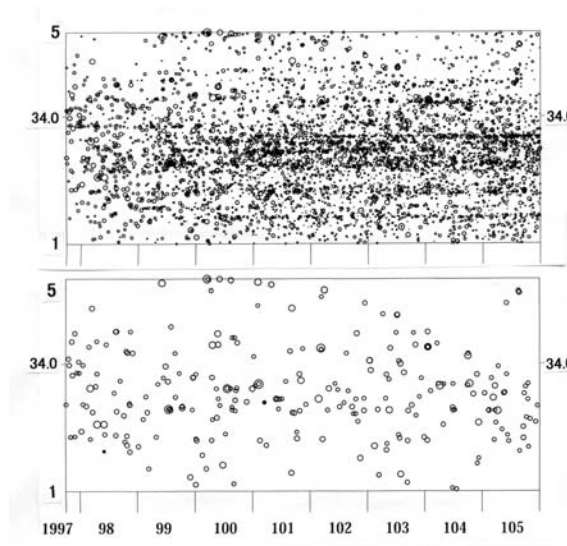


Fig. 3b Same as Fig.3a (upper and lower).

次に Fig. 4a と Fig. 4b に同じ方向でとったD領域の時系列を示した。2000年10月以降の処理範囲の変更による小さな地震の数の増加はここでも認められる。Fig. 4aの左図では東経134°の線の東側で地震数が多く特にその右半分にさらに集中している。最初の部分はFig. 2の平面図において徳島県南部から県境を越えて高知県に広がる震源域に対応する。又後の部分は徳島県東部から紀伊水道へ伸びる地震活動域と最初の部分の延長部で室戸舟状海盆（茂木, 1977）に至る帯状の活動域の二つを合わせたものをそれぞれ反映している。M2以上をとった右図にはこの傾向が同じように見られるが、規模の大きな地震はそれとは異なっ

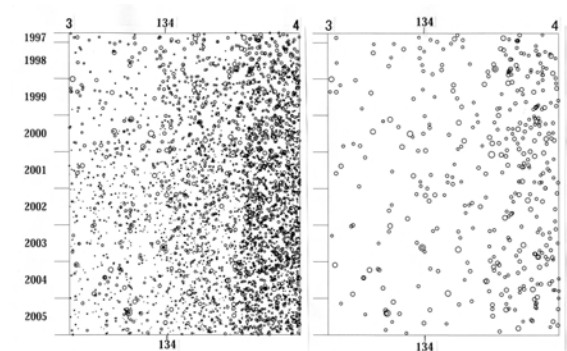


Fig. 4a Time series of deep earthquakes. Left figure is for all earthquakes and right one is with magnitude over 2.0.

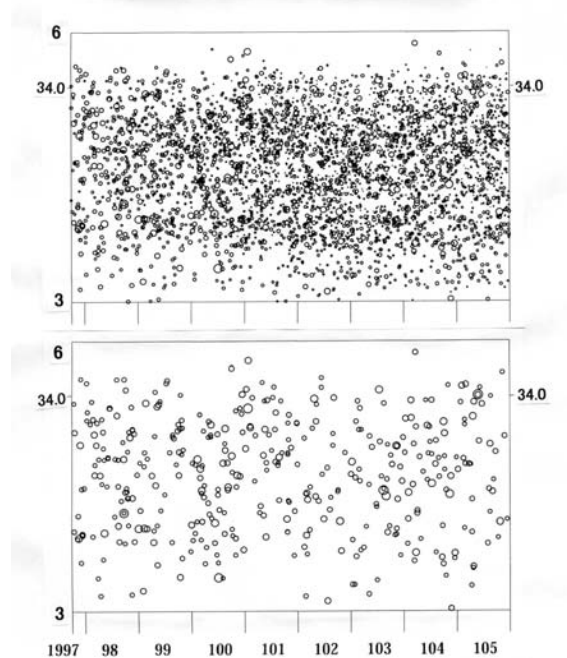


Fig. 4b Same as Fig.4a (upper and lower).

