

## 日本付近で発生した陸域 M6.0 以上と海域 M7.0 以上の地震の余震活動について

### Aftershock Activity of the Earthquakes above M6.0 in the Inland Area and above M7.0 in the Offshore Area in Japan

明田川 保<sup>1</sup>

Tamotsu AKETAGAWA<sup>1</sup>

(Received Nov 28, 2006; Accepted June 20, 2007)

#### 1 はじめに

現在、気象庁では、大規模な地震が発生し、その後の一連の地震活動が本震-余震型と判断できる場合に余震活動の見通しを発表している。この情報は、

- 1) 本震による被害の激甚性（最大震度 6 弱以上が目安となる）
- 2) 本震による震度 5 弱（被害発生の下限とされる）以上の広がり範囲
- 3) 有感の余震の頻発

を勘案し、被災地を中心とした情報の受け手側が余震に備えてどう行動したらよいかを的確に伝えることを目的とする。情報は平易な表現で組み立てられるが、当然のことながら、その根拠として客観的・定量的な余震活動の見通しが必要であり、この判断は、平成 10 年 4 月 8 日に地震調査究推進本部地震調査委員会によって公表された「余震の確率評価手法について」（地震調査委員会、1998）に基づいて行われる。余震発生確率は、余震活動のマグニチュード (M) 度数分布がグーテンベルク・リヒターの式 (GR 式) に従うことと、その減衰の様相が改良大森公式に従うことを組み合わせて用いることによって、ある規模以上の余震発生を確率評価するものである。具体的には、例えばある時点から 3 日以内に、ある規模以上の余震が発生する確率を % で表す。この手法を扱うには、GR 式および改良大森公式のパラメータ（余震活動パラメータ）を正確に求めることが肝要であるが、実際の場合、本震発生後 1 日程度の非常に限られたデータを用いて最初の情報を出さなければならない。

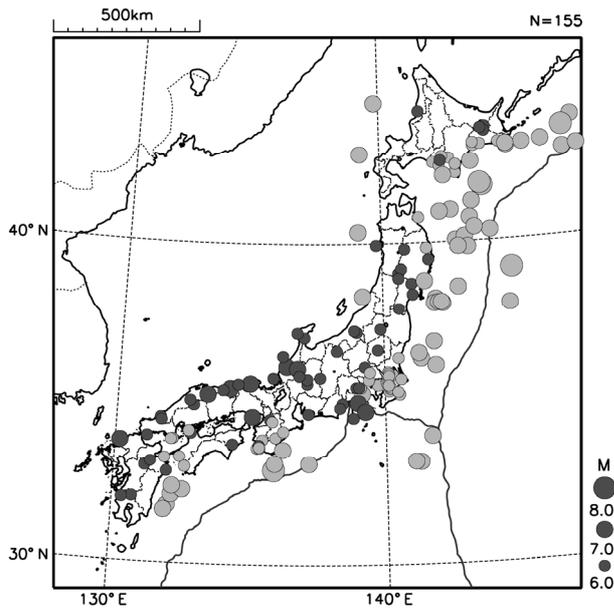
このような制約の中、できる限り正確な予測をす

るためには、過去に発生した大規模な地震について得られた余震活動パラメータをまとめておくことが有意義である。過去の余震活動のパラメータ値は、新たに得られた余震活動パラメータの妥当性を評価する材料になり、また、既知のパラメータの時間的、空間的特徴が明らかになっていけば、それらの知識を踏まえた上での予測が可能となるからである。このような観点から、沖縄を除く日本付近で発生した陸域 M6.0 以上と海域 M7.0 以上の本震-余震系列の余震活動パラメータを整理し、その特徴などを考察する。

#### 2 調査方法

本調査では、1923 年 8 月以降の気象庁震源ファイルから前述のとおり陸域の M6.0 以上と海域の M7.0 以上の本震とみなせる地震をピックアップした。M の閾値が大きいので、必然的にデータは 155 イベントと少ない。また、このうち本震-余震系列（余震が観測されている活動）は 129 例である。しかし、サンプル数を増やすためにより小さな地震までを含めると、余震発生確率処理とは無関係の地震の結果を大量に含んでしまうので、それは避けた。調査に用いた地震は陸域と海域とに分類した。陸域は地殻内の浅い地震に限り、震央が陸域にあっても海洋プレートの境界や内部で発生したもの等、やや深い地震は海域に含めた。古い地震データで、地殻内か海洋プレートの地震かを確実に判定できない場合は、深さ 40km 以深のものは海洋プレートの地震と見なした。第 1 図にピックアップした地震の分布を示す。

<sup>1</sup> 地震火山部地震予知情報課, Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department



第 1 図 本調査に用いた地震の分布図  
●は陸域の地震、○は海域の地震（海域と陸域の海洋プレート内）に分類したものをそれぞれ示す。

本調査には 2007 年 4 月現在のデータを使用した  
が、気象庁震源ファイルは順次改訂作業が行われて  
おり、本調査の段階ではわずかではあるが未了部分  
を含んでいることをことわっておく。また、古い地震  
については当時の検知能力が低いために詳細が良く  
わからないものが多く、比較する場合はその点を  
踏まえることが必要である。

調査にあたっては、気象庁で開発した地震活動解  
析プログラム hypdsp (横山, 1997) と REASA (明  
田川他, 2007) を主に利用した。GR 式のあてはめ (b  
値の計算) と、改良大森公式のあてはめ (K, p,  
c 値の計算) は REASA を用いて最尤法により行っ  
た。これら余震活動パラメータを求めるアルゴリズム  
は伊藤・明田川 (2007) に詳しく記されている。

なお、個々の本震-余震系列の調査結果について  
は、震央分布図、最大余震の M 等の基本資料のほか  
に、改良大森公式へのフィッティング結果などをま  
とめて別資料 (付録 C D) とした。ここでは、得ら  
れた余震活動パラメータをまとめ、その特徴や分布  
を考察する。

### 3 調査結果

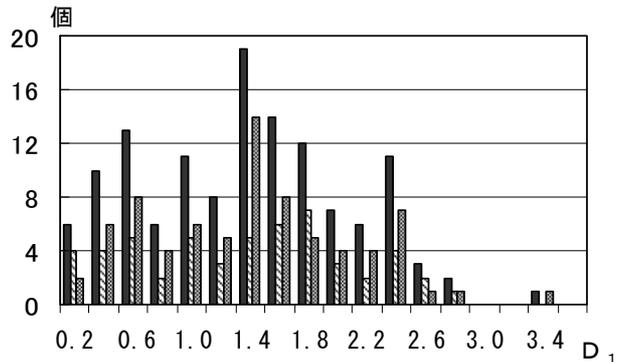
#### 3.1 余震の規模

表 1 に、それぞれの地震について本震 M と余震の

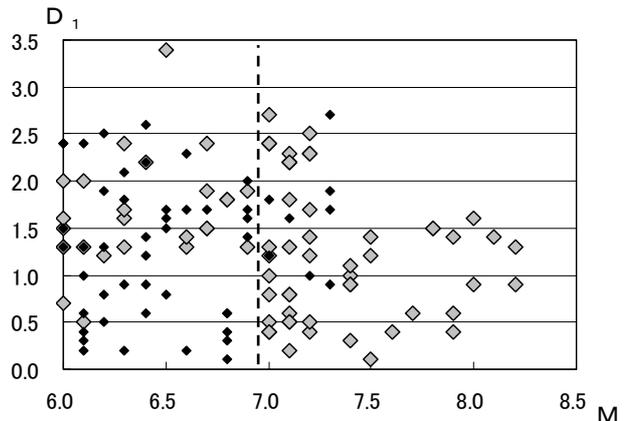
規模、および GR 式のパラメータ b 値についてまとめ  
た。余震の規模については最大余震の M、本震発生  
後 24 時間内に発生した余震の最大 M、24 時間経過  
後から 7 日間の余震の最大 M を示した。

表 1 の結果に基づき、第 2 図に本震 M と最大余震  
M の差 ( $D_1$ ) のヒストグラムを示す。 $D_1$  の値が  
0.5 未満の大きな余震を伴ったケースは 129 例中 16  
例 (全体の約 12%)、 $D_1$  が 1.0 未満は 42 例 (約 33%)  
である。陸域、海域とも特段の傾向は見られない。  
 $D_1$  が 2.5 以上になると数が減るが、これは検知能  
力による見かけ上の結果の可能性がある。 $D_1$  が 2.0  
を超える場合、M6 クラスの地震なら M3 クラスを捕  
捉する必要があるが、古い年代ではそれは難しい。  
また、余震が観測されていない地震も同じ理由の可  
能性がある。

第 3 図は本震 M と  $D_1$  の関係である。陸域の M6.8



第 2 図 本震のマグニチュードと最大余震のマグ  
ニチュードの差 ( $D_1$ ) の分布  
(■ 全域 □ 陸域 ▨ 海域)  
横軸の 0.2 は、0.1 以上 0.3 未満を表す



第 3 図 本震のマグニチュードと  $D_1$  の関係  
(◆ 陸域の浅い地震, ◇ 海域; ただし、破  
線より左側はすべて海洋プレート内などで発  
生した陸域のやや深い地震)

日本付近で発生した陸域 M6.0 以上と海域 M7.0 以上の地震の余震活動について

表 1 調査に用いた地震の余震規模と b 値一覧 (その 1)

「No.」の [色] は陸域に分類した地震を示す。「地震名」の [色] は命名地震あるいは俗称を持つもの。「本震 M」の [色] は 1 か月以内に M5.0 以上の前震を伴ったもの。「本震と最大余震の M の差」の [色] は差が 0.5 未満, [色] は 0.5 以上 1.0 未満を表す。「b 値」の [色] は 0.7 未満のもの。「24 時間および 48 時間 b 値」は, [色] が最終的な値より小さいもの, [色] が大きいものを示す。

