

土 木 研 究 所 資 料

前・余震の頻度および規模に関する調査

昭和58年3月

建設省土木研究所

地震防災部振動研究室

Copyright © 1983 fiscal year by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ま え が き

従来、構造物の耐震設計においては主として本震による被害の抑止を中心とした対策が講じられてきた。しかしながら、昭和55年10月、11月と相次いで発生したアルジェリア地震、南イタリア地震において、本震により耐震性の低下した構造物に余震による二次的被害が発生し、これに伴う救援・復旧の遅れが生じたことから、余震に対する配慮の重要性が強く認識された。本報告は将来の震災復旧対策に資することを目的に1885年以後に我国周辺で発生した合計156個の被害地震を対象とし、これらに伴って発生した前・余震の規模および頻度、本震との発生時間の差、起こり方の地域特性等を調査した結果をとりまとめたものである。

なお、本調査の一部は財団法人日本気象協会東京本部に委託して実施したものであり、調査の実施に際しては調査部正務章および渋谷喜博の両氏に大変お世話になった。ここに記して厚くお礼申し上げる次第である。

昭和58年3月

建設省土木研究所地震防災部振動研究室

室 長 荒 川 直 士
主任研究員 川 島 一 彦

目 次

まえがき	
1. 概 説	1
2. 前震および余震の定義と解析対象地震（本震）の設定	2
2-1 対象期間	2
2-2 本震の抽出	2
2-3 前震および余震の定義とその抽出	2
3. 前震および余震の規模およびその頻度	13
3-1 最大の前・余震のマグニチュードと本震のマグニチュードの関係	13
3-2 前震および余震の回数と本震のマグニチュードの関係	16
3-3 本震の発生時間と最大前震および最大余震の発生時間の差	17
3-4 前震および余震の発生状況の地域性	18
4. 前震および余震による地震動強度の推定	48
5. ま と め	61
参考文献	64
付属資料Ⅰ 気象庁地震観測網の震源決定能力（検知能）の変遷	65

1. 概 説

従来、構造物の耐震設計においては、主として本震による被害の抑止を中心とした対策が講じられてきた。しかしながら、大地震の場合には、本震発生後にある程度の規模の余震が続く場合が多く、本震により耐震性の低下した構造物が復旧作業を受ける前に余震に遭遇し、被害が拡大したり、あるいは、二次的な被害を受ける可能性が各方面から指摘されている。最近の例では、昭和55年10月、11月と相次いで発生したアルジェリア地震および南イタリア地震の場合に余震による構造物の倒壊が生じ、救援および復旧の大きな支障になった事例が記憶に新しい。我国においても、関東地震等で余震による被害の拡大があったとされている。さらに、最近では、昭和53年2月の宮城県沖の地震($M=6.7$)により被災した構造物が、その復旧工事中に、昭和53年6月の宮城県沖地震($M=7.4$)に遭遇し、大被害を生じた事例もある。

本調査は、余震および前震の発生状況を既往の地震資料から調査したものであり、余震および前震の規模(マグニチュード)、頻度(回数)、発生までの時間、地域特性を検討するとともに、余震もしくは前震による地震動の強度(最大加速度、最大速度、最大変位、加速度応答スペクトル)が本震による地震動の強度に比較して、どの程度となるかを検討したものである。

2. 前震および余震の定義と解析対象地震（本震）の設定

2-1 対象期間

本解析で解析対象とする地震の発生期間は、1885年～1981年に至る満97年間とする。

2-2 本震（被害地震）の抽出

本解析では本邦内に被害を発生させたマグニチュード $M \geq 6.0$ の浅発地震（震源深さ $h \leq 60$ km）を後述する前・余震に対する本震と定義することとする。本震の資料は1885年～1925年間については、宇津徳治（1979）による $M 6$ 以上の地震および被害地震の再調査結果をもとに抽出した（表2-1参照）。また、1926年～1981年間については気象庁（1982）による本邦被害地震表から対象とする本震を抽出した（表2-2参照）。図2-1および図2-2はそれぞれ、1885～1925年間および1926～1981年間の本震の位置を示したものである。図中の添字はそれぞれ後出の表3-1に示す本震の番号と対応している。

2-3 前震および余震の定義とその抽出

(1) 余震の定義とその抽出方法

浅発地震はある限られた地域内に、ある時間に群をなして発生する傾向がある。このような1群の地震のうち突出してマグニチュードの大きいものがあればこれを本震と呼び、それに引き続いて起こったものを一般に余震という。しかし、余震の定義は地震学的にも必ずしも明確ではないのが実情である。しかしながら、震後の復旧という観点からみれば、それが地震学的にみて余震であろうとなかろうと、本震に比較的近接し、また、本震の発生後震災復旧が行われる程度の期間内に発生した地震は余震と同等の影響を有すると考えられる。このような点を考慮し、ここでは本震の震央の近傍に比較的まとまってある期間内に続発したものをすべて「工学的な余震」と定義し、解析対象とすることとした。以下では、これを単に余震と呼ぶこととする。

対象とする期間は震災復旧を考慮して本震後90日（3ヶ月）以内とした。ただし、震災復旧の各段階において必要とされる余震の情報が異なると考えられることから、上記の他に90日間を細分し、本震後1日以内、1～7日間（本震後1日～1週間）、7～30日（本震後1週間～1カ月）、30～90日（本震後1カ月～3カ月）の4つの期間内における余震もそれぞれ解析対象とした。

次に、本震の震央周辺のどの程度の地域を余震域にとるかを以下のように検討した。すなわち、本震のマグニチュード（ M_0 ）とその余震域の面積（ A , cm^2 ）の関係としては、宇津等による次式がよく知られている。³⁾

$$\log A = M_0 + 6 \quad (2-1)$$

しかし、式（2-1）は多数の地震に対する M_0 と A との平均的な関係を示すもので、個々の地震ごとにみると、図2-3に示すように平均値を中心としてかなりばらついている。すなわち、本震の震央を中心とし、式（2-1）で決まる余震面積 $A \text{ cm}^2$ に等しい地域内に発生した地震を余震として抽出することになると、約半数の本震については、多かれ少なかれ、本来余震として抽出されるべき地震がもれてしまうことになる。そこで、ここでは、第1次の抽出方法として、以下の3方法を提案し、その妥当性を検討することとした。

a) 図2-3において、 M_0 に対する $\log A$ の包絡直線を求めると、次式を得る。

$$\log A_m = M_0 + 6.8 \quad (2-2)$$

各本震について、それぞれの M_0 から式(2-2)により A_m を求め、本震の震央を中心として、一辺 $\sqrt{A_m}$ の正方形の地域を設定し、その中に発生した地震を余震として抽出する。

b) 宇津による式(2-1)により A を算定し、図2-4に示すように本震の震央を中心とした東西・南北の各辺が $\sqrt{A}$ の正方形地域を設定し、その中に発生した地震を余震として抽出する。

c) 宇津による式(2-1)により A を算定し、本震の震央を中心とした東西 $\sqrt{A}$ 、南北 $2\sqrt{A}$ の長方形地域を設定して、その中に発生した地震を余震として抽出する。

ここで、抽出期間は本震の発震時以後の90日(2,160時間)までとする。以上により、まず、地震観測網の検知能力が向上してきた1926年以降について、各本震別に余震の震央分布図を求めた。次に、これに本震の震央を中心として上記のa)東西・南北の各辺が $\sqrt{A_m}$ の正方形、b)東西・南北の辺長がそれぞれ $\sqrt{A}$ の正方形およびc)東西・南北の辺長がそれぞれ $\sqrt{A}$ および $2\sqrt{A}$ の長方形の3者を重ね合わせた。これによると、余震は必ずしも本震の震央を中心として発生しないこと、余震域の延びる方向が決っていないことなどのため、b)の抽出方法では、余震と考えてよい地震がもれてしまう場合がかなりあることがわかった。これに対して、a)の方法によると、もれなく抽出されると考えられる場合が、当然のことながら増してくる。しかし、辺長 $\sqrt{A_m}$ の正方形地域をとっても、なお余震の分布状況からみて、もれている余震がかなりある場合がある。そこで、余震が10個以上抽出されている46例について、余震が式(2-2)で決まる正方形地域内で比較的まとまって分布している33例および余震の地理的分散度が大きかった8例の各本震の震央分布図を求めるとそれぞれ図2-5および図2-6のようになる。これによると、内陸の地震にともなう余震は地域的にまとまって起こる傾向が強いが、東日本東方海底を中心とする海底地震では余震の地理的分散度が大きいことがわかる。これらの特性は、宇津ほかによる本震のマグニチュードと余震域の面積との関係の海と陸の地震における違いとも調和している。また、図2-6中に二重丸を付したように、海底地震の余震は前記正方形域外まで拡っていると見なされる場合が比較的多いことがわかる。

以上は、第1次抽出の余震の地理的分布状況を抽出地域条件と比べた結果であるが、次に既往の調査で余震と判定されているものが前述の抽出地域条件に対してどのような分布をしているか検討した。対象としたのは、宇佐美竜夫(1975)⁹⁾による日本被害地震総覧に余震の分布図が採用されている昭和年代の15例の地震である。これら15例の各本震の震央を中心にして、それぞれのマグニチュードから式(2-2)で求めた A_m をもとに辺長 $\sqrt{A_m}$ の正方形を各余震の分布図に重ね合わせると大部分の場合には余震の分布は $\sqrt{A_m}$ の範囲内におさまることがわかった。ただし、前述したとおり、東日本東方海底の地震の場合は $\sqrt{A_m}$ の中におさまらない例も4例ばかり認められる。このうち、三陸津波地震、房総沖地震の場合には、抽出地域を移動することにより妥当な余震が抽出できることがわかった。このため、これらの地震については、余震の分散状況から予測される分布域の中心へ $\sqrt{A_m}$ の範囲の中心を移して、再抽出することとした。

(2) 前震の定義およびその抽出方法

前震に関しても余震と同様地震学的な定義は必ずしもはっきりしていないが、ここでは前節で設定した余震の抽出地域内に発生した本震の発生以前に起こった地震を全て「工学的な前震」と定義する

こととする（以下，単に前震と呼ぶ）。抽出方法および基礎資料はすべて余震の場合と同様である。ただし，工学的な利用を考慮して本震以前の 60 日（1,440 時間）以内の前震を対象とすることとした。

以上をまとめると，本調査において対象とする前・余震（工学的な前・余震）の定義は表 2-3 のようになる。

表 2 - 1 本邦の被害地震 (本震 , 1885 年 ~ 1925 年間)

地震 番号	発 震 時					震 央				マグニ チュード	震 央 地 名
	年	月	日	時	分	度	分	度	分		
1	1890	4	16	21	34	139	30	34	6	6.8	三宅島付近
2	1891	10	28	6	38	136	36	35	36	8.0	岐阜県西部
3	1892	12	9	10	42	136	42	37	6	6.4	石川県西岸
4	1894	3	22	19	23	146	0	42	30	7.9	根室沖
5	1896	1	9	22	17	141	0	36	30	6.6	茨城県沖
6	1896	6	15	19	32	144	0	39	30	6.8	岩手県沖
7	1896	8	31	17	6	140	42	39	30	7.2	秋田県東部
8	1897	8	5	9	10	143	18	38	18	7.6	宮城県沖
9	1898	8	10	21	57	130	12	33	36	6.0	福岡県西部
10	1899	5	8	12	29	146	12	42	48	6.9	根室沖
11	1899	11	25	3	43	132	0	31	54	7.1	宮城県沖
12	1901	6	24	16	2	130	0	28	0	7.5	奄美大島沖
13	1901	8	10	3	33	142	18	40	36	7.4	青森県東方沖
14	1901	9	30	19	19	141	54	40	12	6.9	岩手県沿岸
15	1904	6	6	11	51	133	12	35	18	5.8	島根県東部
16	1905	6	2	14	39	132	30	34	6	6.9	安芸灘
17	1906	10	12	9	56	140	30	40	0	5.7	秋田県北部
18	1909	3	13	23	29	141	30	34	30	7.5	房総半島沖
19	1909	8	14	15	31	136	18	35	24	6.8	滋賀県東部
20	1910	10	13	23	56	141	0	36	12	6.3	茨城県沖
21	1912	7	16	7	46	138	30	36	24	5.7	群馬県西部
22	1913	4	13	15	40	132	0	32	0	6.8	宮城県沖
23	1913	6	30	16	45	130	18	31	36	5.9	鹿児島県西岸
24	1914	3	15	4	59	140	24	39	30	7.1	秋田県南部
25	1915	11	16	10	38	140	18	35	24	6.0	千葉県中部
26	1918	11	11	16	4	137	54	36	30	6.5	長野県北部
27	1922	12	8	1	50	130	6	32	42	6.9	千々石湾
28	1923	7	13	20	13	131	12	30	36	7.1	種子島付近
29	1923	9	1	11	58	139	30	35	6	7.9	相模湾
30	1923	9	2	11	46	140	12	34	54	7.3	房総半島沖
31	1925	5	23	11	9	134	48	35	36	6.8	兵庫県北部