て比較的散らばって発生している様に見受けられる。Fig. 4b と合わせて見ても時間的な変化にはそれ程明瞭なもの認められない。

## 2.4 規模別頻度分布

前節では浅い地震の活動が若干の地域で変化が認められる事を述べた。この節では二つの地震発生面それぞれに対して地震の規模と数の関係について調べる。Fig. 5 には積算頻度で示したグーテンベルグ・リヒター (G-R) ダイアグラムを示す。上図は浅い地震領域に対するものであり、下図は深い地震のそれである。それぞれ直線と見られる範囲について G-R の式  $\log N(M) = a - bM$  の値を計算して示した。前者では M1 以上、後者では M1.5 以上でほぼもれ無く観測されていると見られる。b 値の計算は宇津の最尤法による区間値の式を用い、ダイアグラムの図示を含めて松村ら (1996) の方法に従った。

次に各年と 8 年間を通しての規模別頻度分布を積算でない形で見ると S 領域に対して Fig. 6 に又 D 領域に対して Fig. 7 に示す。図には積算頻度が直線と看

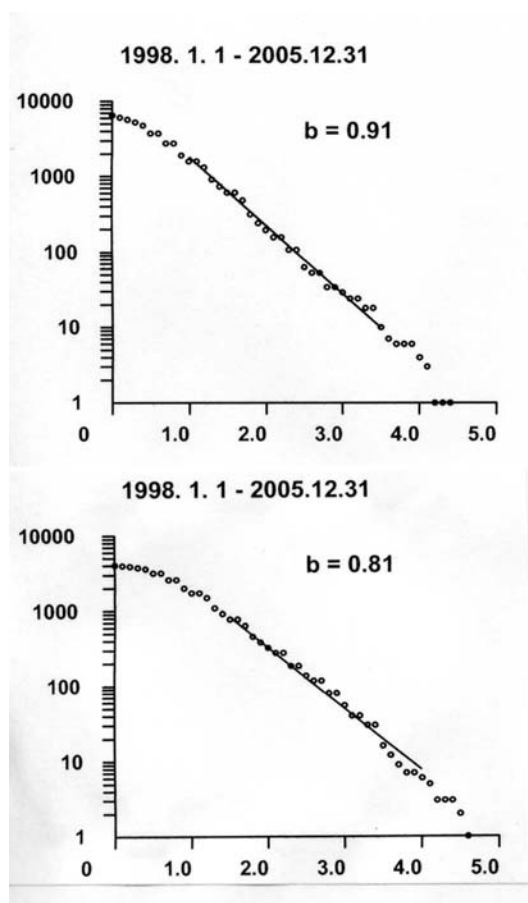


Fig. 5 Cumulative frequency of earthquakes to the shallower seismic zone ( upper ) and the deeper one ( lower ).

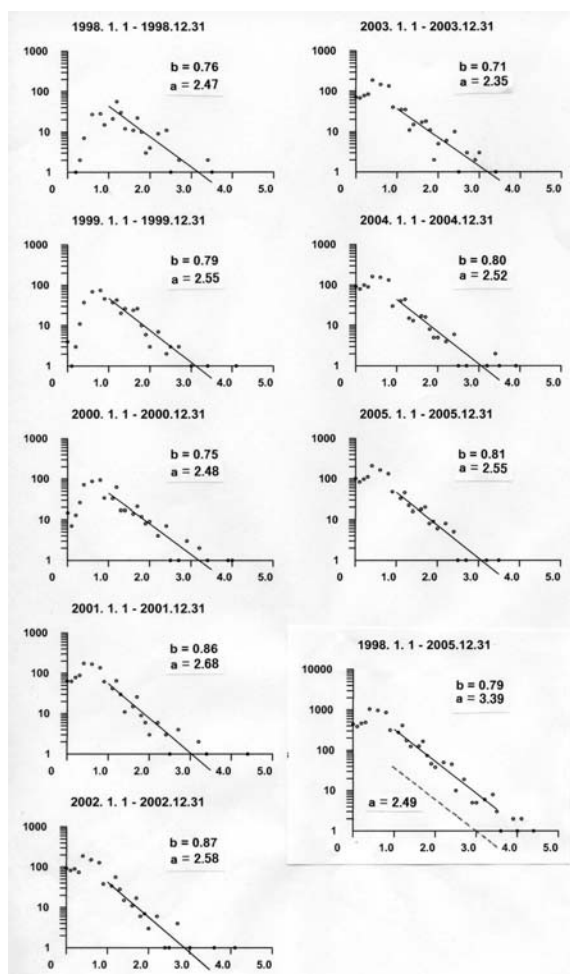


Fig. 6 Diagrams of annual frequency distribution of shallow earthquakes, and that of total period.