No.	年月日	地震名(震央地名)	本震M	最大余震M	本震と最大余震のMの差	24時間内の余震の最大M	24時間後から7日間の余震の最大M	b値	24時間データによるb値	48時間データによるb値
1	1923年9月1日	関東地震	7.9	7.3	0.6	7.3	6.9	0.58	0.44	0.47
2	1923年10月9日	秋田県内陸南部	6.1							
3	1924年5月23日	日高支庁中部	6.0	4.7	1.3	4.7				
4	1924年7月1日	北海道東方沖	7.5							
5	1924年8月13日	紀伊水道	6.1	5.6	0.5	5.6				
6	1924年8月15日	茨城県沖	7.2	6.8	0.4	6.8	6.3	0.77		
7	1924年8月29日	大分県南部	6.1							
8	1925年5月23日	北但馬地震	6.8	6.2	0.6	5.7	6.2	1.10		
9	1925年6月23日	日高支庁西部	6.0							
10	1926年8月3日	東京都23区	6.3							
11	1927年3月7日	北丹後地震	7.3	6.4	0.9	6.3	5.6	0.74	0.68	0.73
12	1927年4月22日	十勝支庁南部	6.0							
13	1927年10月12日	釧路支庁中南部	6.3							
14	1928年5月21日	千葉県北西部	6.2	5.0	1.2	5.0	4.3			
15	1928年5月27日	岩手県沖	7.0	6.6	0.4	5.4	6.6	0.93		
16	1928年7月8日	釧路支庁中南部	6.0							
17	1929年7月27日	神奈川県西部	6.3	4.7	1.6		4.7			
18	1930年6月1日	茨城県北部	6.5							
19	1930年11月26日	北伊豆地震	7.3	4.6	2.7	4.6	3.9	0.99		
20	1930年12月13日	日高支庁中部	6.5							
21	1930年12月20日	広島県北部	6.1	5.9	0.2	5.9	4.5	0.85		
22	1931年2月17日	日高支庁東部	6.8	5.0	1.8	4.5				
23	1931年3月9日	三陸沖	7.2	6.0	1.2	6.0	6.0			
24	1931年3月30日	釧路支庁中南部	6.4							
25	1931年6月17日	埼玉県南部	6.3	5.0	1.3	4.0	3.5			
26	1931年9月16日	山梨県東部	6.3	5.4	0.9	4.2	5.4			
27	1931年9月21日	西埼玉地震	6.9	5.5	1.4	4.7	5.5	0.88		
28	1931年11月2日	日向灘	7.1	6.3	0.8	6.3	4.3			
29	1931年11月4日	岩手県沿岸北部	6.5	4.9	1.6	4.7	4.3			
30	1932年11月26日	日高支庁中部	6.9	5.6	1.3	5.6				
31	1933年3月3日	三陸地震	8.1	6.7	1.4	6.7	5.9	0.68	0.50	0.55
32	1933年6月19日	宮城県沖	7.1	4.9	2.2	4.5	4.7			
33	1933年9月21日	能登半島	6.0	3.6	2.4	3.6				
34	1933年10月4日	新潟県中越地方	6.1							
35	1934年8月18日	岐阜県美濃東部	6.3	4.5	1.8	4.5				
36	1935年7月11日	静岡県中部	6.4	3.8	2.6	3.8	3.2			
37	1935年10月18日	三陸沖	7.1	6.5	0.6	6.5	5.9			
38	1936年2月21日	河内大和地震	6.4	5.0	1.4	5.0	3.2			
39	1936年11月3日	宮城県沖地震	7.4	6.4	1.0	5.1	5.1	1.04		
40	1937年2月27日	山口県東部	6.0							
41	1937年7月27日	宮城県沖	7.1	4.9	2.2	4.7	4.4			
42	1938年1月12日	紀伊水道	6.8	5.0	1.8	4.8	3.7			
43	1938年5月23日	茨城県沖	7.0	6.0	1.0	4.8	5.0	0.85		
44	1938年5月29日	釧路支庁北部	6.1							
45	1938年6月6日	茨城県南部	6.0	4.5	1.5	4.5				
46	1938年11月5日	福島県東方沖地震	7.5	7.4	0.1	7.3	7.4	0.68	1.00	0.74
47	1939年5月1日	男鹿地震	6.8	6.7	0.1	6.7	5.3	0.59	0.55	0.54
48	1940年8月2日	北海道北西沖	7.5							
49	1940年11月18日	和歌山県北部	6.3	3.9	2.4	3.9	3.3			
50	1941年4月6日	山口県北部	6.2	3.7	2.5		3.7			
51	1941年7月15日	長野県北部	6.1	3.7	2.4	3.6	3.7			
52	1941年11月19日	日向灘	7.2	4.9	2.3	4.9	4.6			

表 1 調査に用いた地震の余震規模と b 値一覧 (その 2)

「No.」の [ ] は陸域に分類した地震を示す。「地震名」の [ ] は命名地震あるいは俗称を持つもの。「本震M」の [ ] は 1 か月以内に M5.0 以上の前震を伴ったもの。「本震と最大余震の M の差」の [ ] は差が 0.5 未満, [ ] は 0.5 以上 1.0 未満を表す。「b 値」の [ ] は 0.7 未満のもの。「24 時間および 48 時間 b 値」は, [ ] が最終的な値より小さいもの, [ ] が大きいものを示す。

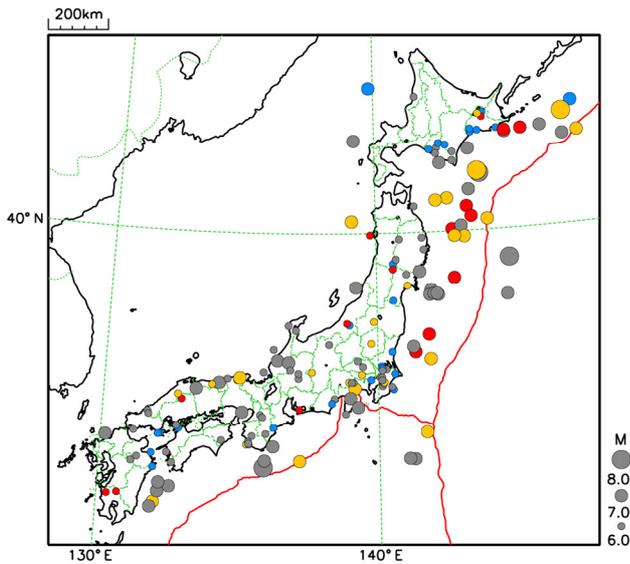
No.	年月日	地震名(震央地名)	本震M	最大余震M	本震と最大余震のMの差	24時間内の余震の最大M	24時間後から7日間の余震の最大M	b値	24時間データによるb値	48時間データによるb値
53	1943年6月13日	青森県東方沖	7.1	6.6	0.5	6.4	6.6			
54	1943年8月12日	田島地震	6.2	5.4	0.8	5.4				
55	1943年9月10日	鳥取地震	7.2	6.2	1.0	6.2	5.5	0.76	0.71	0.71
56	1944年6月7日	伊予灘	6.0							
57	1944年6月16日	茨城県南部	6.0							
58	1944年12月7日	東南海地震	7.9	6.5	1.4	6.2	5.3	0.80	0.71	0.77
59	1945年1月13日	三河地震	6.8	6.4	0.4	5.6	5.9	0.92	1.14	0.99
60	1945年2月10日	青森県東方沖	7.1	6.6	0.5	6.2	6.1	0.92		
61	1946年12月21日	南海地震	8.0	6.4	1.6	6.3	5.9	1.04	1.02	1.15
62	1948年4月18日	紀伊半島沖	7.0	4.6	2.4	4.6				
63	1948年6月15日	紀伊水道	6.7	5.0	1.7	5.0	4.8			
64	1948年6月28日	福井地震	7.1	5.5	1.6	5.5	5.0	1.15		
65	1949年1月20日	兵庫県北部	6.3	4.2	2.1	3.7	3.8			
66	1949年7月12日	愛媛県中予地方	6.2							
67	1949年12月26日	今市地震	6.4	5.8	0.6	5.0	5.8	1.33		
68	1950年4月26日	奈良県地方	6.5	3.1	3.4					
69	1950年9月10日	千葉県東方沖	6.3							
70	1951年1月9日	千葉県北西部	6.1	4.8	1.3	4.4	4.3			
71	1952年3月4日	十勝沖地震	8.2	6.9	1.3	6.4	6.9	0.97	0.94	1.01
72	1952年3月7日	大聖寺沖地震	6.5	5.0	1.5	5.0	4.8			
73	1952年5月8日	千葉県北西部	6.0	4.7	1.3	4.2	4.7			
74	1952年7月18日	吉野地震	6.7	4.3	2.4					
75	1953年11月26日	房総沖地震	7.4	6.5	0.9	6.5	5.9	1.32		
76	1955年7月24日	千葉県北東部	6.0							
77	1955年7月27日	徳島県南部	6.4	5.2	1.2	4.5	5.2			
78	1956年9月30日	宮城県南部	6.0							
79	1956年9月30日	千葉県北西部	6.3	4.6	1.7	4.6				
80	1959年1月31日	釧路支庁北部	6.3	6.1	0.2	6.1	5.2			
81	1960年3月21日	三陸沖	7.2	6.7	0.5	6.0	6.7	1.07		
82	1960年10月9日	青森県東方沖	6.9	5.0	1.9	4.6	5.0			
83	1960年12月26日	三重県南部	6.0							
84	1961年2月27日	日向灘	7.0	4.6	2.4	4.6	4.5			
85	1961年8月12日	釧路沖	7.2	5.8	1.4	5.8	5.5			
86	1961年8月19日	北美濃地震	7.0	5.2	1.8	5.2	4.6	1.16		
87	1962年1月4日	紀伊水道	6.4	4.2	2.2	4.2				
88	1962年2月21日	釧路支庁中南部	6.2							
89	1962年4月23日	十勝沖	7.1	5.3	1.8					
90	1962年4月30日	宮城県北部地震	6.5	4.8	1.7	4.8	4.7	1.38		
91	1963年3月27日	越前岬沖地震	6.9	5.2	1.7	5.2				
92	1964年6月16日	新潟地震	7.5	6.1	1.4	6.1	5.5	0.91	0.78	0.85
93	1965年4月20日	静岡県中部	6.1							
94	1967年11月4日	釧路支庁北部	6.5	5.7	0.8	5.7	3.7			
95	1968年2月21日	えびの地震	6.1	5.7	0.4	4.1	5.6	0.67		
96	1968年4月1日	日向灘地震	7.5	6.3	1.2	6.3	4.3			
97	1968年5月16日	十勝沖地震	7.9	7.5	0.4	7.5	6.4	0.93	0.82	0.92
98	1968年7月1日	埼玉県北部	6.1	4.1	2.0	4.0	4.1			
99	1968年8月6日	豊後水道	6.6	5.3	1.3	5.3	4.3			
100	1969年8月12日	北海道東方沖	7.8	6.3	1.5	6.3	6.2	1.32	1.15	1.28
101	1969年9月9日	岐阜県美濃中西部	6.6	4.9	1.7	4.6	4.9	1.22		
102	1970年1月21日	十勝支庁南部	6.7	4.8	1.9	4.8	4.4			
103	1970年10月16日	岩手県内陸南部	6.2	4.9	1.3	4.9				
104	1971年8月2日	十勝沖	7.0	5.8	1.2	5.8	5.6			