表 2-2 本邦の被害地震(本震, 1926年~1981年間)

地震 番号	発 震 時					震 央				深さ km	マグニ チュード	震 央 地 名
	年	月	日	時	分	度	分	度	分			
1	1927	3	7	18	27	135	9	35	32	0	7.3	京都府北部
2	1927	8	6	6	13	142	7	37	56	10	6.7	阿武隈川河口沖
3	1927	8	19	4	28	142	0	34	0	0	6.4	房総半島南東沖
4	1928	5	27	18	50	143	15	39	57	40	7.0	岩手県沖
5	1929	5	22	1	35	132	5	31	40	20	6.9	宮崎県沖
6	1929	7	27	7	48	139	4	35	31	0	6.3	神奈川県西部
7	1930	6	1	2	58	140	37	36	34	30	6.5	茨城県沖
8	1930	10	17	6	36	136	17	36	18	0	6.3	石川県西方沖
9	1930	11	26	4	3	139	3	35	5	0	7.3	静岡県東部
10	1930	12	20	23	2	132	37	34	49	0	6.1	広島県北部
11	1931	2	17	3	48	142	49	42	33	30	6.8	日高支庁南岸
12	1931	3	9	12	49	142	30	41	12	0	7.6	青森県東方沖
13	1931	9	21	11	20	139	14	36	9	0	6.9	埼玉県中部
14	1931	11	2	19	3	132	38	32	15	40	7.1	宮崎県沖
15	1931	11	4	1	19	141	52	39	32	0	6.5	岩手県中部
16	1932	11	26	13	24	142	28	42	25	20	7.0	新冠川下流域
17	1933	3	3	2	31	144	31	39	14	10	8.1	三陸はるか沖
18	1933	6	19	6	37	142	30	38	5	0	7.1	宮城県沖
19	1933	9	21	12	14	136	50	37	7	30	6.0	能登半島沖
20	1933	10	4	3	39	138	49	37	17	0	6.1	新潟県中部
21	1934	8	18	11	38	137	1	35	38	0	6.3	岐阜県中部
22	1935	7	11	17	24	138	25	34	58	10	6.4	静岡県中部
23	1935	7	19	9	50	141	23	36	38	0	6.9	茨城県沖
24	1935	10	13	1	45	143	42	39	58	0	6.9	三陸はるか沖
25	1935	10	18	9	12	144	21	40	45	10	7.1	三陸はるか沖
26	1936	2	21	10	8	135	43	34	35	0	6.4	奈良県西部
27	1936	11	3	5	46	142	8	38	9	40	7.5	宮城県沖
28	1936	12	27	9	14	139	2	34	25	0	6.3	伊豆半島沖
29	1937	7	27	4	56	142	3	38	17	40	7.1	金華山東方沖
30	1938	1	12	0	12	135	4	33	35	0	6.8	紀伊水道
31	1938	5	23	16	18	141	35	36	39	0	7.0	茨城県沖
32	1938	5	29	1	42	144	27	43	33	0	6.1	釧路支庁北部
33	1938	6	10	18	53	125	12	25	18	40	6.7	宮古島北西沖
34	1938	9	22	3	52	141	1	36	24	30	6.5	茨城県沖
35	1938	11	5	17	43	142	11	37	20	30	7.5	福島県沖
36	1939	3	20	12	22	131	58	32	17	20	6.5	宮崎県沖
37	1939	5	1	14	58	139	31	40	8	0	6.8	秋田県西部
38	1940	8	2	0	8	139	28	44	15	10	7.5	日本海北部
39	1941	4	6	1	49	131	33	34	44	10	6.2	山口県北部
40	1941	7	15	23	45	138	14	36	43	0	6.1	長野県北部

地震 番号	発 震 時					震 央				深 さ km	マグニ チュード	震 央 地 名
	年	月	日	時	分	度	分	度	分			
41	1941	11	19	1	46	132	5	32	1	0	7.2	宮崎県沖
42	1942	2	21	16	8	141	41	37	32	0	6.5	福島県沖
43	1943	3	4	19	13	134	13	35	26	0	6.2	鳥取県沖
44	1943	6	13	14	12	143	21	41	15	20	7.1	青森県東方沖
45	1943	8	12	13	50	139	55	37	19	0	6.2	福島県南部
46	1943	9	10	17	37	134	5	35	31	0	7.2	鳥取付近
47	1943	10	13	14	43	138	5	36	46	0	5.9	長野県北部
48	1944	12	7	13	35	136	37	33	48	30	7.9	熊野灘
49	1945	1	13	3	38	137	4	34	41	0	6.8	渥美湾
50	1945	2	10	13	58	142	4	41	0	20	7.1	青森県東方沖
51	1946	12	21	4	19	135	37	33	2	20	8.0	南海道沖
52	1947	11	4	9	9	141	1	43	49	0	6.7	北海道西方沖
53	1948	4	18	1	11	135	37	33	17	0	7.0	紀伊半島沖
54	1948	5	9	11	9	131	56	31	30	0	6.5	宮崎県沖
55	1948	6	15	20	44	135	24	33	45	10	6.7	和歌山県中部
56	1948	6	28	16	13	136	12	36	10	0	7.1	福井県中部
57	1949	1	20	22	24	134	32	35	37	0	6.3	兵庫県北部
58	1949	7	12	1	10	132	41	34	4	40	6.2	瀬戸内海西部
59	1949	12	26	8	25	139	47	36	35	0	6.4	栃木県中部
60	1950	4	26	16	5	135	40	33	55	40	6.5	三重県南部
61	1950	9	10	12	21	140	19	35	10	0	6.3	千葉県沖
62	1951	1	9	3	32	140	9	35	24	50	6.1	千葉県中部
63	1951	10	18	17	26	142	11	41	18	20	6.6	青森県東方沖
64	1952	3	4	10	23	144	8	41	48	0	8.2	十勝沖
65	1952	3	7	16	32	136	12	36	29	0	6.5	能登半島沖
66	1952	3	10	2	4	143	43	41	42	20	6.8	十勝沖
67	1952	7	18	1	10	135	47	34	27	60	6.8	奈良県西部
68	1953	11	26	2	49	141	43	33	59	60	7.4	千葉県沖
69	1955	7	27	10	20	134	19	33	44	10	6.4	徳島県南部
70	1956	2	14	9	53	139	56	35	43	60	5.9	千葉県西部
71	1956	8	13	1	59	138	48	33	48	60	6.5	伊豆半島南方沖
72	1956	9	30	6	20	140	37	37	58	20	6.0	宮城県南部
73	1956	9	30	8	21	140	8	35	40	60	6.3	千葉県中部
74	1957	11	11	4	20	139	18	34	14	0	6.0	伊豆新島近海
75	1959	1	22	14	10	142	14	37	31	40	6.8	福島県沖
76	1959	1	31	5	38	144	35	43	16	0	6.3	釧路支庁北部
77	1959	2	28	5	57	129	25	27	1	20	5.9	奄美大島近海
78	1959	10	26	16	35	143	15	37	28	10	6.8	福島県東方はるか沖
79	1959	11	8	22	55	140	41	43	47	0	6.2	北海道北西沖
80	1960	3	21	2	7	143	26	39	50	0	7.2	三陸はるか沖
81	1961	1	16	16	20	142	16	36	2	40	6.8	茨城県沖
82	1961	2	27	3	10	131	51	31	36	40	7.0	宮崎県沖
83	1961	7	18	23	4	131	46	29	37	60	6.6	屋久島近海
84	1961	8	19	14	33	136	46	36	1	0	7.0	福井・岐阜県境

地震 番号	発 震 時					震 央				深 さ km	マグニ チュード	震 央 地 名
	年	月	日	時	分	年	分	度	分			
85	1961	11	15	16	17	145	34	42	39	60	6.9	根室半島南東沖
86	1962	4	12	9	53	142	49	37	58	40	6.8	金華山沖
87	1962	4	23	14	58	143	55	42	14	60	7.0	十勝沖
88	1962	4	30	11	26	141	8	38	44	0	6.5	宮城県北部
89	1963	3	27	6	34	135	46	35	47	0	6.9	福井県越前岬沖
90	1963	10	4	8	24	132	9	31	53	20	6.3	宮崎県沖
91	1963	10	13	14	18	149	58	43	45	20	8.1	北海道東方沖
92	1963	10	20	9	54	150	8	44	8	0	6.7	択捉島付近
93	1964	5	7	16	58	139	0	40	20	0	6.9	男鹿半島沖
94	1964	5	31	9	40	147	14	43	16	60	6.7	北海道東方沖
95	1964	6	16	13	1	139	11	38	21	40	7.5	新潟県沖
96	1964	12	11	0	11	138	56	40	25	40	6.3	秋田県沖
97	1965	4	20	8	42	138	18	34	53	20	6.1	駿河湾
98	1967	11	4	23	30	144	16	43	29	20	6.5	釧路支庁北部
99	1968	1	29	19	19	147	0	43	11	30	6.9	北海道東方沖
100	1968	2	21	10	45	130	43	32	1	0	6.1	宮崎県南西部
101	1968	4	1	9	42	132	32	32	17	30	7.5	足摺岬沖
102	1968	5	16	9	49	143	35	40	44	0	7.9	十勝沖
103	1968	7	1	19	45	139	26	35	59	50	6.1	埼玉県中部
104	1968	8	6	1	17	132	23	33	18	40	6.6	愛媛県西岸
105	1969	4	21	16	19	132	7	32	9	10	6.5	宮崎県沖
106	1969	8	12	6	28	147	37	42	42	30	7.8	北海道東方沖
107	1969	9	9	14	15	137	4	35	47	0	6.6	岐阜県中部
108	1970	1	1	4	2	129	13	28	24	50	6.1	奄美大島近海
109	1970	1	21	2	33	143	8	42	23	50	6.7	十勝支庁南部
110	1970	7	26	7	41	132	2	32	4	10	6.7	宮崎県沖
111	1970	10	16	14	26	140	45	39	12	0	6.2	秋田県南東部
112	1971	8	2	16	25	143	42	41	14	60	7.0	十勝沖
113	1972	8	31	17	7	136	46	35	53	10	6.0	福井県東部
114	1972	12	4	19	16	141	5	33	12	50	7.2	八丈島東方沖
115	1973	6	17	12	55	145	57	42	58	40	7.4	根室半島南東沖
116	1974	5	9	8	33	138	48	34	34	10	6.9	伊豆半島南方沖
117	1975	1	23	23	19	131	8	33	0	0	6.1	熊本県北東部
118	1975	4	21	2	35	131	20	33	8	0	6.4	大分県中部
119	1975	6	10	22	47	148	13	42	46	0	7.0	北海道東方沖
120	1978	1	14	12	24	139	15	34	46	0	7.0	伊豆大島近海
121	1978	3	23	12	15	149	13	44	19	60	7.0	択捉島付近
122	1978	6	4	5	4	132	42	35	5	0	6.1	島根県中部
123	1978	6	12	17	14	142	10	38	9	40	7.4	宮城県沖
124	1980	6	29	16	20	139	14	34	55	10	6.7	伊豆半島東方沖
125	1980	12	12	8	10	131	55	32	23	40	6.0	宮崎県沖

表 2-3 本調査で対象とする本震および前・余震（工学的な前・余震）の定義

種 別	場 所	時 間	規 模
本 震	本邦内に被害を発生させたマグニチュード 6.0 以上の浅発地震（震源深さ 60 km 以浅）	1885～1981 年間（97 年間）	マグニチュード 6.0 以上
余 震	本震の震央を中心として、 $\log A_m = M_0 + 6.8$ から求められる面積 A_m の平方根 $\sqrt{A_m}$ を 1 辺とする正方形の範囲内に発生した地震。 ただし、三陸津波地震、房総沖地震の場合には、余震域をうまく抽出できるように位置を移動させる	1) 本震発生後 1 日以内 ($t=1$) 2) 1～7 日間 ($t=2$) 3) 7～30 日間 ($t=3$) 4) 30～90 日間 ($t=4$) 5) 本震発生後 90 日以内 ($t=5$)	1885～1925 年間の宇津による $M 6$ 以上の地震の再調査結果、1926～1981 年間については気象庁による資料に示されている最小地震をマグニチュードの下限とする。
前 震	同 上	1) 本震発生前 60 日間	同 上