做される範囲 (S 領域では M が 1.0 から 3.5, D 領域では 1.5 から 4.0) の G-R 式を実線で引き a 値及び b 値を併せて示した。

まず浅い地震に対しての結果を見ると、8 年間を通しての G-R の式は  $\log n(M) = 3.39 - 0.79M$  と求まるが 1 年間に直すと  $\log n'(M) = 2.49 - 0.79M$  である。これを図中に点線で示したが各年に対して引かれた線とは大方の所で一致する。先に述べた徳島県中・東部での M4 クラスの地震の発生も 8 年間の分布を見ると、現在の微小地震活動の程度では統計的にあり得る頻度であると考えられる。次に D 領域に対する結果を Fig. 7 に示す。ここでは M1.5 から 4.0 の範囲では 1 年毎の分布に於ける点数がやや少ないので G-R の式の計算は行わず、8 年間を通した式  $\log n(M) = 3.29 - 0.71M$  を求め 1 年の平均値に直した  $\log n'(M) = 2.39 - 0.71M$  を点線で図示した。2000 年と 2004 年で M3 以上の地震の数が多くなっている事が判る。

以上、規模別頻度分布に関するまとめを表として Table2 に示した。

### 3. まとめと今後の課題

昭和の南海地震前の四国地方の地震活動の低下は当時の観測の状況からマグニチュードが4程度より大きい地震について調べられたものであるが、かなり長期にわたって小地震が起こらなくなればグーテンベルグ・リヒターの関係からは微小地震の数が目立って減っていくはずである。地殻地震の活動低下が現在地震発生の原因となっている東西方向の応力と南海地震の原動力である南北方向の応力が地殻にも作用しこれらの応力差が小さくなるためであるとすれば、低下する地震活動の中に南北方向の主圧力を持った地震が含まれて来ることが考えられる。Fig. 2 で選択した震源の分布と上に述べた起震応力（矢印）との関係を Fig. 8 に示した。枠外の番号は Fig. 2 の地図に示した番号である。

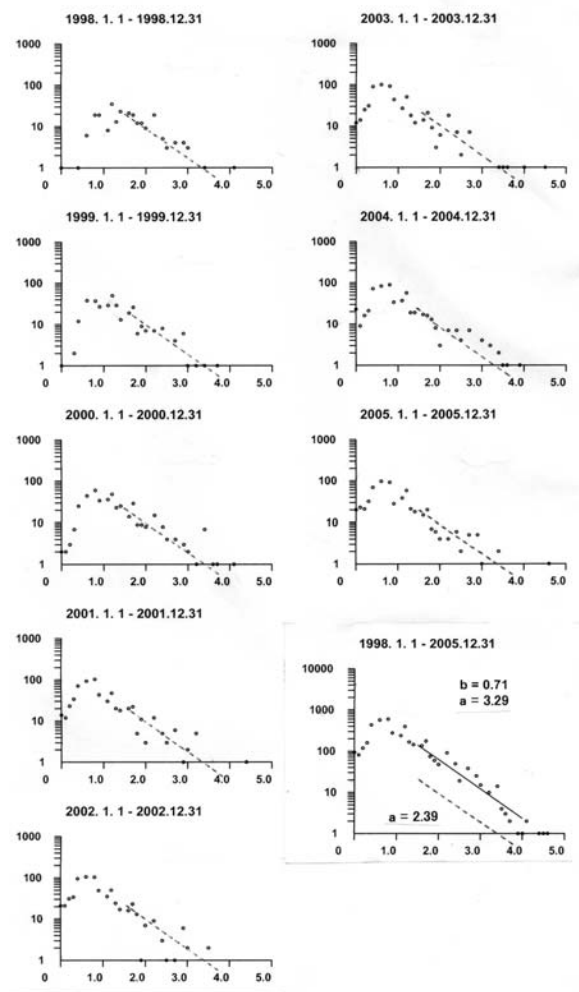


Fig. 7 Diagrams of annual frequency distribution of deep earthquakes, and that of total period.

今回は領域の設定を長方形の二つに限りまた地殻地震に対しては群発領域を外して時系列と規模別頻度分布について考えたが、活動域の連続性なども考慮した別の領域についても検討して過去の活動に溯っても評価し得る適切な領域を選定していく必要がある。

Table 2 Summary of the frequency distribution to the shallower seismic zone (upper) and the deeper one (lower).