日本付近で発生した陸域 M6.0 以上と海域 M7.0 以上の地震の余震活動について

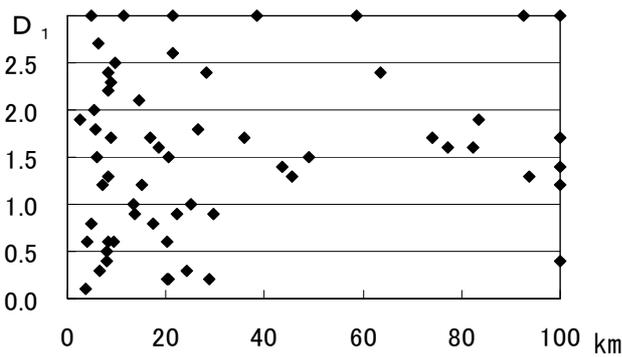
表 1 調査に用いた地震の余震規模と b 値一覧 (その 3)

「No.」の [ ] は陸域に分類した地震を示す。「地震名」の [ ] は命名地震あるいは俗称を持つもの。「本震M」の [ ] は1か月以内に M5.0 以上の前震を伴ったもの。「本震と最大余震の M の差」の [ ] は差が 0.5 未満, [ ] は 0.5 以上 1.0 未満を表す。「b 値」の [ ] は 0.7 未満のもの。「24 時間および 48 時間 b 値」は, [ ] が最終的な値より小さいもの, [ ] が大きいものを示す。

No.	年月日	地震名(震央地名)	本震M	最大余震M	本震と最大余震のMの差	24時間内の余震の最大M	24時間後から7日間の余震の最大M	b値	24時間データによるb値	48時間データによるb値
105	1972年2月29日	八丈島東方沖	7.0	5.7	1.3	5.5	5.5	1.44		
106	1972年8月31日	福井県嶺北地方	6.0	4.5	1.5		4.5			
107	1972年12月4日	八丈島東方沖地震	7.2	5.5	1.7	5.5	5.3	1.44	1.32	1.18
108	1973年6月17日	根室半島沖地震	7.4	7.1	0.3	6.1	7.1	0.97	1.05	1.01
109	1974年5月9日	伊豆半島沖地震	6.9	4.9	2.0	4.5	4.3	0.83		
110	1975年1月23日	熊本県阿蘇地方	6.1	5.1	1.0	5.1	5.0	0.79		
111	1975年4月21日	大分県西部	6.4	4.2	2.2	4.2	4.1			
112	1975年6月10日	北海道東方沖	7.0	6.5	0.5	6.0	6.5	1.12		
113	1978年1月14日	伊豆大島近海の地震	7.0	5.8	1.2	5.8	4.9	0.66	0.63	0.63
114	1978年6月4日	島根県東部	6.1	5.5	0.6	5.5	2.8	0.77		
115	1978年6月12日	宮城県沖地震	7.4	6.3	1.1	5.7	6.3	0.63	0.70	0.65
116	1979年7月13日	山口県東部	6.0							
117	1980年9月25日	千葉県北西部	6.0	5.3	0.7	5.3	3.6	0.65		
118	1981年1月19日	宮城県沖	7.0	6.6	0.4	6.0	6.6	0.71		
119	1982年3月21日	浦河沖地震	7.1	5.8	1.3	5.8	5.4	0.74	0.81	0.81
120	1982年7月23日	茨城沖	7.0	6.2	0.8	6.2	5.9	0.70	0.69	0.66
121	1983年2月27日	茨城県南部	6.0							
122	1983年5月26日	日本海中部地震	7.7	7.1	0.6	6.1	5.4	0.80	0.72	0.79
123	1983年8月8日	山梨県東部	6.0	4.5	1.5	4.1	4.5	0.85	1.17	0.95
124	1983年10月31日	鳥取県中部	6.2	5.7	0.5	5.7	4.9	0.56	0.46	0.56
125	1984年8月7日	日向灘	7.1	4.8	2.3	4.7	4.8	0.80	0.79	0.77
126	1984年9月14日	長野県西部地震	6.8	6.2	0.6	6.2	5.2	0.68	0.60	0.61
127	1985年5月13日	愛媛県南予地方	6.0	4.0	2.0	3.4				
128	1985年10月4日	茨城県南部	6.0	4.4	1.6	4.2	4.4	0.97	1.03	1.13
129	1987年1月9日	岩手県沿岸北部	6.6	5.2	1.4	4.9	3.3	0.56	0.45	0.48
130	1987年12月17日	千葉県東方沖	6.7	5.2	1.5	5.0	4.0	0.77	0.79	0.78
131	1989年11月2日	三陸沖	7.1	6.3	0.8	6.3	5.9	0.66	0.64	0.64
132	1991年10月28日	周防灘	6.0	3.6	2.4	3.6				
133	1993年7月12日	北海道南西沖地震	7.8	6.3	1.5	6.0	5.3	1.00	0.78	0.86
134	1994年10月4日	北海道東方沖地震	8.2	7.3	0.9	6.8	7.3	0.99	0.93	0.93
135	1994年12月28日	三陸はるか沖地震	7.6	7.2	0.4	6.5	6.4	0.74	0.72	0.73
136	1995年1月17日	兵庫県南部地震	7.3	5.4	1.9	5.4	5.0	0.75	0.67	0.69
137	1996年8月11日	秋田県内陸南部	6.1	5.8	0.3	5.8	5.3	0.77	0.66	0.70
138	1997年3月26日	鹿児島県薩摩地方	6.6	6.4	0.2	4.9	5.7	0.84	0.85	0.85
139	1997年6月25日	山口県北部	6.6	4.3	2.3	4.3	3.9	0.88	0.75	0.77
140	1998年9月3日	岩手県内陸北部	6.2	4.3	1.9	4.3	2.4	0.89	0.78	0.81
141	2000年1月28日	根室半島南東沖	7.0	4.3	2.7	4.2	4.2	0.88	0.73	0.73
142	2000年10月6日	鳥取県西部地震	7.3	5.6	1.7	4.7	5.6	1.04	0.97	0.96
143	2001年3月24日	芸予地震	6.7	5.2	1.5	4.1	5.2	0.76	0.84	0.69
144	2003年5月26日	宮城県沖	7.1	4.9	2.2	4.9	4.6	0.93	0.83	0.84
145	2003年7月26日	宮城県北部	6.4	5.5	0.9	5.5	5.1	0.85	0.74	0.75
146	2003年9月26日	十勝沖地震	8.0	7.1	0.9	7.1	6.5	0.69	0.66	0.66
147	2004年9月5日	紀伊半島南東沖	7.4	6.5	0.9	5.9	6.5	0.84	0.77	0.76
148	2004年10月23日	新潟県中越地震	6.8	6.5	0.3	6.5	6.1	0.69	0.70	0.68
149	2004年11月29日	釧路沖	7.1	6.9	0.2	4.9	6.9	0.62	0.61	0.62
150	2004年12月14日	留萌支庁南部	6.1	4.8	1.3	4.8	3.5	0.76	0.66	0.68
151	2005年3月20日	福岡県西方沖	7.0	5.8	1.2	4.7	5.4	0.91	0.98	0.96
152	2005年7月23日	千葉県北西部	6.0	4.7	1.3	4.5	3.7	0.69	0.62	0.70
153	2005年8月16日	宮城県沖	7.2	4.7	2.5	4.6	4.0	0.69	0.62	0.63
154	2005年11月15日	三陸沖	7.2	4.9	2.3	4.5	4.6	1.04	1.02	1.03
155	2007年3月25日	能登半島地震	6.9	5.3	1.6	5.3	4.9	0.87	0.85	0.86



第 4 図 本震のマグニチュードと最大余震のマグニチュード差 ( $D_1$ ) の分布  
 ●  $< 0.5$ ,  $0.5 \leq$  ●  $< 1.0$ ,  
 ●  $\geq 1.0$ , ● 余震なし (または不明)