注) 対象期間は 1) 1885～1925 年間と 2) 1926～1981 年間の 2 つに分けて解析する。

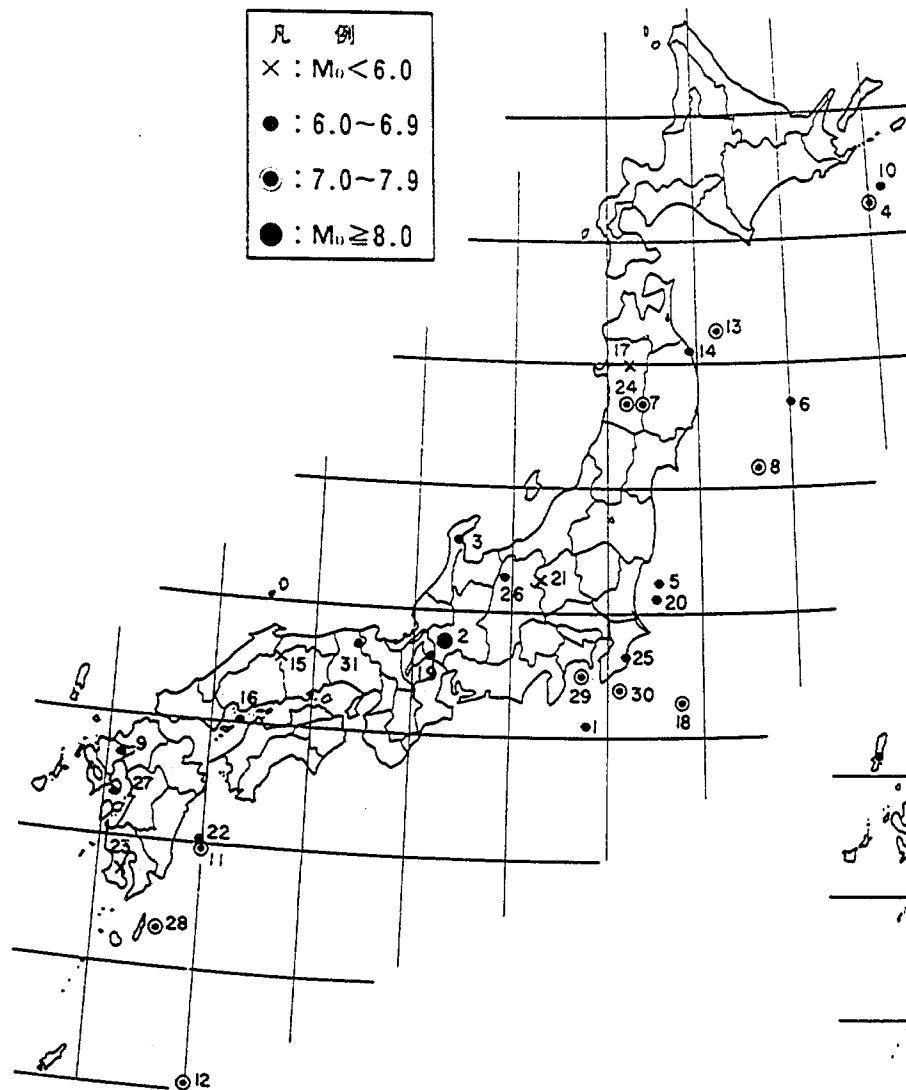


図 2 - 1 1885 年～1925 年における本震の震央分布
(地震の番号は表 3 - 1 の番号に対応する)

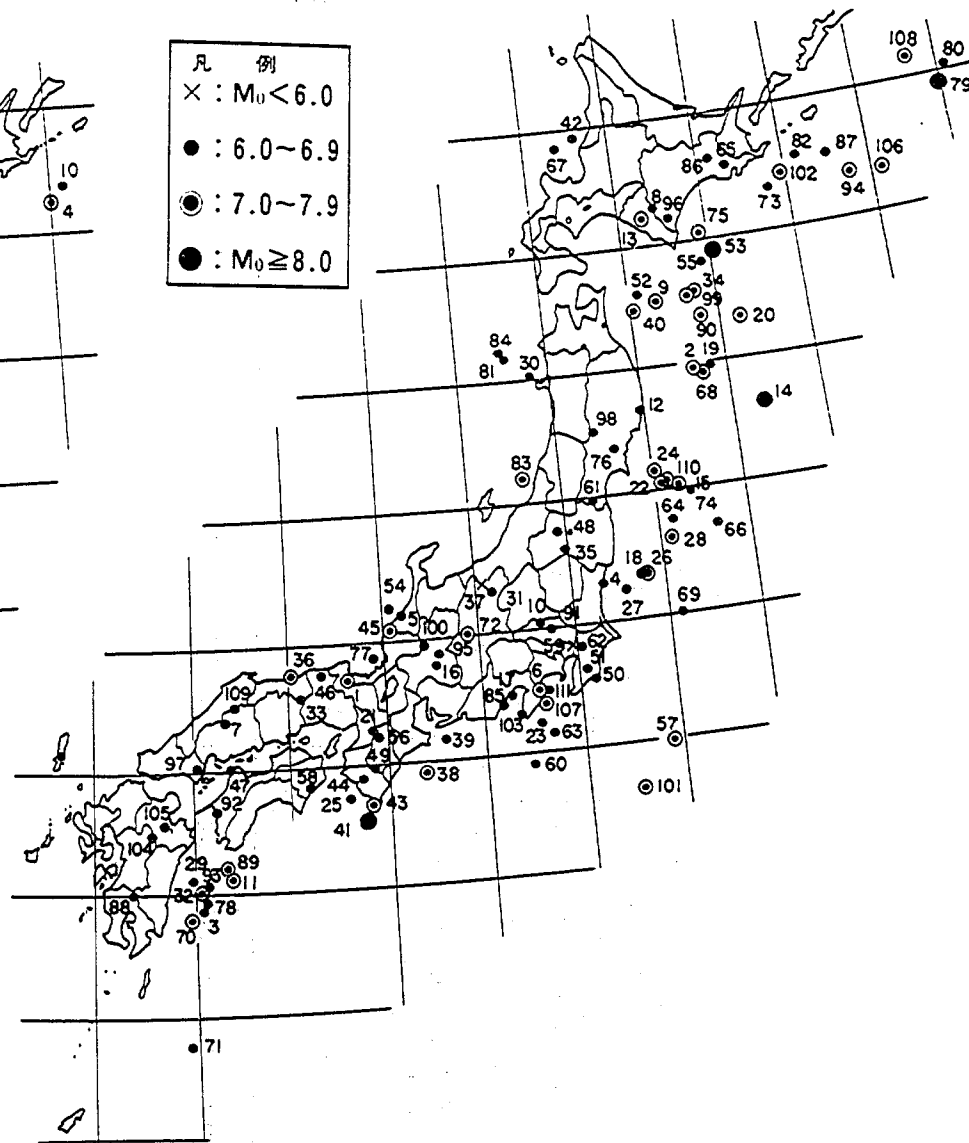


図 2 - 2 1926 年～1981 年における本震の震央分布
(地震の番号は表 3 - 1 の番号に対応する)