S	98	99	0	1	2	3	4	5	total
b	0.76	0.79	0.75	0.86	0.87	0.71	0.8	0.82	0.79
a	2.47	2.55	2.48	2.68	2.58	2.35	2.52	2.55	3.39
M>4.0	0	1	1	1	1	0	0	0	4
3.9>M>3.5	1	0	1	0	1	0	2	1	6
3.4>M>3.0	2	2	3	3	1	4	3	1	19
2.9>M>2.5	3	6	5	5	5	6	2	2	34

D	98	99	0	1	2	3	4	5	total
b									0.71
a									3.29
M>4.0	1	0	1	1	0	2	0	1	6
3.9>M>3.5	0	1	2	0	2	2	3	0	10
3.4>M>3.0	4	3	10	7	2	1	9	3	39
2.9>M>2.5	11	10	11	10	8	9	11	12	82

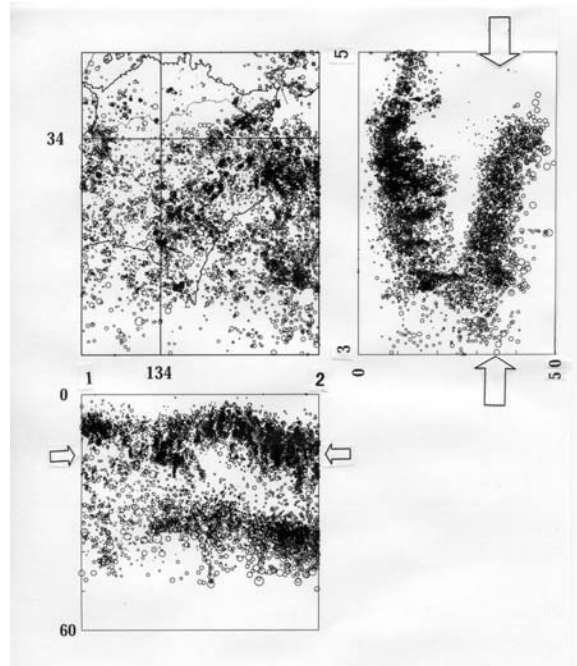


Fig. 8 Focal distribution and the relation of the tectonic stresses. Numbers out of frame are as in Fig.2.

### 謝辞

今回使用したデータは気象庁がFTPサイトで公開したものを気象庁、大学のネットワークで配信を受けた。微小地震の基盤観測の維持に携わっておられる方々、気象庁に於いて一元化データに関する業務に関わっておられる皆様方に感謝します。

## 参考文献

- 木村昌三 (2001) : 1946 年南海地震に係る四国における地震活動の特徴, 地学雑誌 Vol. 110, No. 4 (1976) pp. 581-591.
- 中央气象台 (1947) : 昭和 21 年 12 月 21 日南海道大地震調査概報
- 中村正夫・渡辺晃・許斐直・木村昌三・三浦勝美 (1997) : 西南日本外帯における地殻下地震の活動特性, 京都大学防災研究所年報, 第 40 号 B-1

- 松村一男・中尾節郎・渡辺邦彦・西上欽也 (1996) : 兵庫県南部地震前後の中国地方東部～近畿地方西部の地震活動, 京都大学防災研究所年報, 第 39 号 B-1
- 茂木昭夫 (1977) : 日本近海海底地形誌—海底俯瞰図集, 東京大学出版会

## Seismicity in East Shikoku using Unified Focus Data by J.M.A. from Oct. 1997 to Dec. 2005

Tadashi KONOMI, Kazuo MATSUMURA and Kazuo KONDO

### Synopsis

It is considered that before Nankai earthquake a little long period of very low seismicity in the crust appears due to decrease of the deviatoric stress between the stress of present E-W direction and ones of added N-S direction which is main tectonic stress in the mantle. Further, just before great earthquake, it is expected that seismicity in the mantle also goes to low level.

So we examined time series and frequency distribution to magnitude for the data set of unified hypocenters by J.M.A. in 8 years.

For two regions of seismic layer, or crustal earthquakes and mantle ones, Gutenberg and Richter's relation is looked for and the coefficients are determined as 'a' value equal 3.39 and 3.29 and 'b' value equal 0.79 and 0.71 respectively. The signals moving to low seismicity level will be detected by the continuous careful watching of 'a' and 'b' values.

**Keywords:** Nankai earthquake, decrease of seismicity, Gutenberg – Richter's relation, tectonic stress