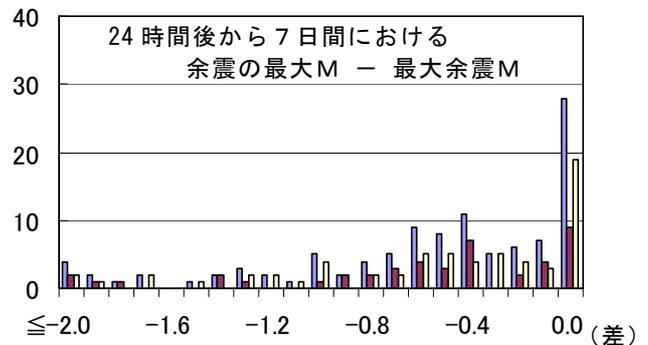
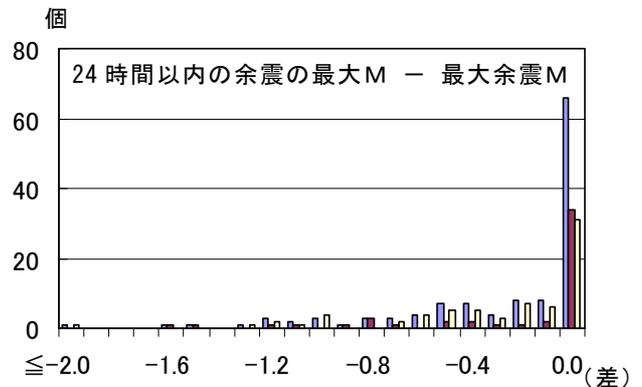
第 5 図 本震のマグニチュードと最大余震のマグニチュード差 ( $D_1$ ) と、最も近い第四紀火山までの距離の関係

以下の地震の場合、 $D_1$  が 1.0 未満のものが比較的多く見られるが、 $M 6.9$  以上では  $D_1$  はほとんど 1.0 以上である (最小で 0.9)。海域の  $M 7.0$  以上の地震の場合、 $D_1$  は 1.0 未満が比較的多く、 $M 7.4$  以上はほとんどが 1.5 より小さくなる。海洋プレートのやや深い地震 (海域に分類したもののうち  $M 7.0$  未満) は明らかに  $D_1$  が大きく、1.0 未満は 2 例しかない。

$D_1$  の分布 (第 4 図) をみると、北海道から北関東にかけての太平洋側海域で、 $D_1$  の小さいものが多いように見える。ただし、 $M 7$  級の地震が繰り返し発生する宮城県沖の  $D_1$  は大きい。伊藤・細野 (1997) は、千島、三陸沖、および福島県沖で  $D_1$  が小さく、

続発する傾向があると指摘しているが、伊藤ら (1997) の調査以後 20 例近い地震が追加された本調査結果にも大きな違いは見られない。一方、陸域の地震に関しては、 $D_1$  が 1.0 未満のものが点在する。伊藤ら (1997) は、陸域における  $D_1$  の小さな活動は火山と関係のあるところが多いと述べている。また、地震調査委員会 (1998) による「本震一余震の見極め」の方法においても、第四紀火山から 30km 以内は本震の規模に近い余震が起こりやすいと指摘されている。本調査における陸域の地震の  $D_1$  と最も近い第四紀火山までの距離の関係を第 5 図に示す。本調査結果からも約 30km を境に  $D_1$  の分布に違いが見られた。なお、火山から 100km 以上離れていて  $D_1$  が 0.4 と例外的に小さくなっているのは、1945 年の三河地震である。

第 6 図は、本震発生後 24 時間内と 24 時間後からの 7 日間 (本震発生後 1 日後から 8 日後まで) に発生した余震の最大  $M$  と最大余震の  $M$  の差をそれぞれヒストグラムにしたものである。余震が観測されている 129 例の約 51% にあたる 66 例は、24 時間以内



第 6 図 24 時間以内 (上) および 24 時間後から 7 日間 (下) に発生した余震の最大  $M$  と最大余震の  $M$  の差

( ● 全域 ● 陸域 ● 海域)

に最大余震が発生している。余震発生確率処理は、本震発生のおよそ1日経過後から行われるので、処理開始時点において既に半数は最大余震が発生していることになる。実際に余震発生確率処理を行う24時間後から7日間の内に最大余震が発生したケースは30例(約23%)とそれほど多くないが、最大余震Mより0.3小さい余震までを便宜的に最大級の余震と考えて上記に含めると、49例(約38%)まで増える。

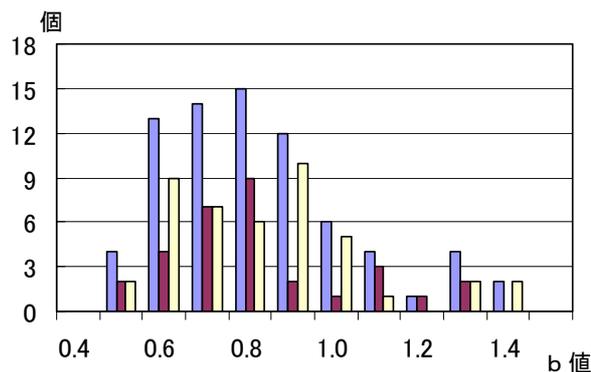
最大余震がさらに遅れて発生するケースは、33例(約26%)である。この値を大きいと見るか小さいと見るかは微妙なところであるが、余震発生確率の値が小さくなくても、しばらくは余震活動の推移を注意深く見ていくことが大切だろう。

### 3. 2 余震活動の b 値

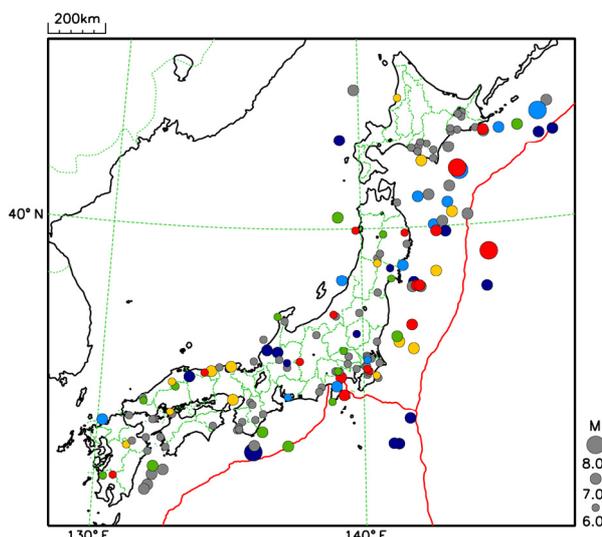
表1に示した155例の地震のうちb値が得られたのは75例であった。最近の地震に関してはほとんどの余震活動についてb値が得られているが、古い地震に関しては活動を捕捉しきれていない場合が多く、得られない事例が増える。表1には本震発生後24時間以内のデータと48時間以内のデータによるb値も示したが、期間を限定すると古い地震に関するb値を求めることはさらに困難になる。

得られたb値の度数分布を第7図に示す。b値の分布に際立ったピークはなく、0.6以上1.0未満の幅に54例(72%)が入った。陸域の地震については、半数を超える31例中16例が0.7以上0.9未満となった。海域の地震は0.6以上1.0未満に44例中32例(約73%)が入り、0.6と0.9に二つのピークがある。また、b値を地図上にプロットした(第8図)が、地域性はほとんど見られず、余震活動ごとによらばらの印象を受ける。

日本付近で発生したM6.0以上の地震の余震活動の標準的なパラメータは松浦(1993)によって求められ、その後、気象庁におけるマグニチュード改訂に伴い、余震活動パラメータの標準値が細野(2006)によって再決定されている。細野(2006)は1976年以降のM5.0以上の地震の余震活動を用いて標準値を求めており、本調査で取り上げなかったM5クラスの地震を含めている。また、陸域と海域の分類方法も本調査とは若干異なっているが、得られた値を整理しておくために表2にまとめた。本調査における



第7図 b 値の度数分布  
( 全域 陸域 海域)  
横軸の 1.0 は、1.0 以上 1.1 未満を表す



第8図 b 値の分布  
● < 0.7, 0.7 ≤ ● < 0.8, 0.8 ≤ ● < 0.9,  
0.9 ≤ ● < 1.0, ● ≥ 1.0,  
● 余震なし (または算出不能)

表2 b 値の標準値と本調査の結果

標準値は細野(2006)による。標準値2は余震データが100個以上あるものだけによる値

(中央値)	全体	陸域	海域
標準値	0.780	0.830	0.730
標準値2	0.820	0.825	0.810
本調査	0.850	0.850	0.840

(平均±S.D.)	全体	陸域	海域
標準値	0.783±0.193	0.839±0.188	0.772±0.201
標準値2	0.813±0.175	0.835±0.172	0.786±0.179
本調査	0.877±0.211	0.879±0.202	0.875±0.219

平均的な b 値 (中央値) は全域 0.850, 陸域 0.850, 海域 0.840 で, 細野による標準値 (中央値) (以下, 単に標準値と呼ぶ) 0.780, 0.830, 0.730 より大きい. 海域の結果の違いがやや目立ち, 差は 0.11 である. 細野(2006)は 100 個以上の余震があるデータだけを用いた結果も示しており, その値(0.820, 0.825, 0.810) は本調査結果により近い値となっている.

第 9 図に, 標準値, 24 時間データによる b 値, および 48 時間データによる b 値と, 最終的に得られた b 値との差をそれぞれ示す. 48 時間データによる b 値, 24 時間データによる b 値, いずれも標準値より

も良い結果を与える. 表 1 によれば, 1980 年代以降はほぼすべてのケースで 24 時間後から b 値が得られている. つまり, b 値に関してはほぼ 1 日後から観測データを用いて比較的良好な値を得られることがわかる.

また, 第 9 図からは 24 時間および 48 時間のデータによる b 値が, 最終的な b 値より若干小さくなる (図中の破線より左側になる) 傾向にあることがわかる. これは余震発生確率計算において M の大きな余震の発生を結果的にやや過大に評価する恐れを示しているが, 発表する情報の性質上, 安全面を考えると過小評価よりは過大評価のほうが問題は小さい.