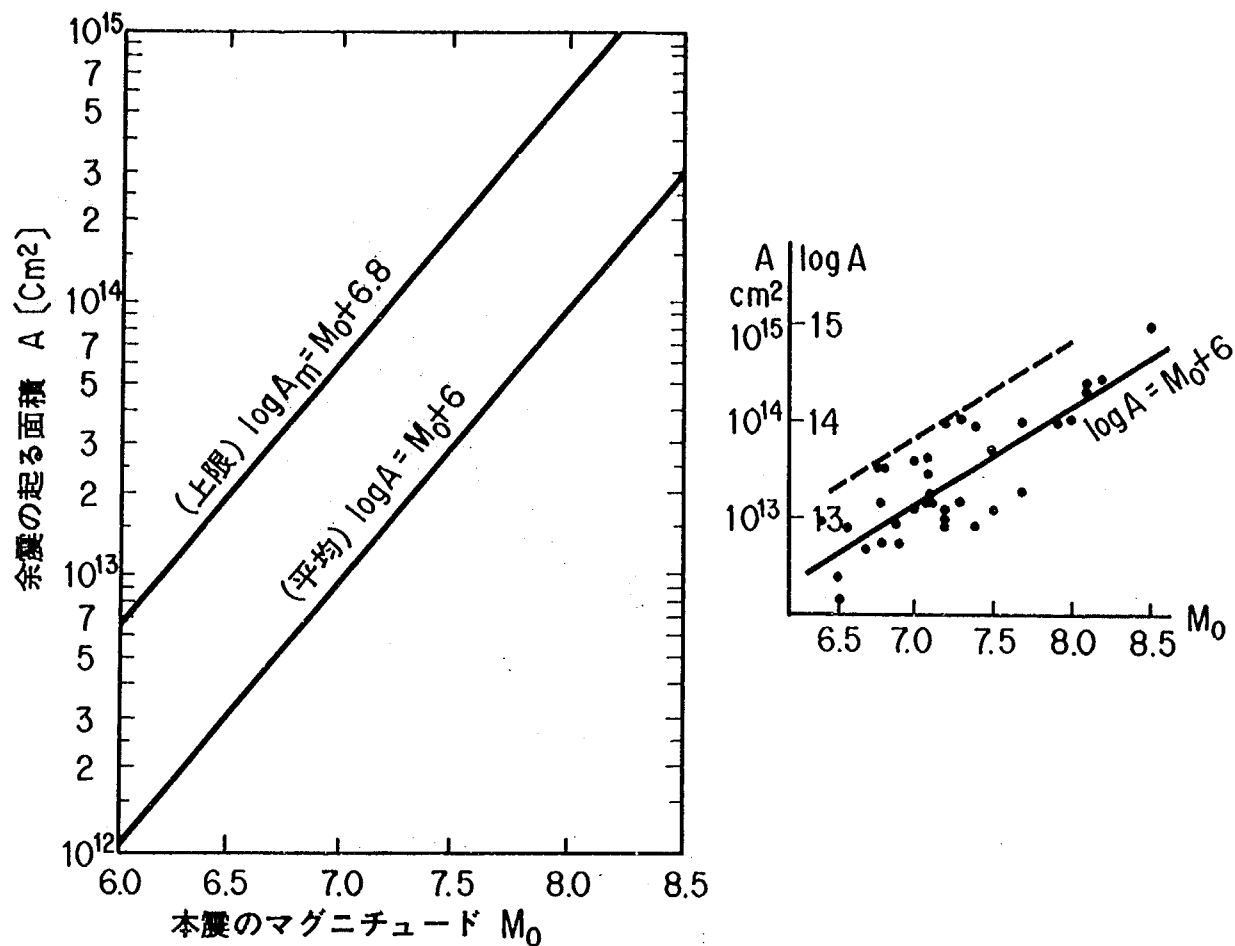


図 2-3 本震のマグニチュード M_0 と余震面積との関係

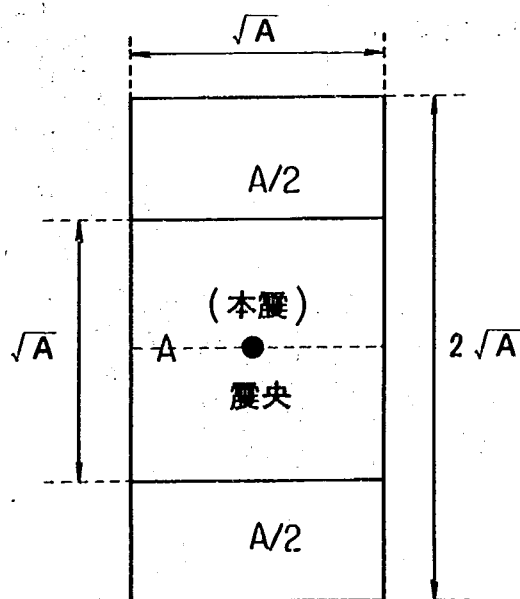


図 2-4 抽出法(b)および(c)の模式図

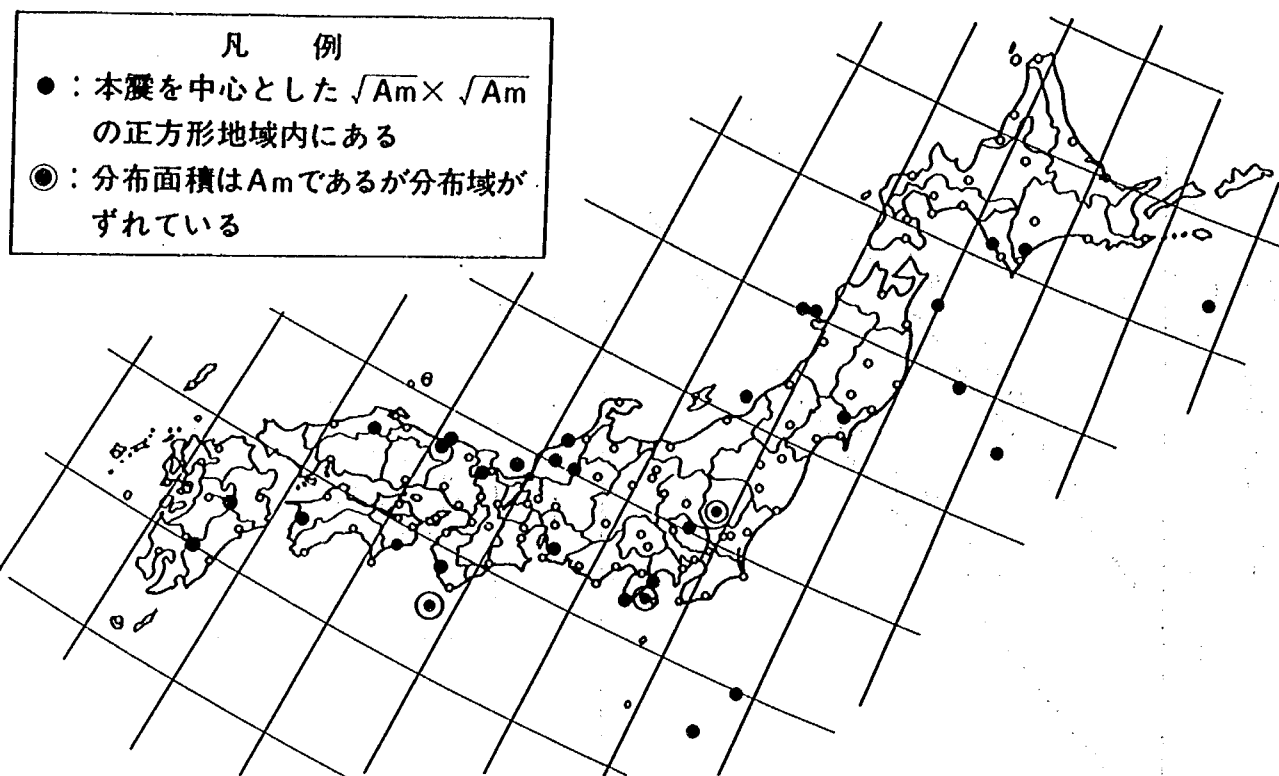


図 2 - 5 余震の震央の地理的分散度が小さい本震の位置
(1926 年～1981 年)

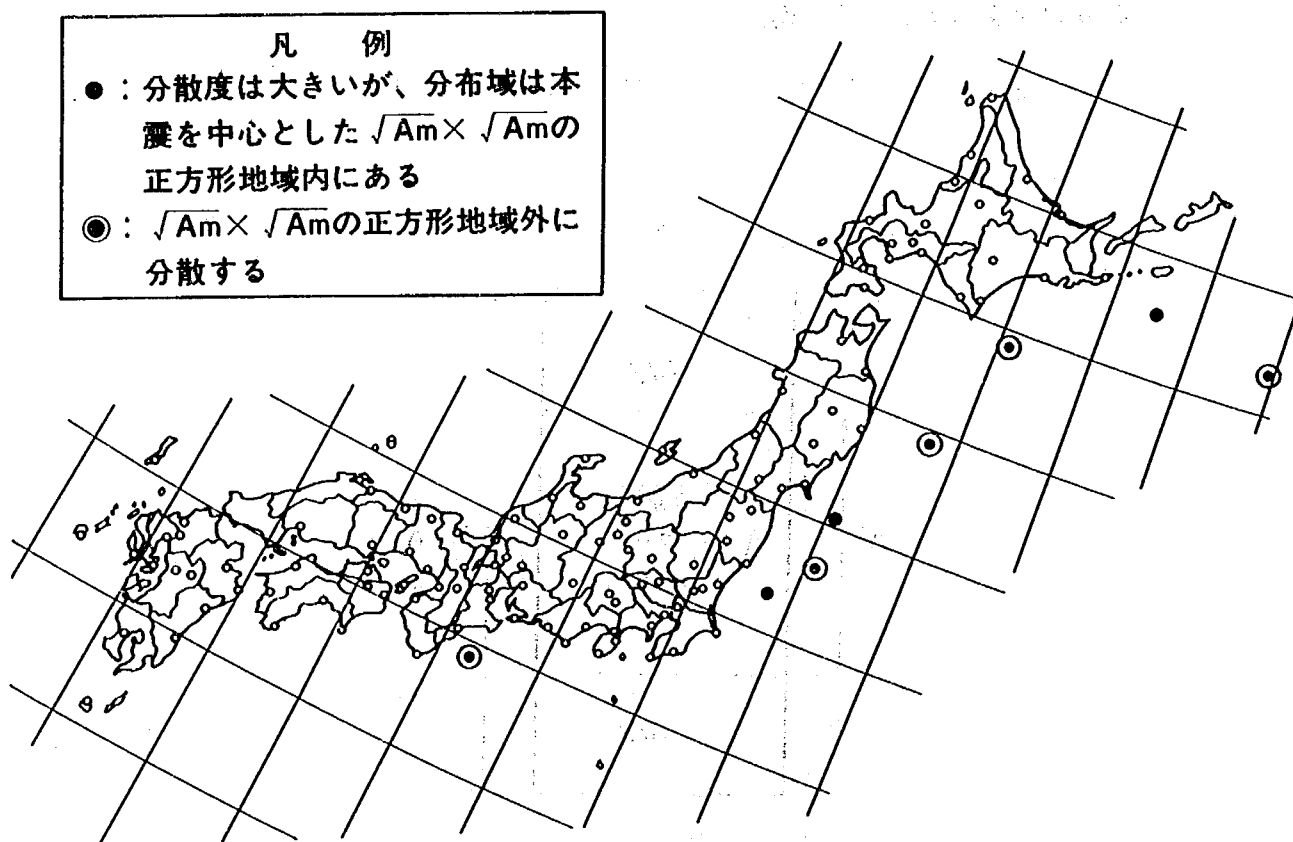


図 2 - 6 余震の震央の地理的分散度が大きい本震の位置
(1926 年～1981 年)

3. 前震および余震の規模およびその頻度

3-1 最大の前・余震のマグニチュードと本震のマグニチュードの関係

前章に示した前震および余震の定義に従い、本震別に最大前震および最大余震のマグニチュードと本震のマグニチュードの関係を検討した。ただし、余震に関しては、対象期間を本震発生後1日以内、1～7日間、7～30日間、30～90日間、および本震発生後90日以内と5期間に分けているので、それぞれの期間ごとにこの中に生じた最大の余震を求めている。地震検知能力の違いを考慮して1885～1925年間および1926～1981年間の2つの期間に分けて、最大前震および最大余震を求めた結果が表3-1である。ここで表中の記号は以下の通りである。

$M_{f,1}$: 最大前震のマグニチュード

$M_{a1,1}$: 本震発生後1日以内に発生した最大余震のマグニチュード ($t=1$)

$M_{a2,1}$: 本震発生後1～7日間に発生した最大余震のマグニチュード ($t=2$)

$M_{a3,1}$: 本震発生後7～30日間に発生した最大余震のマグニチュード ($t=3$)

$M_{a4,1}$: 本震発生後30～90日間に発生した最大余震のマグニチュード ($t=4$)

$M_{a5,1}$: 本震発生後90日以内に発生した最大余震のマグニチュード ($t=5$)

なお、表2-1および表2-2では、1885～1925年間については31個、1926～1981年間については、125個の地震を抽出しているが、このうち、前震も余震も伴わなかった地震が1926～1981年間の地震データには14個あったため、これについては、表3-1には示さない。したがって、表3-1では、1926～1981年間の地震総数は111個となっている。調査地震総数(156)に対して、前震もしくは余震を伴った地震の個数を示すと表3-2のようになる。地震検知能力の相対的に高い、1926～1981年間の地震データに着目すると、この期間に発生した合計125回の本震のうち、前震を伴ったものは53回(42%)であり、約半数の地震が本解析で定義した前震を伴っていることがわかる。同様に、余震については、本震発生後1日以内に余震を伴ったものは86回(69%)、本震発生後90日以内に余震を伴ったものは112回(90%)であり、本震発生後90日以内にはほぼ全数に近く余震を伴うこと、また、本震発生後1日以内に限っても70%近くの確率で余震が発生することを示している。

次に、最大前震および最大余震のマグニチュード $M_{f,1}$, $M_{at,1}$ と本震のマグニチュード M_0 の差を次のように定義し、

$$D_{f,1} = M_0 - M_{f,1} \quad (3-1)$$

$$D_{at,1} = M_0 - M_{at,1} \quad (t=1,2,3,4,5) \quad (3-2)$$

本震ごとに $D_{f,1}$ および $D_{at,1}$ ($t=1,2,3,4,5$) を1885～1925年間および1926～1981年間の2つの期間に分けて求めると表3-3のようになる。なお、表3-3も表3-1と同様、前・余震を全く伴わなかった本震については示していない。

表3-1をもとに、本震のマグニチュード (M_0) と最大前・余震のマグニチュード ($M_{f,1}$, $M_{a1,1}$, $M_{a2,1}$, $M_{a3,1}$, $M_{a4,1}$, $M_{a5,1}$) の関係を示すと、図3-1、図3-2 (1885～1925年間の場合) および図3-3、図3-4 (1926～1981年間の場合) となる。同様に表3-3をもとに、本震のマグニ

チュード (M_0) と式 (3-2) で定義した本震と前・余震のマグニチュードの差 ($D_{f,1}$, $D_{o,1}$, $D_{o,2}$, $D_{o,3}$, $D_{o,4}$, $D_{o,5}$) の関係を示すと図 3-5, 図 3-6 (1885~1925 年間の場合) および図 3-7, 図 3-8 (1926~1981 年間の場合) となる。これらの図中には、それぞれ最小自乗法による縦軸、横軸の回帰式を示している (表 3-4 参照)。これらの結果から、前・余震の規模に関して検討すると以下ようになる。

(1) 最大前震のマグニチュードと本震のマグニチュードの関係

最大前震のマグニチュード $M_{f,1}$ と本震のマグニチュード M_0 の間には、1885~1925 年間のデータを用いた場合には、ある程度はっきりした比例関係が認められる。いま、最小自乗法による両者の回帰式を求めると、次式となる。

$$M_{f,1} = 0.68 M_0 + 1.65 \quad (\text{重相関係数 } r = 0.81) \quad (3-3)$$

なお、式 (3-3) を変形すると、

$$\begin{aligned} D_{f,1} &= M_0 - M_{f,1} \\ &= M_0 - (0.68 M_0 + 1.65) \\ &= 0.32 M_0 - 1.65 \end{aligned} \quad (3-4)$$

となり、これは図 3-5 に示した通り、 $D_{f,1}$ と M_0 を直接回帰した場合と同じ結果を与える。

一方、1926~1981 年間のデータを用いた場合には、 $M_{f,1}$ と M_0 の間には大きなばらつきがあり、必ずしも両者が比例するとは言えない。式 (3-3) と同じような回帰式を求めると一応次式が得られるが、

$$M_{f,1} = 0.38 M_0 + 2.36 \quad (\text{重相関係数 } r = 0.26) \quad (3-5)$$

重相関係数 r が 0.26 と小さく、 $M_{f,1}$ と M_0 の相関が低いことを表わしている。

なお、式 (3-5) を式 (3-4) と同様に変形すると、

$$\begin{aligned} D_{f,1} &= M_0 - M_{f,1} \\ &= M_0 - (0.38 M_0 + 2.36) \\ &= 0.62 M_0 - 2.36 \end{aligned} \quad (3-6)$$