24 時間と 48 時間データによる b 値と最終的な b 値の差を地図上にプロット (第 10 図) してみると, 48 時間ではほぼ偏りなく良好な b 値が得られているが, 24 時間では北日本に若干小さく決まるものが多いように見える.

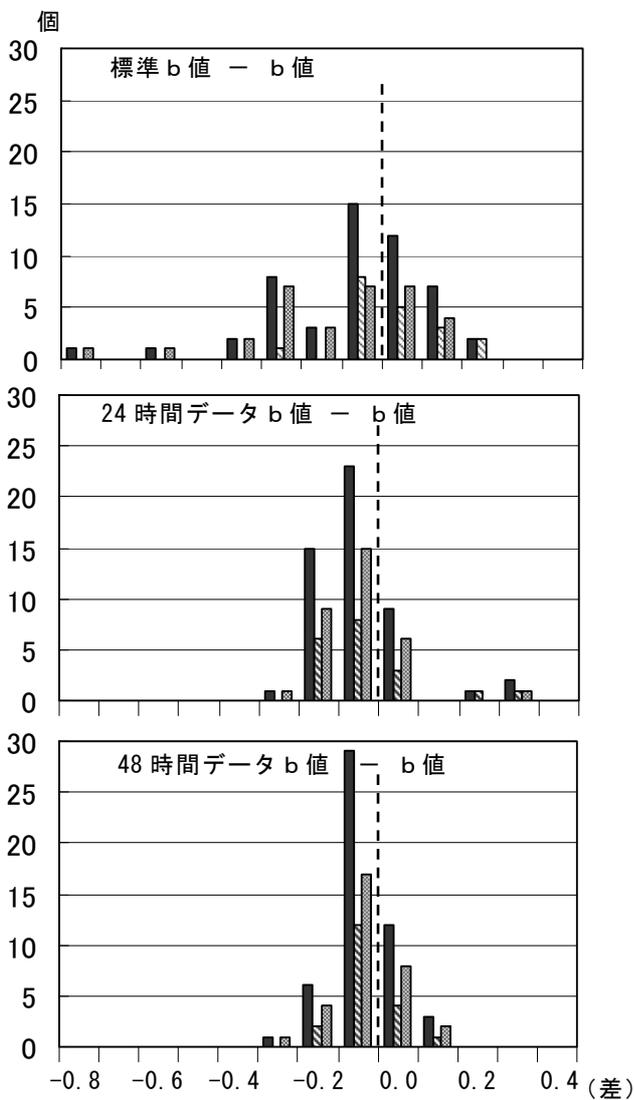
### 3. 3 余震活動の K, c, p 値

表 3 に各余震活動の時系列から得られた改良大森公式のパラメータ K, c, p 値についてまとめた. 改良大森公式のパラメータを求めることができた事例はそれほど多くなく, ピックアップした 155 例のうち 53 例であった. 活動ごとに比較ができるように余震の時系列データを作るとき M の下限値 (Mth) を 3.0, 3.5 など 0.5 刻みで固定してあてはめた結果も併記した. Mth を同じくすれば, K 値によって活動の活発さを, p 値によって減衰の速さを活動ごとにおおよそ比較できる.

#### 3. 3. 1 余震活動の p 値

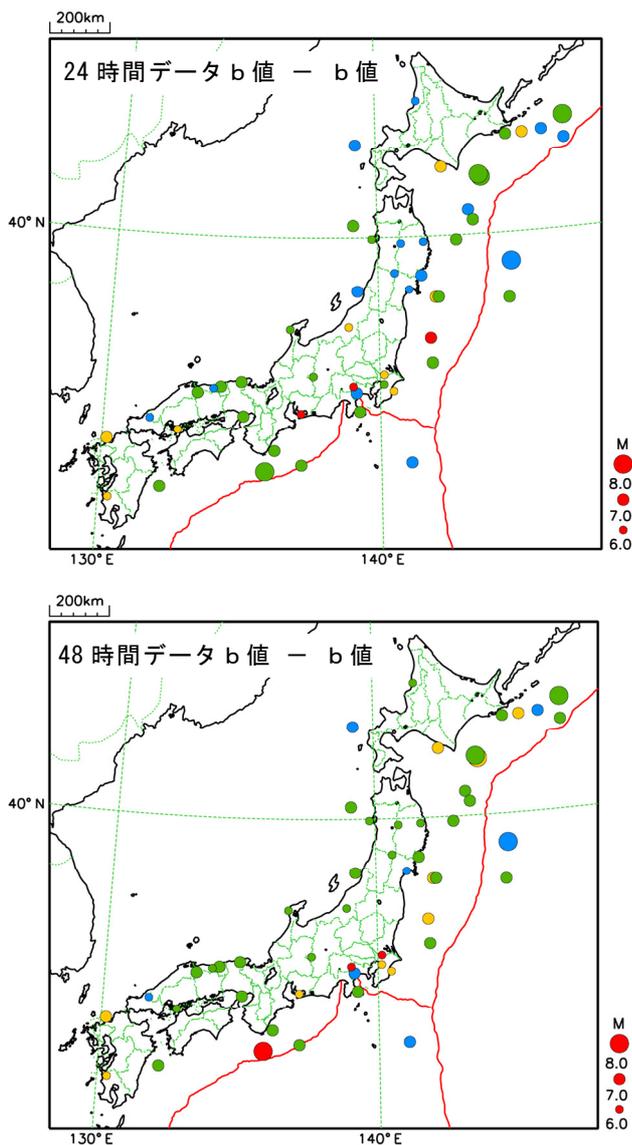
得られた p 値の度数分布を第 11 図に示す. p 値は 1.0 付近をピークに 0.7 から 1.5 の範囲に分布し, 陸域の地震については 1.0 から 1.1 程度が多い (19 例中 11 例, 約 58%). 海域で発生した地震に関しては, 陸域に比べてばらつきが大きく, 0.8 から 1.1 程度が多い (34 例中 29 例, 約 85%). 地図上にプロットしたものを第 12 図に示す. 地域的には, 北海道から東北地方にかけての太平洋側の海域と沿岸部に p 値の小さいものがやや目立つ.

本調査における平均的な p 値 (中央値) は, 全域 1.053, 陸域 1.126, 海域 1.025 で, いずれも標準値 (0.985, 1.033, 0.967) より若干大きくなったが,

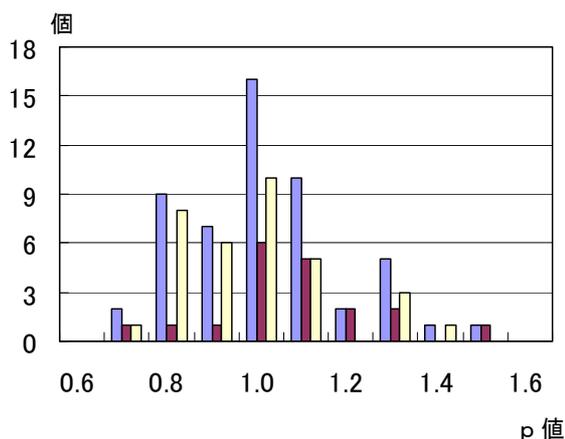


第 9 図 標準値 (上), 24 時間データによる b 値 (中), および 48 時間データによる b 値 (下) と最終的に得られた b 値との差 (■ 全域 □ 陸域 ▨ 海域) 横軸の 0.0 は, 0.0 以上 0.1 未満を表す

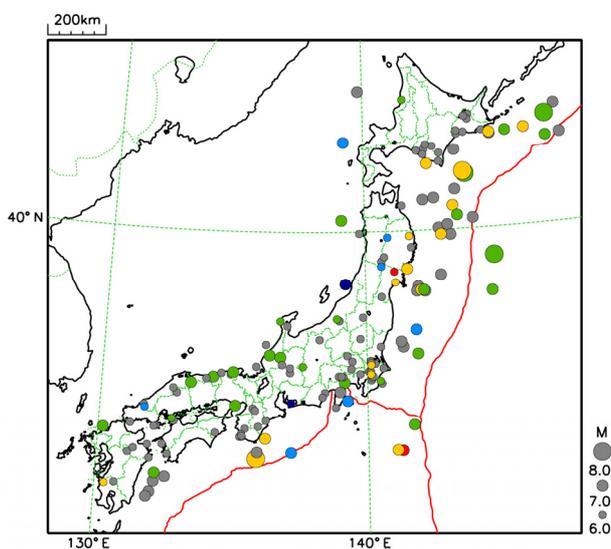
その差はいずれも 0.1 未満である。また、100 個以上の余震があるデータだけを用いた標準値 (0.968, 0.960, 0.973) との差を見ると、陸域の差が 0.166 とやや大きい (表 4)。ちなみに本調査には細野 (1997) が用いなかった 1975 年よりも古いデータを使用しているが、そのようなデータだけの中央値と平均値はそれぞれ 1.078 と 1.084 で、古いデータが値を特別大きくしているようには見えない。



第 10 図 24 時間データによる b 値 (上), および 48 時間データによる b 値 (下) と最終的に得られた b 値との差の分布  
 ●  $\leq -0.1$ ,  $-0.1 < \bullet \leq 0.0$ ,  
 $0.0 < \bullet < 0.1$ ,  $0.1 \leq \bullet$



第 11 図 p 値の度数分布  
 ( ● 全域 ● 陸域 ● 海域)  
 横軸の 1.0 は、1.0 以上 1.1 未満を表す



第 12 図 p 値の分布  
 ●  $< 0.8$ ,  $0.8 \leq \bullet < 1.0$ ,  $1.0 \leq \bullet < 1.2$   
 $1.2 \leq \bullet < 1.4$ ,  $1.4 \leq \bullet$ ,  
 ● 余震なし (または算出不能)