となり、上記と同様図 3-7 に示した $M_0 \sim D_{f,1}$ の回帰式と同じ結果を与える。

以上をまとめると、前震の規模に関しては以下の事項が指摘される。

i) $M_{f,1}$ は M_0 が大きくなるにつれて大きくなる傾向がある。

ii) $D_{f,1} = M_0 - M_{f,1}$ は M_0 が大きくなるにつれて一般に大きくなる傾向が認められる。

1885~1925 年間のデータを用いた場合にはこれらは、それぞれ式 (3-3) および (3-4) によって与えられる。しかしながら、1926~1981 年間のデータを用いた場合には、 $M_{f,1} \sim M_0$ の関係および $D_{f,1} \sim M_0$ の関係のいずれにおいてもばらつきが大きく、両者の相関は低い。

(2) 最大余震のマグニチュードと本震のマグニチュードの関係

最大余震のマグニチュード $M_{o,t,1}$ ($t = 1, 2, 3, 4, 5$) と本震のマグニチュード M_0 の間には一般にある程度の相関を認めることができる。1885~1925 年間のデータに基づいて両者の関係を求めると次

式となる。

$$\begin{aligned}
 M_{a1,1} &= 0.36 M_0 + 3.80 & (r = 0.48) \\
 M_{a2,1} &\sim M_0 \cdots \cdots \text{相関が低い} & (r = -0.12) \\
 M_{a3,1} &= 0.40 M_0 + 3.13 & (r = 0.66) \\
 M_{a4,1} &\sim M_0 \cdots \cdots \text{相関が低い} & (r = -0.20) \\
 M_{a5,1} &= 0.49 M_0 + 2.90 & (r = 0.66)
 \end{aligned} \tag{3-7}$$

同様に、1926～1981年間のデータに基づく場合には、次式が得られる。

$$\begin{aligned}
 M_{a1,1} &= 1.01 M_0 - 1.74 & (r = 0.66) \\
 M_{a2,1} &= 0.98 M_0 - 1.78 & (r = 0.64) \\
 M_{a3,1} &= 0.90 M_0 - 1.20 & (r = 0.63) \\
 M_{a4,1} &= 1.02 M_0 - 2.24 & (r = 0.68) \\
 M_{a5,1} &= 1.07 M_0 - 1.95 & (r = 0.68)
 \end{aligned} \tag{3-8}$$

いま、式(3-7)と式(3-8)を比較するために、両式による $M_{a5,1}$ および $M_{a1,1}$ を示したのが図3-9である。これによれば、 $M_{a5,1}$ 、 $M_{a1,1}$ のいずれの場合にも、1885～1925年間の地震データから求めた場合には、1926～1981年間の地震データから求めた場合に比較して、同一の M_0 に対する $M_{at,1}$ ($t=1,5$)は大きく求められている。しかし、 M_0 が5.5以下と小さい場合には、 $M_{at,1} > M_0$ となることからわかるように、1885～1925年間の地震データから求めた場合には明らかに最大余震のマグニチュードが大きく評価され過ぎており、この傾向は M_0 が小さいほど著しい。この理由は、古い時代の地震を対象としているため、1885～1925年の地震カタログには M の小さい余震が網羅されておらず、このため、 M_0 の小さい範囲で $M_{at,1}$ が大きく評価され過ぎていると考えられる。なお、 M_0 が8程度と大きい場合には式(3-7)と式(3-8)の差はあまり生じていないが、これは、本震のマグニチュード M_0 が大きくなれば、一般に最大余震のマグニチュード $M_{at,1}$ も大きくなるため、1885～1925年間の地震資料でも、ある程度最大余震が捕捉されているためと考えることができる。このような点を考慮すると、最大余震を取り扱うためには、1925～1981年間の地震データを用いた式(3-8)の方が基本的にはより正しい結果を与えられと考えられる。

なお、式(3-8)を変形すると、 $D_{at,1} = M_0 - M_{at,1}$ は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 D_{a1,1} &= -0.01 M_0 + 1.74 \\
 D_{a2,1} &= 0.02 M_0 + 1.78 \\
 D_{a3,1} &= 0.10 M_0 + 1.20 \\
 D_{a4,1} &= -0.02 M_0 + 2.24 \\
 D_{a5,1} &= -0.07 M_0 + 1.95
 \end{aligned} \tag{3-9}$$

このうち、 $D_{a1,1}$ 、 $D_{a2,1}$ 、 $D_{a4,1}$ については M_0 の係数が非常に小さいため、式(3-9)は近似的に次のように与えることができる。

$$\begin{aligned}
D_{a1,1} &\div 1.74 \\
D_{a2,1} &\div 1.78 \\
D_{a3,1} &\div 2.24
\end{aligned}
\tag{3-10}$$

表3-5は、本震ごとの $D_{at,1}$ ($t=1,2,\dots,5$) の平均値および標準偏差を本震のマグニチュード M_0 が6.0以上の場合と7.5以上の場合に分けて求めた結果である。図3-10は、この結果を平均値について図示したものであり、 M_0 が6.0以上の場合と M_0 が7.5以上の場合には特に大きな差は見られない。これよれば、 $D_{at,1}$ の平均値はおおよそ次のように与えることができる。

$$\begin{aligned}
D_{a1,1} &\div 1.6 \\
D_{a2,1} &\div 1.9 \\
D_{a3,1} &\div 2.0 \\
D_{a4,1} &\div 2.0 \\
D_{a5,1} &\div 1.5
\end{aligned}
\tag{3-11}$$

なお、宇津〔1967〕は1926年4月7日～1959年11月8日までの352個の地震に対して、本震のマグニチュード M_0 と最大余震のマグニチュード M_1 (本解析で対象とした工学的な余震ではなく、地震学的な余震) の差 $M_0 - M_1$ の平均値 $\overline{M_0 - M_1}$ は次式で与えられるとしている。

$$\overline{M_0 - M_1} = 4.7 - 0.45 M_0 \tag{3-12}$$

図3-11は、式(3-12)による $\overline{M_0 - M_1}$ と M_0 の関係を示したものであり、これは、今回求めた図3-8(1925～1981年間のデータによった場合)と傾向が異なっている。ただし、今回の解析では震災対策に資することを目的に空間的、時間的に限定した余震を対象としており、宇津が取り扱った地震学的な意味での余震と同一ではない。こうした点を考慮して今後両者の違いを検討する必要がある。

3-2 前震および余震の回数と本震のマグニチュードの関係

前震および余震の回数と本震のマグニチュード M_0 の関係を求めると表3-6のようになる。ただし、前震および余震の規模の下限を限らないと回数が定まらないため、ここでは一応マグニチュード4.0以上の前震および余震を対象とすることとした。ここで、表中の記号は以下の通りである。

- N_f : 前震の回数
- N_{a1} : 本震発生後1日以内の余震の回数
- N_{a2} : 本震発生後1～7日間の余震の回数
- N_{a3} : 本震発生後7～30日間の余震の回数
- N_{a4} : 本震発生後30～90日間の余震の回数
- N_{a5} : 本震発生後90日以内の余震の回数

表3-6をもとに、前震および余震の回数と本震のマグニチュードの関係を示すと図3-12、図3-13(1885～1925年の場合)、および、図3-14、図3-15(1926～1981年の場合)となる。図中には、それぞれ最小自乗法による N_f 、 N_{at} ($t=1,2,3,4,5$) と M_0 の回帰式を示している(表3-7参照)。

これらの結果より前・余震の回数を検討すると、以下のようになる。

(1) 前震の回数と本震のマグニチュードの関係

1885～1925年間の地震データおよび1926～1981年間の地震データのいずれに基づいた場合にも、前震の回数は本震のマグニチュード M_0 が大きくなるとともに一般に多くなる傾向にある。ただし、本震のマグニチュードが7.5程度以上あっても、前震を伴わなかった地震も存在することに注意しなければならない。前震の回数 N_f と本震のマグニチュード M_0 の関係を回帰すると、

$$\log_{10} N_f = \begin{cases} 0.11M_0 - 0.64 & (r=0.57) \cdots \cdots \text{1885～1925年の地震データ} \\ 0.17M_0 - 0.92 & (r=0.29) \cdots \cdots \text{1926～1981年の地震データ} \end{cases} \quad (3-13)$$

となるが、これらの回帰式はいずれも、重相関係数が小さく、 N_f と M_0 の相関は低いことを示している。

(2) 余震の回数と本震のマグニチュードの関係

1885～1925年間の地震データの場合には、マグニチュードの小さい地震が網羅されていないため、余震の回数は一般に少ない。この関係もあって N_{at} ($t=1, 2, 3, 4, 5$) $\sim M_0$ の相関は全般に低いが、本震発生後90日以内 ($t=5$) の余震回数 N_{as} はおおよそ次式で与えられる。

$$\log_{10} N_{as} = 0.24M_0 - 1.49 \quad (r=0.49) \quad (3-14)$$

1926～1981年の地震データの場合には、 N_{at} ($t=1, 2, 3, 4, 5$) と M_0 の間にある程度の相関が認められ、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \log_{10} N_{a1} &= 0.41M_0 - 2.39 & (r=0.48) \\ \log_{10} N_{a2} &= 0.57M_0 - 3.39 & (r=0.58) \\ \log_{10} N_{a3} &= 0.51M_0 - 3.08 & (r=0.61) \\ \log_{10} N_{a4} &= 0.56M_0 - 3.45 & (r=0.63) \\ \log_{10} N_{a5} &= 0.73M_0 - 4.23 & (r=0.61) \end{aligned} \quad (3-15)$$

これによれば、 $M_0=8$ クラスの巨大地震の場合には、本震発生後1日以内に8回程度の余震が、また、本震発生後90日以内には40回程度の余震が、それぞれ生じることになる。また、 $M_0 \geq 7.5$ となると一般に本震発生後1日以内に必ずといってもよいほど余震を伴い、さらに $M_0 \geq 7.1$ の地震では本震発生後90日以内には必ず余震を伴うと言える。

3-3 本震の発生時間と最大前震および最大余震の発生時間の差

最大前震が生じてから本震が生じるまでの時間 $T_{f,1}$ (単位：時間)、および、本震が生じてから最大余震が生じるまでの時間 $T_{at,1}$ ($t=1, 2, 3, 4, 5$) (単位：時間) を各本震別に整理すると表3-8のようになる。表3-8をもとに、本震の発生時間と最大前震および最大余震の発生時間の差 $\sim$ 本震のマグニチュード M_0 の関係を示すと図3-16、図3-17 (1885～1925年の場合)、および、図3-18、図3-19 (1926～1981年の場合) となる。図中には、それぞれ最小自乗法による $T_{f,1}$ 、 $T_{at,1}$ と M_0 の回帰式を示している (表3-9参照)。これらの結果より、 $T_{f,1}$ および $T_{at,1}$ を検討すると以下のようになる。

(1) 最大前震が生じてから本震が発生するまでの時間 $T_{f,1}$

最大前震が生じてから本震が発生するまでの時間 $T_{f,1}$ は、1885～1925 年の地震データおよび 1926～1981 年の地震データのいずれを用いた場合にも、個々の地震ごとに大きくばらついており、これらと本震のマグニチュード M_0 との相関は低い。

(2) 本震が発生してから最大余震が発生するまでの時間 $T_{os,1}$

1885～1925 年の地震データおよび 1926～1981 年の地震データのいずれを用いた場合にも、 $T_{os,1}$ は地震ごとに大きくばらついており、これらと本震のマグニチュード M_0 との相関は低い。なお、 $T_{a2,1}$ 、 $T_{a3,1}$ および $T_{a4,1}$ はいずれも M_0 との相関は低いものの、ある一定の範囲におさまっているように見える。しかし、これらはもともと、それぞれ本震発生後 1～7 日間、7～30 日間、30～90 日間と時間を限り、この時間内に発生した最大余震を対象としたためであり、有意な結果ではない。

3-4 前震および余震の発生状況の地域性

(1) 前震の起り方の地域性

1885～1925 年および 1926～1981 年の 2 つの期間に分けて、前震を伴った本震と、伴わなかった本震の震央分布を示すと、図 3-20 のようになる。このうち、1885～1925 年間に比較して相対的に地震の検知能力の向上した 1926～1981 年間の結果に注目すると、大規模地震の発生域である太平洋側海底の地震に前震を伴った地震が多いことがわかる。

(2) 余震の起り方の地域性

1885～1925 年および 1926～1981 年の 2 つの期間に分けて余震を伴った地震と、伴わなかった地震の震央分布を示すと、図 3-21 のようになる。これによれば、被害地震には余震を伴わないものはほとんどないといってもよく、また必ず余震を伴うという点では、地域性はない。ただし、図 2-6 に示したようにその伴い方（例えば、余震の発生域の面積）には地域性が認められる。

(3) 前震の回数の地域性

1885～1925 年および 1926～1981 年の 2 つの期間に分けて本震別に、マグニチュード 4.0 以上の前震の回数 N_f の常用対数を、震央位置に示すと、図 3-22 のようになる。これによれば、前震の回数は東日本の海底に生じる地震の場合に概して多い傾向が認められるが、これらの地域内においては規則的な分布をしていない。

(4) 余震の回数の地域性

1885～1925 年および 1926～1981 年の 2 つの期間に分けて本震別に、マグニチュード 4.0 以上の余震の回数 N_{os} の常用対数を震央位置に示すと、図 3-23 のようになる。これによれば、概して、本邦東方の海底に生じる地震の場合に多く余震を伴う傾向が認められる。

(5) 最大前震～本震発生までの時間の地域性

1885～1925 年および 1926～1981 年の 2 つの期間に分けて本震別に、最大前震の発生後本震が発生するまでの時間 $T_{f,1}$ の常用対数を、本震の震央位置にプロットすると、図 3-24 のようになる。これによると $\log T_{f,1}$ の分布には特に系統的な地域特性は認められない。

(6) 本震～最大余震発生までの時間の地域性

1885～1925 年および 1926～1981 年の 2 つの期間に分けて本震別に、本震発生後最大余震（90 日以内の余震）の発生するまでの時間 $T_{os,1}$ の常用対数を、本震の震央位置にプロットすると、図 3-25

のようになる。これによると、太平洋沿岸地帯に $T_{0.5,1}$ の比較的長い地震がまとまり、一応地域性があるようにも見える。しかしながら、これらは複雑に分布しており、有意な結果を与えるものであるかどうかはさらに詳細に検討する必要がある。

表3-1 本震のマグニチュードと最大の前震・余震のマグニチュードの関係

(1) 1885~1925年

番号	発震時					M ₀	M _{1,1} (0~60日)	M _{2,1} (0~90日)	M _{3,1} (0~1日)	M _{4,1} (1~7日)	M _{5,1} (7~30日)	M _{6,1} (30~90日)
	年	月	日	時	分							
1	1890	4	16	21	34	6.8	—	6.3	6.3	6.3	—	—
2	1891	10	28	6	38	8.0	—	6.0	6.0	6.0	5.9	5.5
3	1892	12	9	10	42	6.4	—	6.3	—	6.3	—	—
4	1894	3	22	19	23	7.9	—	6.8	—	6.0	—	6.8
5	1896	1	9	22	17	6.6	—	6.1	6.0	—	—	6.1
6	1896	6	15	19	32	6.8	—	6.5	6.3	—	—	6.5
7	1896	8	31	17	6	7.2	6.4	—	—	—	—	—
8	1897	8	5	9	10	7.6	—	6.0	6.0	—	—	6.0
9	1898	8	10	21	57	6.0	—	5.8	—	5.8	—	—
10	1899	5	8	12	29	6.9	—	6.5	—	—	—	6.5
11	1899	11	25	3	43	7.1	—	6.9	6.9	—	—	—
12	1901	6	24	16	2	7.5	—	6.5	6.5	—	—	—
13	1901	8	10	3	33	7.4	7.2	6.3	6.3	6.0	6.3	—
14	1901	9	30	19	19	6.9	—	6.2	6.2	—	—	—
15	1904	6	6	11	51	5.8	5.4	—	—	—	—	—
16	1905	6	2	14	39	6.9	—	6.0	6.0	—	—	—
17	1906	10	12	9	56	5.7	—	5.5	5.5	—	—	—
18	1909	3	13	23	29	7.5	6.7	6.6	—	—	6.6	—
19	1909	8	14	15	31	6.8	—	5.9	—	—	5.9	—
20	1910	10	13	23	16	6.3	5.9	—	—	—	—	—
21	1912	7	16	7	46	5.7	—	5.1	—	—	5.1	—
22	1913	4	13	15	40	6.8	6.7	—	—	—	—	—
23	1913	6	30	16	45	5.9	5.7	—	—	—	—	—
24	1914	3	15	4	59	7.1	—	6.2	—	—	6.2	—
25	1915	11	16	10	38	6.0	5.9	—	—	—	—	—
26	1918	11	11	16	4	6.5	5.9	—	—	—	—	—
27	1922	12	8	1	50	6.9	—	6.5	6.5	—	—	—
28	1923	7	13	20	13	7.1	—	6.6	6.6	—	—	—
29	1923	9	1	11	58	7.9	—	6.9	6.9	—	5.9	6.4
30	1923	9	2	11	46	7.3	6.0	7.0	7.1	6.2	—	—
31	1925	5	23	11	9	6.8	—	6.3	—	6.3	—	—

(2) 1926~1981年

番号	発震時					M ₀	M _{1,1} (0~60日)	M _{2,1} (0~90日)(0~1日)(1~7日)(7~30日)(30~90日)				
	年	月	日	時	分			(0~90日)	(0~1日)	(1~7日)	(7~30日)	(30~90日)
1	1927	3	7	18	27	7.3	***	6.5	6.3	5.7	6.5	5.4
2	1928	5	27	18	59	7.0	***	6.5	5.2	6.5	5.1	4.9
3	1929	5	22	1	35	6.9	***	5.0	5.0	4.7	***	***
4	1930	6	1	2	58	6.5	5.1	3.8	***	***	***	3.3
5	1930	10	17	6	36	6.3	***	4.4	***	4.4	***	***
6	1930	11	26	4	3	7.3	5.1	4.7	4.7	4.1	4.7	3.5
7	1930	12	29	23	2	6.1	***	4.4	***	4.4	***	***
8	1931	2	17	3	43	5.8	6.3	***	***	***	***	***
9	1931	3	9	12	47	7.6	5.5	5.6	***	4.8	4.9	5.6
10	1931	9	21	11	29	6.7	***	5.5	4.9	4.8	5.6	3.7
11	1931	11	2	19	3	7.1	***	5.3	5.3	***	***	4.9
12	1931	11	4	1	19	6.5	***	5.0	4.3	***	5.0	***
13	1932	11	26	13	24	7.0	***	5.6	5.3	***	5.6	***
14	1933	3	3	2	31	3.1	6.3	6.8	6.3	5.5	5.7	6.6
15	1933	6	19	6	37	7.1	4.9	4.9	***	4.9	4.2	***
16	1934	8	18	11	38	6.3	***	4.4	4.4	***	4.3	***
17	1935	7	11	17	24	6.4	***	4.3	***	***	***	4.3
18	1935	7	19	9	50	6.9	4.4	5.5	5.1	***	4.6	5.5
19	1935	10	13	1	45	6.9	5.0	5.9	***	5.9	***	***
20	1935	10	18	9	12	7.1	6.4	6.5	6.5	***	***	***

番号	発 震 時 分					M ₀	M _L 1 (0~60日)	M _L 1 (0~90日)(0~1日)(1~7日)(7~30日)(30~90日)				
	年	月	日	時	分			(0~90日)	(0~1日)	(1~7日)	(7~30日)	(30~90日)
21	1936	2	21	10	8	6.4	***	4.2	4.2	3.1	3.2	***
22	1936	11	3	5	46	7.5	4.5	6.6	***	***	5.6	6.6
23	1936	12	27	9	14	6.3	***	5.0	5.0	***	***	***
24	1937	7	27	4	56	7.1	***	4.2	***	***	4.2	***
25	1938	1	12	0	12	6.3	4.8	5.0	4.8	***	5.0	***
26	1938	5	23	16	18	7.0	***	5.8	4.6	4.8	4.7	5.8
27	1938	9	22	3	52	6.5	5.6	4.7	***	***	4.7	***
28	1938	11	5	17	43	7.5	5.2	7.4	7.3	7.4	6.9	6.0
29	1939	3	20	12	22	6.5	***	4.5	4.3	***	4.5	***
30	1939	5	1	14	58	6.8	***	5.4	4.1	5.4	4.4	4.3
31	1941	7	15	23	45	6.1	***	3.8	3.6	3.8	***	***
32	1941	11	19	1	46	7.2	5.5	5.5	5.4	4.4	***	5.5
33	1943	3	4	19	13	6.2	***	5.8	5.7	4.2	5.8	4.8
34	1943	6	13	14	12	7.1	***	6.4	6.4	4.9	5.5	4.9
35	1943	8	12	13	50	6.2	***	5.3	5.3	***	5.3	***
36	1943	9	10	17	37	7.2	***	6.2	6.2	5.4	5.8	5.7
37	1943	10	13	14	43	5.9	***	***	***	***	***	***
38	1944	12	7	13	35	7.9	***	6.4	6.0	6.4	5.7	5.9
39	1945	1	13	3	38	6.8	5.9	5.9	5.1	5.9	5.3	4.9
40	1945	2	10	13	58	7.1	***	6.2	5.4	5.1	6.2	***
41	1946	12	21	4	19	8.0	3.8	6.3	6.3	5.9	5.7	6.3
42	1947	11	4	9	9	6.7	***	5.0	4.7	5.0	***	***
43	1948	4	18	1	11	7.0	***	5.0	4.4	***	***	5.0
44	1948	6	15	20	44	6.7	4.4	5.1	5.1	4.6	***	***
45	1948	6	28	16	13	7.1	***	5.8	5.8	4.9	5.0	4.9
46	1949	1	20	22	24	6.3	***	4.2	3.7	***	4.2	***
47	1949	7	12	1	10	6.2	***	4.0	***	***	***	4.0
48	1949	12	26	8	25	6.4	4.1	5.8	5.0	5.8	4.5	4.9
49	1950	4	26	16	5	6.5	***	4.0	***	***	***	4.0
50	1950	9	10	12	21	6.3	***	***	***	***	***	***
51	1951	1	9	3	32	6.1	***	4.5	4.5	***	4.0	***
52	1951	10	18	17	26	6.6	***	5.9	***	5.9	***	***
53	1952	3	4	10	23	8.2	5.5	7.1	7.1	6.0	6.2	6.5
54	1952	3	7	16	32	6.5	***	5.0	5.0	4.9	4.4	4.7
55	1952	3	10	2	4	6.8	5.8	5.7	***	***	5.7	***
56	1952	7	18	1	10	6.8	***	***	***	***	***	***
57	1953	11	26	2	49	7.4	***	5.6	***	5.3	5.6	5.3
58	1955	7	27	10	20	6.4	***	5.2	4.5	5.2	4.7	4.5
59	1955	2	14	9	53	5.9	***	***	***	***	***	***
60	1955	8	13	1	59	6.5	***	***	***	***	***	***
61	1956	9	30	6	20	6.0	***	***	***	***	***	***
62	1956	9	30	8	21	6.3	4.5	***	***	***	***	***
63	1957	11	11	4	20	5.9	5.5	***	***	***	***	***
64	1959	1	22	14	10	6.8	***	***	***	***	***	***
65	1959	1	31	5	33	6.3	***	4.3	***	4.3	***	***
66	1959	10	26	16	35	6.8	***	5.2	***	5.2	***	***
67	1959	11	8	22	55	6.2	***	***	***	***	***	***
68	1960	3	21	2	7	7.2	5.6	6.7	6.0	6.7	5.5	5.5
69	1961	1	16	16	20	5.8	***	***	***	***	***	***
70	1961	2	27	3	10	7.0	4.5	***	***	***	***	***
71	1961	7	18	23	4	5.5	***	5.9	5.9	***	***	***
72	1961	8	19	14	33	7.0	***	5.0	5.0	***	***	***
73	1961	11	15	16	17	6.9	5.6	6.0	***	***	***	5.0
74	1962	4	12	9	53	6.3	***	6.4	4.8	5.6	6.4	***
75	1962	4	23	14	58	7.0	***	4.6	***	***	***	4.6
76	1962	4	30	11	26	6.5	***	4.8	4.7	4.8	4.4	4.4
77	1963	3	27	6	34	6.9	***	5.3	5.3	***	***	***
78	1963	10	4	8	24	6.3	***	4.9	***	***	4.9	***
79	1963	10	13	14	18	8.1	6.3	6.2	6.2	6.0	6.0	6.2
80	1963	10	20	9	54	6.7	6.2	5.8	***	***	***	5.8