表 4 p 値の標準値と本調査の結果

標準値は細野 (2006) による, 標準値 2 は余震データが 100 個以上あるものだけによる値

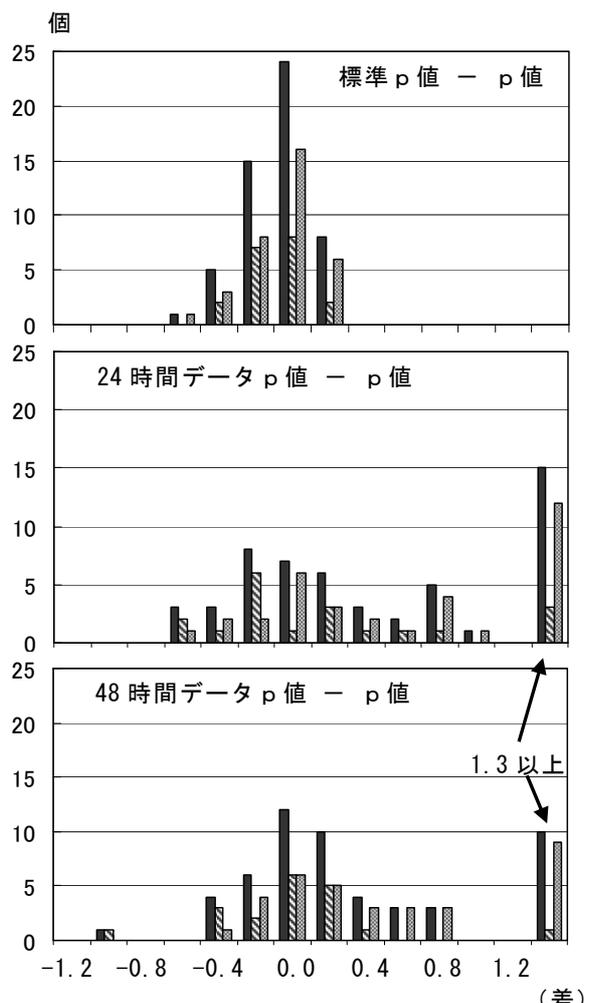
(中央値)	全体	陸域	海域
標準値	0.985	1.033	0.967
標準値 2	0.968	0.960	0.973
本調査	1.053	1.126	1.025

(平均 ± S.D.)	全体	陸域	海域
標準値	1.038 ± 0.222	1.074 ± 0.244	1.004 ± 0.200
標準値 2	1.022 ± 0.185	0.996 ± 0.171	1.054 ± 0.201
本調査	1.065 ± 0.176	1.127 ± 0.175	1.030 ± 0.170

表 3 改良大森パラメーター一覧

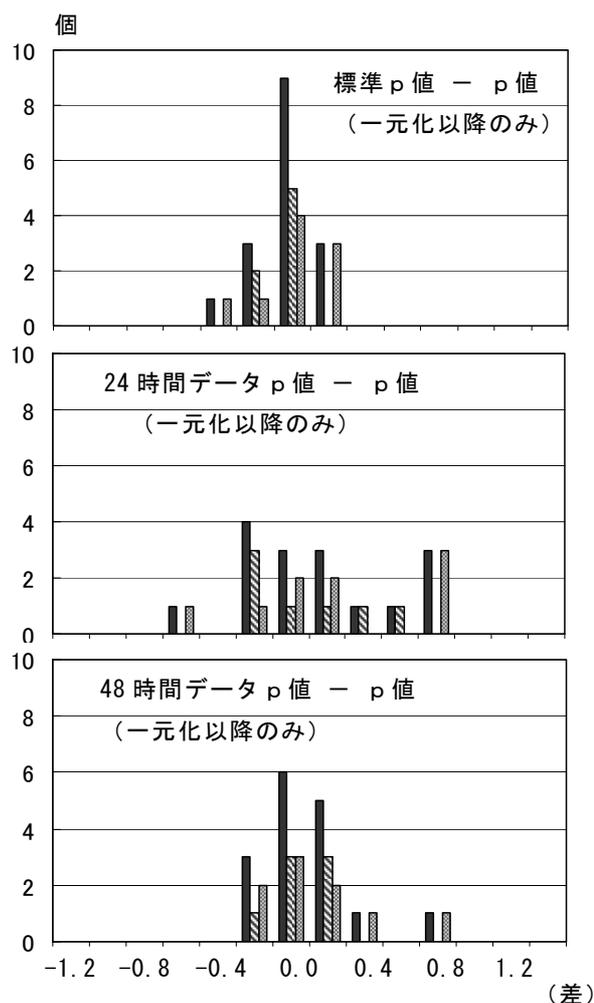
「No.」や「地震名」などは表 1 と共通である。「Mth」は改良大森公式をあてはめた時系列データのマグニチュードの下限値を示す。「p」の   は 1.0 未満を表す。「Mth=4.0~5.0」のうち、  は Mth=4.0,   は Mth=4.5,   は Mth=5.0 の結果をそれぞれ表す。

No.	年月日	地震名(震央地名)	本震M	Mth	K	c	p	Mth=3.0			Mth=3.5			Mth=4.0 ~ 5.0		
								K	c	p	K	c	p	K	c	p
1	1923年9月1日	関東地震	7.9	4.5	24.06	0.11	1.05							49.59	0.26	1.05
11	1927年3月7日	北丹後地震	7.3	4.7	3.56	0.06	1.14							4.73	0.11	1.22
31	1933年3月3日	三陸地震	8.1	4.6	17.21	0.29	1.01							20.04	0.31	1.04
46	1938年11月5日	福島県東方沖地震	7.5	4.8	76.06	1.00	1.35							82.77	1.00	1.25
55	1943年9月10日	鳥取地震	7.2	4.1	17.43	0.10	1.10							19.95	0.11	1.13
58	1944年12月7日	東南海地震	7.9	4.4	6.72	0.04	0.94							9.93	0.07	0.90
59	1945年1月13日	三河地震	6.8	4.1	49.17	0.65	1.52							74.94	0.92	1.62
61	1946年12月21日	南海地震	8.0	5.1	4.66	0.18	0.89							5.39	0.22	0.90
64	1948年6月28日	福井地震	7.1	4.5	2.99	0.01	1.08							2.99	0.01	1.08
71	1952年3月4日	十勝沖地震	8.2	5.3	11.06	0.41	1.09							10.44	0.25	0.96
75	1953年11月26日	房総沖地震	7.4	5.3	4.31	0.45	1.05							14.81	1.00	1.35
86	1961年8月19日	北美濃地震	7.0	4.0	4.06	0.09	1.17							4.06	0.09	1.17
90	1962年4月30日	宮城県北部地震	6.5	3.8	2.90	0.03	0.79							1.84	0.06	0.83
92	1964年6月16日	新潟地震	7.5	4.0	26.68	0.16	1.47			117.54	0.46	1.50	26.68	0.16	1.47	
97	1968年5月16日	十勝沖地震	7.9	5.0	23.33	0.42	0.97							36.75	0.42	0.84
100	1969年8月12日	北海道東方沖	7.8	5.1	14.70	0.33	1.17							17.46	0.35	1.15
105	1972年2月29日	八丈島東方沖	7.0	4.6	3.07	0.01	0.75							3.63	0.02	0.78
107	1972年12月4日	八丈島東方沖地震	7.2	4.5	8.38	0.08	0.96							8.38	0.08	0.96
108	1973年6月17日	根室半島沖地震	7.4	5.0	13.54	0.60	1.11							13.54	0.60	1.11
113	1978年1月14日	伊豆大島近海の地震	7.0	3.5	4.91	0.06	1.21	7.73	0.05	1.27	4.91	0.06	1.21			
115	1978年6月12日	宮城県沖地震	7.4	3.5	7.47	0.01	0.83	12.56	0.03	0.90	7.47	0.01	0.83	3.68	0.02	0.82
119	1982年3月21日	浦河沖地震	7.1	3.3	18.03	0.02	0.90				10.82	0.02	0.88	6.02	0.01	0.89
120	1982年7月23日	茨城沖	7.0	3.8	11.03	0.04	1.09				15.21	0.07	1.16	7.09	0.02	1.03
122	1983年5月26日	日本海中部地震	7.7	4.0	57.63	0.21	1.13				98.10	0.28	1.04	57.63	0.21	1.13
125	1984年8月7日	日向灘	7.1	2.5	15.49	0.05	1.09	5.66	0.02	1.04						
126	1984年9月14日	長野県西部地震	6.8	3.5	6.85	0.02	1.08	26.79	0.05	0.94	6.85	0.02	1.08	3.27	0.02	1.14
128	1985年10月4日	茨城県南部	6.0	2.6	4.15	0.01	0.86									
129	1987年1月9日	岩手県沿岸北部	6.6	2.2	6.12	0.01	0.96									
130	1987年12月17日	千葉県東方沖	6.7	3.0	9.14	0.02	1.01	9.14	0.02	1.01	3.31	0.03	0.91			
131	1989年11月2日	三陸沖	7.1	4.0	19.18	0.09	0.90				37.53	0.09	0.93	19.18	0.09	0.90
133	1993年7月12日	北海道南西沖地震	7.8	3.5	240.35	0.57	1.37	633.37	1.00	1.24	240.35	0.57	1.37	44.85	0.20	1.40
134	1994年10月4日	北海道東方沖地震	8.2	5.0	20.92	0.11	1.17				383.23	0.79	1.10	155.43	0.35	1.08
135	1994年12月28日	三陸はるか沖地震	7.6	4.0	27.88	0.06	1.05	136.25	0.28	1.05	62.37	0.12	1.04	27.88	0.06	1.05
136	1995年1月17日	兵庫県南部地震	7.3	2.5	84.09	0.06	1.14	32.35	0.04	1.16	11.79	0.02	1.17	5.47	0.02	1.19
137	1996年8月11日	秋田県内陸南部	6.1	2.2	76.47	0.23	1.39	11.62	0.11	1.45	5.34	0.06	1.29			
138	1997年3月26日	鹿児島県薩摩地方	6.6	2.7	20.91	0.01	0.81	12.37	0.01	0.84	4.27	0.00	0.74			
139	1997年6月25日	山口県北部	6.6	2.0	40.01	0.08	1.27									
140	1998年9月3日	岩手県内陸北部	6.2	1.5	11.52	0.03	1.32									
141	2000年1月28日	根室半島南東沖	7.0	2.5	21.14	0.01	0.85	7.64	0.01	0.91	3.27	0.00	0.91			
142	2000年10月6日	鳥取県西部地震	7.3	3.0	33.02	0.02	1.04	33.02	0.02	1.04	8.83	0.01	1.05	2.84	0.01	1.04
143	2001年3月24日	荻予地震	6.7	2.8	7.61	0.06	1.04	5.00	0.06	1.01						
144	2003年5月26日	宮城県沖	7.1	3.0	31.48	0.01	0.96	31.48	0.01	0.96	10.83	0.01	1.00	3.76	0.02	1.15
145	2003年7月26日	宮城県北部	6.4	3.0	12.72	0.01	0.98	12.72	0.01	0.98	4.39	0.00	1.07			
146	2003年9月26日	十勝沖地震	8.0	4.0	23.34	0.04	0.87	105.89	0.15	0.93	48.46	0.10	0.90	23.34	0.04	0.87
147	2004年9月5日	紀伊半島南東沖	7.4	3.0	167.09	0.43	1.32	167.09	0.43	1.32	61.96	0.31	1.37	12.17	0.08	1.15
148	2004年10月23日	新潟県中越地震	6.8	3.5	29.74	0.02	1.13	65.44	0.04	1.07	29.74	0.02	1.13	13.16	0.02	1.11
149	2004年11月29日	釧路沖	7.1	2.5	30.91	0.02	0.83	14.01	0.01	0.82	7.40	0.00	0.79	3.81	0.00	0.76
150	2004年12月14日	留萌支庁南部	6.1	2.0	14.31	0.02	1.10									
151	2005年3月20日	福岡県西方沖	7.0	3.0	30.97	0.03	1.14	30.97	0.03	1.14	10.47	0.01	1.04	2.55	0.01	0.95
152	2005年7月23日	千葉県北西部	6.0	1.6	12.36	0.01	0.82									
153	2005年8月16日	宮城県沖	7.2	2.0	23.45	0.02	1.15	4.72	0.01	1.15	2.36	0.01	1.04			
154	2005年11月15日	三陸沖	7.2	3.0	64.85	0.13	1.04	64.85	0.13	1.04	16.87	0.03	0.88	4.67	0.05	0.85
155	2007年3月25日	能登半島地震	6.9	3.0	40.08	0.02	1.04	40.08	0.02	1.04	13.47	0.01	1.00	4.21	0.00	0.97



第 13 図 標準値 (上), 24 時間データによる p 値 (中), および 48 時間データによる p 値 (下) と最終的に得られた p 値との差  
 (■ 全域 ▲ 陸域 ▨ 海域)  
 横軸 0.0 は, -0.1 以上 0.1 未満を表す

本震発生後 24 時間と 48 時間のデータに改良大森公式をあてはめて得た p 値と最終的な p 値との差, および標準値と最終的な p 値との差の度数分布をそれぞれ第 13 図に示す. 24 時間および 48 時間データによる改良大森公式のあてはめについては, やや幅広に p 値が 0.5 以上 2.0 未満の範囲に入ったものを算出可能とみなした. 改良大森公式は余震活動の減衰の時間的推移を規定するため, 短期間のデータではどうしても不安定になってしまう. 第 13 図にはそれがはっきりと表れており, 24 時間, 48 時間のデータによって得られた p 値と最終的な p 値との差はばらつきが大きい. 対照的に標準値との差のばらつきは小さい. 第 14 図は, 気象庁と他機関データの一元化処理が始まり地震の検知能力と処理能力が向上し



第 14 図 標準値 (上), 24 時間データによる p 値 (中), および 48 時間データによる p 値 (下) と最終的に得られた p 値との差  
 (一元化業務開始 [1997 年 10 月] 以降のみ)  
 (■ 全域 ▲ 陸域 ▨ 海域)

た 1997 年 10 月以降の 16 例に限定して第 13 図と同様に描いたものである. 24 時間ではまだ標準値のほうが良いものかなりの改善が見られる. 48 時間であれば標準値と遜色ない. また, この 16 例の p 値の最小値と最大値はそれぞれ 0.82, 1.32 となっており, 余震確率処理において p 値の標準値を使うか予測値を使うかを判断する目安程度にはなるだろう.

以上から, 余震発生確率を始める 24 時間後においては標準値の利用が無難であるが, 観測データが十分に得られフィッティングに問題がなく, p 値が過去に得られた値 (0.8~1.3 程度) を外れていないならば採用してかまわないだろう. 48 時間以降であれば, フィッティングに問題がない限り観測データから求められた p 値に特段の問題はないと考えられる.

### 3. 3. 2 余震活動の K 値

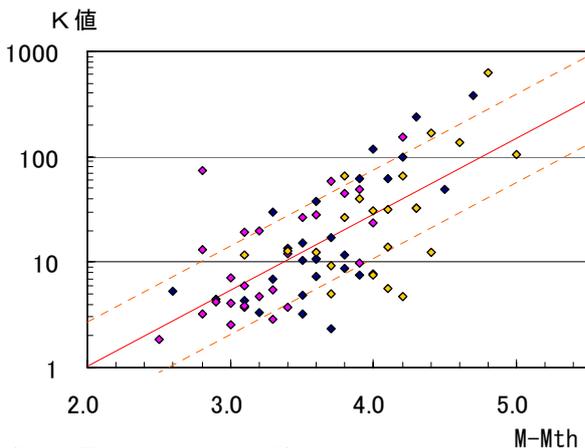
改良大森公式のパラメータ K 値は、余震活動の活発さの度合いを示すもので、余震発生確率計算への影響の大きいパラメータのひとつである。K 値は改良大森公式をあてはめる際に使ったデータのマグニチュードの下限値 (Mth) に依存する。時代によっても活動によってもとりうる Mth は異なるので K 値は単純に比較できない。表 3 に示したように Mth をそろえて個々に比較することはできるが、これも普遍性のある比較方法ではない。

第 15 図に Mth=3.0, 3.5, 4.0 について logK (log は 10 を底とする常用対数) と本震 M-Mth の関係をプロットしてみた。ここで、余震活動ごとに決めた Mth でなく、値を限定した理由は、Mth のとりうる幅をむやみに大きくしたくなかったためと、M6~M8 クラスの地震の余震発生確率処理における Mth は 3.0 から 4.0 程度が実際のだからである。

プロットした結果には、logK と本震 M-Mth の関係に Mth の違いによる大きな差異は見られない。ばらつきは大きいものの、logK は本震 M-Mth の 1 次関数で表現できそうである。試みに最小 2 乗法を用いて回帰直線を引いてみると、

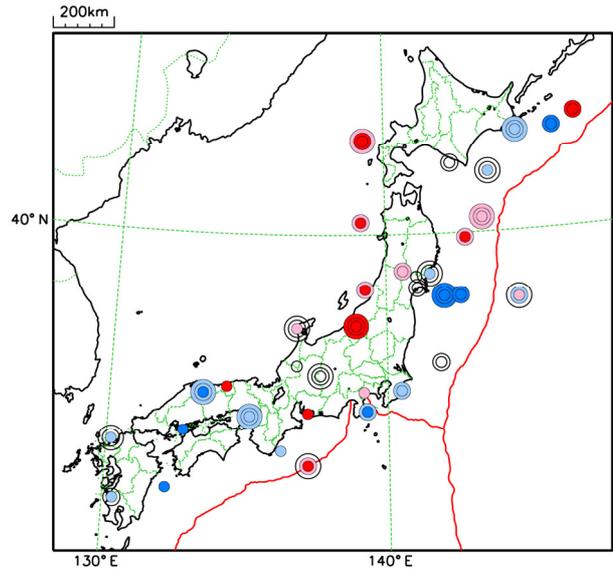
$$\log K = 0.72(M - Mth) - 1.43 \quad (1)$$

となった。回帰式を求める際は、最近のデータや古



第 15 図 logK と 本震 M-Mth の関係

縦軸は対数スケールである。横軸の M-Mth は本震のマグニチュード (M) から改良大森公式をあてはめた際の下限值 (Mth) を引いた値。各プロットは、◇が Mth=3.0、◆が Mth=3.5、◆が Mth=4.0 の場合である。赤の直線は最小 2 乗法による回帰直線で、上下の破線は logK の推定値の標準誤差を示す。



第 16 図 K 値 (logK) の分布

各余震活動の K 値 (logK) と第 15 図に示した回帰直線による推定値との差の分布。Mth のパターンが複数あるものは、二重、あるいは三重の○で示した。宮城県沖の地震は、ほぼ重なるため、震央の位置をずらしてある。

プロットの色は、推定値を Y としたとき、

- > Y+標準誤差
  - > Y+標準誤差 × 1/3
  - ≥ Y-標準誤差 × 1/3
  - ≥ Y-標準誤差
  - > Y-標準誤差
- である。