番号	発 震 時 分					M _o	M _{1.1} (0~60日)	M _{1.1} (0~90日)(0~1日)(1~7日)(7~30日)(30~90日)				
	年	月	日	時	分			(0~90日)	(0~1日)	(1~7日)	(7~30日)	(30~90日)
81	1964	5	7	16	53	6.9	***	6.5	6.5	4.9	***	4.8
82	1964	5	31	9	40	6.7	***	5.0	***	5.0	***	***
83	1964	6	16	13	1	7.5	***	6.1	6.1	5.5	6.0	4.5
84	1964	12	11	0	11	6.3	***	5.3	5.3	4.2	5.0	***
85	1965	4	20	8	42	6.1	***	3.6	***	***	***	3.6
86	1967	11	4	23	30	6.5	***	5.7	5.7	3.7	***	***
87	1968	1	29	19	19	6.9	***	5.3	4.8	5.3	5.0	***
88	1963	2	21	10	45	6.1	4.0	5.7	4.0	4.7	4.1	5.7
89	1963	4	1	9	42	7.5	***	4.7	4.7	4.3	4.1	4.6
90	1963	5	16	9	42	7.9	5.3	6.7	6.7	6.3	6.2	6.4
91	1968	7	1	19	45	6.1	3.5	4.1	***	4.1	***	***
92	1968	8	6	1	17	6.5	***	5.3	5.3	4.4	4.8	4.1
93	1969	4	21	16	19	6.5	***	4.7	4.7	4.1	***	***
94	1969	8	12	6	28	7.3	***	6.2	5.6	6.2	5.6	5.5
95	1969	9	9	14	15	6.6	***	4.9	4.1	4.9	4.0	4.5
96	1970	1	21	2	33	6.7	***	4.8	4.8	4.4	4.1	4.5
97	1970	7	26	7	41	6.7	***	4.7	4.7	4.1	4.4	***
98	1970	10	16	14	26	6.2	***	4.9	4.9	***	3.6	4.0
99	1971	8	2	16	25	7.0	***	5.6	***	5.6	4.8	4.4
100	1972	8	31	17	7	6.0	***	4.5	***	3.9	4.5	***
101	1972	12	4	19	16	7.2	4.5	5.5	5.5	5.3	5.2	5.1
102	1973	6	17	12	55	7.4	4.3	6.1	6.1	5.8	5.8	5.0
103	1974	5	9	8	33	6.9	3.7	4.9	4.2	4.3	3.9	4.9
104	1975	1	23	23	19	6.1	5.5	5.0	4.9	5.0	4.3	3.7
105	1975	4	21	2	35	6.4	***	4.2	4.2	3.9	3.8	***
106	1975	6	10	22	47	7.0	***	5.2	5.0	5.2	***	***
107	1973	1	14	12	24	7.0	3.8	5.1	5.1	4.7	4.3	4.2
108	1973	3	23	12	15	7.0	5.4	5.8	5.8	5.6	5.5	5.2
109	1978	6	4	5	4	6.1	3.9	5.5	5.5	3.3	3.8	4.0
110	1973	6	12	17	14	7.4	3.7	6.3	5.1	6.3	5.8	5.1
111	1980	6	29	16	20	6.7	4.9	4.6	4.1	4.1	4.6	3.3

注) ***は項目に該当する地震がないか、もしくはマグニチュードが不明であることを示す。

表 3-2 前震および余震の発生率

種 別		前震を伴った地震	余震を伴った地震				
			90日以内 (t=5)	1日以内 (t=1)	1~7日間 (t=2)	7~30日間 (t=3)	30~90日間 (t=4)
1885~1925年間	回 数	10	24	15	8	7	7
	発生率	0.32	0.77	0.48	0.26	0.23	0.23
1926~1981年間	回 数	53	112	86	82	80	71
	発生率	0.42	0.90	0.69	0.66	0.64	0.57

調査対象地震の総数は 31 (1885~1925 年間) および 125 (1926~1981 年間)

表3-3 最大の前震・余震のマグニチュードと本震のマグニチュードとの差

(1) 1885～1925年

番号	発震時					震央				M ₀	D _{f,1} (0~60) 日	D _{a5,1} (0~90) 日	D _{a1,1} (0~1) 日	D _{a2,1} (1~7) 日	D _{a3,1} (7~30) 日	D _{a4,1} (30~90) 日
	年	月	日	時	分	度	分	度	分							
1	1890	4	16	21	34	139	30	34	6	6.8	—	0.5	0.5	0.5	—	—
2	1891	10	28	6	38	136	36	35	36	8.0	—	2.0	2.0	2.0	2.1	2.5
3	1892	12	9	10	42	136	42	37	6	6.4	—	0.1	—	0.1	—	—
4	1894	3	22	19	23	146	0	42	30	7.9	—	1.1	—	1.9	—	1.1
5	1896	1	9	22	17	141	0	36	30	6.6	—	0.5	0.6	—	—	0.5
6	1896	6	15	19	32	144	0	39	30	6.8	—	0.3	0.5	—	—	0.3
7	1896	8	31	17	6	140	42	39	30	7.2	0.8	—	—	—	—	—
8	1897	8	5	9	10	143	18	38	18	7.6	—	1.6	1.6	—	—	1.6
9	1898	8	10	21	57	130	12	33	36	6.0	—	0.2	—	0.2	—	—
10	1899	5	8	12	29	146	12	42	48	6.9	—	0.4	—	—	—	0.4
11	1899	11	25	3	43	132	0	31	54	7.1	—	0.2	0.2	—	—	—
12	1901	6	24	16	2	130	0	28	0	7.5	—	1.0	1.0	—	—	—
13	1901	8	10	3	33	142	18	40	36	7.4	0.2	1.1	1.1	1.4	1.1	—
14	1901	9	30	19	19	141	54	40	12	6.9	—	0.7	0.7	—	—	—
15	1904	6	6	11	51	133	12	35	18	5.8	0.4	—	—	—	—	—
16	1905	6	2	14	39	132	30	34	6	6.9	—	0.9	0.9	—	—	—
17	1906	10	12	9	56	140	30	40	0	5.7	—	0.2	0.2	—	—	—
18	1909	3	13	23	29	141	30	34	30	7.5	0.8	0.9	—	—	0.9	—
19	1909	8	14	15	31	136	18	35	24	6.8	—	0.9	—	—	0.9	—
20	1910	10	13	23	56	141	0	36	12	6.3	0.4	—	—	—	—	—
21	1912	7	16	7	46	138	30	36	24	5.7	—	0.6	—	—	0.6	—
22	1913	4	13	15	40	132	0	32	0	6.8	0.1	—	—	—	—	—
23	1913	6	30	16	45	130	18	31	36	5.9	0.2	—	—	—	—	—
24	1914	3	15	4	59	140	24	39	30	7.1	—	0.9	—	—	0.9	—
25	1915	11	16	10	38	140	18	35	24	6.0	0.1	—	—	—	—	—
26	1913	11	11	16	4	137	54	36	30	6.5	0.6	—	—	—	—	—
27	1922	22	8	1	50	130	6	32	42	6.9	—	0.4	0.4	—	—	—
28	1923	7	13	20	13	131	12	30	36	7.1	—	0.5	0.5	—	—	—
29	1923	9	1	11	58	139	30	35	6	7.9	—	1.0	1.0	—	2.0	1.5
30	1923	9	2	11	46	140	12	34	54	7.3	1.3	0.2	0.2	1.1	—	—
31	1925	5	23	11	9	134	48	35	36	6.8	—	0.5	—	0.5	—	—

(2) 1926~1981年

番号	発 震 時 分					M ₀	D _{1,1} (0~60日)	D _{1,1} (0~90日)(0~1日)(1~7日)(7~30日)(30~90日)				
	年	月	日	時	分			(0~90日)	(0~1日)	(1~7日)	(7~30日)	(30~90日)
1	1927	3	7	18	27	7.3	***	0.8	1.0	1.6	0.8	1.9
2	1928	5	27	18	50	7.0	***	0.5	1.8	0.5	1.9	2.1
3	1929	5	22	1	35	6.9	***	1.9	1.9	2.2	***	***
4	1930	6	1	2	58	6.5	1.4	2.7	***	***	***	2.7
5	1930	10	17	6	36	6.3	***	1.9	***	1.9	***	***
6	1930	11	26	4	3	7.3	2.2	2.6	2.6	3.2	2.6	3.8
7	1930	12	29	23	2	6.1	***	1.7	***	1.7	***	***
8	1931	2	17	3	48	6.8	0.5	***	***	***	***	***
9	1931	3	9	12	49	7.6	2.1	2.0	***	2.8	2.7	2.0
10	1931	9	21	11	20	6.9	***	1.3	2.0	2.1	1.3	3.2
11	1931	11	2	19	3	7.1	***	1.3	1.3	***	***	3.1
12	1931	11	4	1	19	6.5	***	1.5	1.7	***	1.5	***
13	1932	11	26	13	24	7.0	***	1.4	1.7	***	1.4	***
14	1933	3	3	2	31	8.1	1.3	1.3	1.3	2.6	2.4	1.5
15	1933	6	19	6	37	7.1	2.2	2.2	***	2.2	2.9	***
16	1934	8	18	11	38	6.3	***	1.9	1.9	***	2.0	***
17	1935	7	11	17	24	6.4	***	2.1	***	***	***	2.1
18	1935	7	19	9	50	6.9	2.5	1.4	1.8	***	2.3	1.4
19	1935	10	13	1	45	6.9	1.9	1.0	***	1.0	***	***
20	1935	10	13	9	12	7.1	0.7	0.6	0.6	***	***	***
21	1936	2	21	10	8	6.4	***	2.2	2.2	3.3	3.2	***
22	1936	11	3	5	46	7.5	3.0	0.9	***	***	1.9	0.9
23	1936	12	27	9	14	6.3	***	1.3	1.3	***	***	***
24	1937	7	27	4	56	7.1	***	2.9	***	***	2.9	***
25	1938	1	12	0	12	6.8	2.0	1.3	2.0	***	1.8	***
26	1938	5	23	16	18	7.0	***	1.2	2.4	2.2	2.3	1.2
27	1938	9	22	3	52	6.5	0.9	1.3	***	***	1.8	***
28	1938	11	5	17	43	7.5	2.3	0.1	0.2	0.1	0.6	1.5
29	1939	3	20	12	22	6.5	***	2.0	2.2	***	2.0	***
30	1939	5	1	14	58	6.8	***	1.4	2.7	1.4	2.4	2.5
31	1941	7	15	23	45	6.1	***	2.3	2.5	2.3	***	***
32	1941	11	19	1	46	7.2	1.7	1.7	1.8	2.8	***	1.7
33	1943	3	4	19	13	6.2	***	0.4	0.5	2.0	0.4	1.4
34	1943	6	13	14	12	7.1	***	0.7	0.7	2.2	1.6	2.2
35	1943	8	12	13	50	6.2	***	0.9	0.9	***	0.9	***
36	1943	9	10	17	37	7.2	***	1.0	1.0	1.8	1.4	1.5
37	1943	10	13	14	43	5.9	***	***	***	***	***	***
38	1944	12	7	13	35	7.9	***	1.5	1.9	1.5	2.2	2.0
39	1945	1	13	3	38	6.8	0.9	0.9	1.7	0.9	1.5	1.9
40	1945	2	10	13	58	7.1	***	0.9	1.7	2.0	0.9	***
41	1946	12	21	4	19	8.0	4.2	1.7	1.7	2.1	2.3	1.7
42	1947	11	4	9	9	6.7	***	1.7	2.0	1.7	***	***
43	1948	4	18	1	11	7.0	***	2.0	2.6	***	***	2.0
44	1948	6	15	20	44	6.7	2.3	1.6	1.6	2.1	***	***
45	1948	6	28	16	13	7.1	***	1.3	1.3	2.2	2.1	2.2
46	1949	1	20	22	24	6.3	***	2.1	2.6	***	2.1	***
47	1949	7	12	1	10	6.2	***	2.2	***	***	***	2.2
48	1949	12	26	8	25	6.4	2.3	0.6	1.4	0.6	1.9	1.5
49	1950	4	26	16	5	6.5	***	2.5	***	***	***	2.5
50	1950	9	10	12	21	6.3	***	***	***	***	***	***
51	1951	1	9	3	32	6.1	***	1.6	1.6	***	2.1	***
52	1951	10	18	17	26	6.6	***	0.7	***	0.7	***	***
53	1952	3	4	10	23	8.2	2.7	1.1	1.1	2.2	2.0	1.7
54	1952	3	7	16	32	6.5	***	1.5	1.5	1.6	2.1	1.8
55	1952	3	10	2	4	6.8	1.0	1.1	***	***	1.1	***
56	1952	7	18	1	10	6.8	***	***	***	***	***	***
57	1953	11	26	2	49	7.4	***	1.3	***	2.1	1.8	2.1
58	1955	7	27	10	20	6.4	***	1.2	1.9	1.2	1.7	1.9
59	1956	2	14	9	53	5.9	***	***	***	***	***	***
60	1956	8	13	1	59	6.5	***	***	***	***	***	***