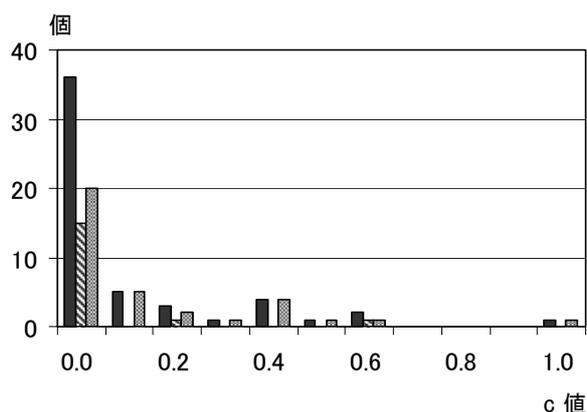
くてもデータがそろっている余震活動については、複数の Mth による結果を含んでおり、結果的にウェイトが大きくなっている。図中にこの回帰直線と、推定値の標準誤差を示す。大規模な地震が発生した際に、新たな余震活動の K 値をこの図にプロットすれば、余震活動の活発さの度合いをおおよそながら見当づけられるだろう。ただし、この経験式の利用は Mth が 3.0~4.0 の場合に限定される。

第 16 図にそれぞれの余震活動の K 値 (logK) と (1) 式による推定値との差の分布を示す。限られたデータではあるが、北陸から北の日本海側で K 値が大きい傾向、近畿以西では K 値が小さい傾向がそれぞれ見られる。また、宮城県沖の地震は K 値が小さい。

### 3. 3. 3 余震活動の c 値

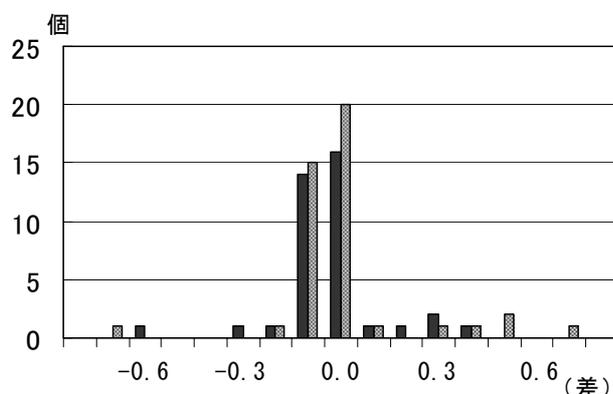
大きな地震が発生した直後には非常に多くの余震が発生することがあるが、そのような場合、地震波

形同士が重なり合ったり、処理能力が追いつかなかつたりなどの理由で取りこぼしがでる。c 値はこのような本震直後のデータの脱落を取り込んだ量で、現在の処理能力を考えればせいぜい 0.1 (日) 程度に収まると考えられる。また、余震発生確率への寄与は K 値や p 値に比べれば小さいので、あまり神経質にならなくても良いパラメータである。第 17 図に c 値のヒストグラムを示す。約 77% (53 例中 41 例) は 0.2 未満となっている。第 18 図は 24 時間および 48 時間のデータによる c 値と最終的な c 値との差の度数分布である。データは 24 時間と 48 時間のデータで p 値が 0.5 以上 2.0 未満に決まったものに限った。24 時間データの 38 例中 30 例 (約 79%)、48 時間データの 43 例中 35 例 (約 81%) が最終的な c 値の  $\pm 0.1$  の範囲で決まっており、c 値に関する特段の問題はない。



第 17 図 c 値の度数分布

(■ 全域 ▨ 陸域 ▩ 海域)  
横軸 0.0 は、0.0 以上 0.1 未満を表す



第 18 図 24 時間データによる c 値および 48 時間データによる c 値と最終的に得られた c 値との差 (■ 24 時間 ▨ 48 時間)  
横軸 0.0 は、0.0 以上 0.1 未満を表す

#### 4. まとめ

沖縄を除く日本付近で発生した陸域の M6.0 以上と海域の M7.0 以上の地震の余震活動について、余震発生確率処理の観点から調査した。本調査で得られた事柄を実際の余震発生確率処理の際に簡便に利用できるような、表 5 に整理した。その結果のうち特に余震発生確率処理を行ううえで重要と考えられる事項を以下に記しておく。

##### ●余震の規模について

- 1) 陸域の M6.8 以下の地震には  $D_1$  のごく小さい余震が発生することがある。また、陸域の地震の震央が第四紀火山から 30km 以内の場合に  $D_1$  の小さい余震が発生することが多い。
- 2) 海域では、北海道から北関東にかけての太平洋側で、 $D_1$  の小さい余震活動が多く見られる。
- 3) 本震発生後 24 時間後から 7 日間のうちに、約 4 割の活動で最大級 (最大余震 M-0.3 まで) の余震が発生している。

##### ●b 値について

- 4) b 値は、ほぼ 24 時間後から観測データを用いておおむね良好な値を得られる。
- 5) 24 時間や 48 時間の短期間のデータによる b 値は、最終的な b 値よりやや小さめになる傾向がある。

##### ●p 値について

- 6) p 値は、24 時間程度のデータの場合、標準値を利用すべきである。ただし、改良大森公式のフィッティングが問題なく行える程度のデータがあり予測結果が 0.8~1.3 程度であれば予測値の利用が可能である。48 時間以上のデータがあればデータから得られる p 値でおおむね問題ない。
- 7) p 値の小さい活動は、北海道から東北地方にかけての太平洋側の海域と沿岸部に目立つ。

##### ●K 値について

- 8) K 値 ( $\log K$ ) は、ばらつきが大きいものの、本震 M-Mth の 1 次式で表すことができる (ただし、Mth は 3.0~4.0 に限定)。この関係式に

表 5 本調査結果のまとめ

余震の規模	データ	本震-余震系列129例 (1923年8月~2007年4月, 本震 $M \geq 6.0$ (陸域), $\geq 7.0$ (海域))	
	分布	D 1 < 0.5 : 16例 (約12%)	
		D 1 < 1.0 : 42例 (約33%)	
		陸域 : M6.8以下 : D 1 が1.0未満が比較的多い.	
		陸域 : M6.9以上 : D 1 はほとんど1.0以上.	
	海域 : M7.0以上 : D 1 が1.0未満が比較的多い.		
	海域 : M7.4以上 : D 1 はほとんどが1.5より小さい.		
	空間的特徴	北海道から北関東にかけての太平洋側海域で, D 1 の小さいものが多い. ただし, 宮城県沖の D 1 は大きい. 陸域の D 1 の小さな活動は, ほとんどが第四紀火山から30km以内.	
	時間的特徴	24時間以内 : 最大余震発生 66例 (約51%)	
		24時間以後7日間 : 最大余震発生 30例 (約23%)	
9日目以降 : 最大余震発生 33例 (約26%)			
24時間以後7日間 : 最大余震M-0.3以上の余震発生 49例 (約38%)			
b 値	データ	75例 (パラメータ決定事例)	
	分布	全体 : 中央値 0.850 平均±S.D. 0.877±0.211	
		陸域 : 中央値 0.850 平均±S.D. 0.879±0.202	
		海域 : 中央値 0.840 平均±S.D. 0.875±0.219	
	空間的特徴	地域性はほとんど見られない.	
	時間的特徴	48時間データによるb値, 24時間データによるb値のいずれもが標準値よりも良い結果を与え, b値に関してはほぼ1日後から観測データを用いて比較的良好な値を得られる.	
24時間および48時間のデータによるb値が, 最終的なb値より若干小さくなる傾向にある. 48時間ではほぼ偏りなく良好なb値が得られているが, 24時間では北日本に若干小さく決まるものが多い.			
改良大森公式	データ	53例 (パラメータ決定事例)	
	p値	分布	全体 : 中央値 1.053 平均±S.D. 1.065±0.176
			陸域 : 中央値 1.126 平均±S.D. 1.127±0.175
			海域 : 中央値 1.025 平均±S.D. 1.030±0.170
	空間的特徴	北海道から東北地方にかけての太平洋側の海域と沿岸部にp値の小さいものがやや目立つ.	
	時間的特徴	24時間後においては標準値の利用が無難. ただし, 観測データが十分に得られフィッティングに問題がなく, 過去に得られた値(0.8~1.3程度)を外れていないならば採用可能.	
		48時間以降であれば, フィッティングが良ければ特段問題ない.	
	K値	分布	K値(logK)と本震M-Mthには $\log K = 0.72(M - Mth) - 1.43$ の経験的關係. (ただし, Mthが3.0から4.0の範囲において適用可)
空間的特徴		経験式との比較からは, 北陸から北の日本海側でK値が大きい傾向, 近畿以西ではK値が小さい傾向. また, 宮城県沖の地震はK値が小さい.	
c値	特に問題なし		

あてはめると、北陸から北の日本海側では K 値が大きくなり、また、近畿以西や宮城県沖では小さい傾向が見られる。

#### 謝辞

沖縄気象台長 伊藤秀美氏には原稿を丁寧に査読していただき、本稿の改善に大変有益な助言を賜りました。記して感謝いたします。

#### 文献

- 明田川保・伊藤秀美・弘瀬冬樹 (2007) : X Window System を用いた地震検索・地震活動解析プログラム (REASA) の開発, 験震時報, 70, 51-66.
- 伊藤秀美・明田川保 (2007) : 余震活動解析プログラムの改良, 験震時報, 70, 15-28.
- 伊藤秀美・細野耕司 (1997) : 地震活動統計ハンドブック, 気象庁地震火山部地震予知情報課編, I-III.
- 細野耕司 (2006) : マグニチュード改訂に伴う余震パラメータ標準値の再決定, 験震時報, 69, 171-176.
- 松浦律子 (1993) : 改良大森公式中のパラメータ値について—日本付近の  $M \geq 6.0$  の余震活動 (1969—1991) —, 地球惑星科学関連学会予稿集, 224.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (1998) : 余震確率評価手法について, 地震調査研究推進本部ホームページ, <http://www.jishin.go.jp/main/yoshin2/yoshin2.htm>
- 横山博文 (1997) : X ウィンドウシステムを用いた地震活動解析プログラム, 験震時報, 60, 37-51.