番号	発 震 時 分					M ₀	D _{1,1} (0~60日)	D _{2,1} (0~90日)(0~1日)(1~7日)(7~30日)(30~90日)				
	年	月	日	時	分			(0~90日)	(0~1日)	(1~7日)	(7~30日)	(30~90日)
61	1956	9	30	6	20	6.0	***	***	***	***	***	***
62	1956	9	30	8	21	6.3	1.8	***	***	***	***	***
63	1957	11	11	4	20	6.0	0.5	***	***	***	***	***
64	1959	1	22	14	10	6.8	***	***	***	***	***	***
65	1959	1	31	5	38	6.3	***	2.0	***	2.0	***	***
66	1959	10	26	16	35	6.8	***	1.6	***	1.6	***	***
67	1959	11	8	22	55	6.2	***	***	***	***	***	***
68	1960	3	21	2	7	7.2	1.6	0.5	1.2	0.5	1.7	1.7
69	1961	1	16	16	20	6.8	***	***	***	***	***	***
70	1961	2	27	3	10	7.0	2.4	***	***	***	***	***
71	1961	7	18	23	4	6.6	***	0.7	0.7	***	***	***
72	1961	8	19	14	33	7.0	***	2.0	2.0	***	***	***
73	1961	11	15	16	17	6.9	1.3	0.9	***	***	***	0.9
74	1962	4	12	9	53	6.8	***	0.4	2.0	1.2	0.4	***
75	1962	4	23	14	58	7.0	***	2.4	***	***	***	2.4
76	1962	4	30	11	26	6.5	***	1.7	1.8	1.7	2.1	2.1
77	1963	3	27	6	34	6.9	***	1.6	1.6	***	***	***
78	1963	10	4	8	24	6.3	***	1.4	***	***	1.4	***
79	1963	10	13	14	18	8.1	1.8	1.9	1.9	2.1	2.1	1.9
80	1963	10	20	9	54	6.7	0.5	0.9	***	***	***	0.9
81	1964	5	7	16	58	6.9	***	0.4	0.4	2.0	***	2.1
82	1964	5	31	9	40	6.7	***	1.7	***	1.7	***	***
83	1964	6	16	13	1	7.5	***	1.4	1.4	2.0	1.5	3.0
84	1964	12	11	0	11	6.3	***	1.0	1.0	2.1	1.3	***
85	1965	4	20	8	42	6.1	***	2.5	***	***	***	2.5
86	1967	11	4	23	30	6.5	***	0.8	0.8	2.8	***	***
87	1968	1	29	19	19	6.9	***	1.6	2.1	1.6	1.9	***
88	1968	2	21	10	45	6.1	2.1	0.4	2.1	1.4	2.0	0.4
89	1968	4	1	9	42	7.5	***	2.3	2.8	3.2	3.4	2.9
90	1968	5	16	9	42	7.9	2.6	1.2	1.2	1.6	1.7	1.5
91	1968	7	1	19	45	6.1	2.6	2.0	***	2.0	***	***
92	1968	8	6	1	17	6.6	***	1.3	1.3	2.2	1.8	2.5
93	1969	4	21	16	19	6.5	***	1.8	1.8	2.4	***	***
94	1969	8	12	6	28	7.8	***	1.6	2.2	1.6	2.2	2.3
95	1969	9	9	14	15	6.6	***	1.7	2.5	1.7	2.6	2.1
96	1970	1	21	2	33	6.7	***	1.9	1.9	2.3	2.6	2.2
97	1970	7	26	7	41	6.7	***	2.0	2.0	2.6	2.3	***
98	1970	10	16	14	26	6.2	***	1.3	1.3	***	2.6	2.2
99	1971	8	2	16	25	7.0	***	1.4	***	1.4	2.2	2.6
100	1972	8	31	17	7	6.0	***	1.5	***	2.1	1.5	***
101	1972	12	4	19	16	7.2	2.7	1.7	1.7	1.9	2.0	2.1
102	1973	6	17	12	55	7.4	3.1	1.3	1.3	1.6	1.6	2.4
103	1974	5	9	8	33	6.9	3.2	2.0	2.7	2.6	3.0	2.0
104	1975	1	23	23	19	6.1	0.6	1.1	1.2	1.1	1.8	2.4
105	1975	4	21	2	35	6.4	***	2.2	2.2	2.5	2.6	***
106	1975	6	10	22	47	7.0	***	1.8	2.0	1.8	***	***
107	1973	1	14	12	24	7.0	3.2	1.9	1.9	2.3	2.7	2.8
108	1973	3	23	12	15	7.0	1.6	1.2	1.2	1.4	1.5	1.8
109	1978	6	4	5	4	6.1	2.2	0.6	0.6	2.8	2.3	2.1
110	1978	6	12	17	14	7.4	3.7	1.1	2.3	1.1	1.6	2.3
111	1980	6	29	16	20	6.7	1.8	2.1	2.6	2.6	2.1	3.4

注) ***は項目に該当する地震がないか、もしくはマグニチュードが不明であることを示す。

表 3-4 最大前・余震のマグニチュードと本震のマグニチュード
の関係 — 回帰式およびその重相関係数 —

種 別	1885～1925年間の地震 データに基づく解析		1926～1981年間の地震 データに基づく解析	
	回 帰 式	重相関 係 数	回 帰 式	重相関 係 数
$M_{f,1} \sim M_0$	$M_{f,1} = 0.68M_0 + 1.65$	0.81	$M_{f,1} = 0.38 M_0 + 2.26$	0.26
	$M_{a1,1} = 0.36M_0 + 3.80$	0.48	$M_{a1,1} = 1.01 M_0 - 1.74$	0.66
	$M_{a2,1} = -0.03M_0 + 6.33$	-0.12	$M_{a2,1} = 0.98 M_0 - 1.78$	0.64
$M_{a1,1} \sim M_0$	$M_{a3,1} = 0.40M_0 + 3.13$	0.66	$M_{a3,1} = 0.90 M_0 - 1.20$	0.63
	$M_{a4,1} = -0.14M_0 + 7.30$	-0.20	$M_{a4,1} = 1.02 M_0 - 2.24$	0.68
	$M_{a5,1} = 0.49M_0 + 2.90$	0.66	$M_{a5,1} = 1.07 M_0 - 1.95$	0.68
$D_{f,1} \sim M_0$	$D_{f,1} = 0.32M_0 - 1.65$	0.54	$D_{f,1} = 0.62 M_0 - 2.36$	0.40
	$D_{a1,1} = 0.64M_0 - 3.80$	0.70	$D_{a1,1} = -0.01 M_0 + 1.74$	-0.01
	$D_{a2,1} = 1.03M_0 - 6.33$	0.97	$D_{a2,1} = 0.02 M_0 + 1.78$	0.01
$D_{a1,1} \sim M_0$	$D_{a3,1} = 0.60M_0 - 3.13$	0.80	$D_{a3,1} = 0.10 M_0 + 1.20$	0.10
	$D_{a4,1} = 1.14M_0 - 7.30$	0.85	$D_{a4,1} = -0.02 M_0 + 2.24$	-0.02
	$D_{a5,1} = 0.52M_0 - 2.90$	0.68	$D_{a5,1} = -0.07 M_0 + 1.95$	-0.06

表 3-5 最大前震、最大余震のマグニチュードと本震のマグニチュード
の差の平均値および標準偏差

本震のマグニチュード M_0 に対する差	$M_0 \geq 6.0$ の場合			$M_0 \geq 7.5$ の場合		
	地震回数	平 均	標準偏差	地震回数	平 均	標準偏差
$D_{f,1}$	39	1.98	0.90	8	2.50	0.87
$D_{a1,1}$	72	1.67	0.61	10	1.57	0.71
$D_{a2,1}$	68	1.89	0.66	11	1.98	0.82
$D_{a3,1}$	66	1.93	0.63	12	2.08	0.68
$D_{a4,1}$	57	2.06	0.63	12	1.91	0.60
$D_{a5,1}$	98	1.49	0.60	12	1.46	0.66

表3-6 本震のマグニチュード M_0 とマグニチュード4.0以上の前震の数 $N_{l,1}$
および余震の数 $N_{a,l,1}$ ($l=1, 2, \dots, 5$)の関係

(1) 1885~1925年

番号	発震時 年月日時分	震央 度分度分	深さ km	M_0	$\log N_l$ (0~60日)	$\log N_{a5}$ (0~90日)	$\log N_{a1}$ (0~1日)	$\log N_{a2}$ (1~7日)	$\log N_{a3}$ (7~30日)	$\log N_{a4}$ (30~90日)
1	1890 4 16 21 34	139 30 34 6	**	6.3	****	0.30	0.39	****	****	****
2	1891 10 23 6 38	136 36 35 36	**	8.0	****	0.78	0.43	0.00	0.00	0.00
3	1892 12 9 10 42	136 42 37 6	**	6.4	****	0.00	****	0.00	****	****
4	1894 3 22 19 23	146 0 42 30	**	7.9	****	0.30	****	0.00	****	0.00
5	1896 1 9 22 17	141 0 36 30	**	6.6	****	0.60	0.30	****	****	0.30
6	1896 6 15 19 32	144 0 39 30	**	6.8	****	0.43	0.30	****	****	0.00
7	1896 8 31 17 6	140 42 39 30	**	7.2	0.30	****	****	****	****	****
8	1897 8 5 9 10	143 18 38 18	**	7.6	****	0.30	0.00	****	****	0.00
9	1898 8 10 21 57	130 12 33 36	**	6.9	****	0.00	****	0.00	****	****
10	1899 5 8 12 29	146 12 42 48	**	6.9	****	0.00	****	****	****	0.00
11	1899 11 25 3 43	132 0 31 54	**	7.1	****	0.00	0.00	****	****	****
12	1901 6 24 16 2	130 0 28 0	**	7.5	****	0.00	0.00	****	****	****
13	1901 8 10 3 33	142 13 40 36	**	7.4	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	****
14	1901 9 30 19 19	141 54 40 12	**	6.9	****	0.00	0.00	****	****	****
15	1904 6 6 11 51	133 12 55 18	**	5.3	0.00	****	****	****	****	****
16	1905 6 2 14 39	132 30 34 6	**	6.9	****	0.00	0.00	****	****	****
17	1906 10 12 9 56	140 30 40 0	**	5.7	****	0.00	0.00	****	****	****
18	1909 3 13 23 29	141 30 34 30	**	7.5	0.30	0.00	****	****	0.00	****
19	1909 8 14 15 31	136 13 35 24	**	6.8	****	0.00	****	****	****	****
20	1910 10 13 23 56	141 0 36 12	**	6.3	0.00	****	****	****	****	****
21	1912 7 16 7 46	138 30 36 24	**	5.7	****	0.00	****	****	0.00	****
22	1913 4 13 15 40	132 0 32 0	**	6.8	0.00	****	****	****	****	****
23	1913 6 30 16 45	130 13 31 36	**	5.9	0.00	****	****	****	****	****
24	1914 3 15 4 59	140 24 39 30	**	7.1	****	0.00	****	****	0.00	****
25	1915 11 16 10 33	140 12 35 24	**	6.0	0.00	****	****	****	****	****
26	1918 11 11 16 4	137 54 36 30	**	6.5	0.00	****	****	****	****	****
27	1922 12 8 1 50	130 6 32 42	**	6.9	****	0.00	0.00	****	****	****
28	1923 7 13 20 13	131 12 30 36	**	7.1	****	0.00	0.00	****	****	****
29	1923 9 1 11 58	139 30 35 6	**	7.9	****	1.08	0.85	****	0.00	0.60
30	1923 9 2 11 46	140 12 34 54	**	7.3	0.00	0.30	0.00	0.00	****	****
31	1925 5 23 11 9	134 43 35 36	**	6.8	****	0.00	****	0.00	****	****

(2) 1926~1981年

番号	発震時 年月日時分	震央 度分度分	深さ km	M_0	$\log N_l$ (0~60日)	$\log N_{a5}$ (0~90日)	$\log N_{a1}$ (0~1日)	$\log N_{a2}$ (1~7日)	$\log N_{a3}$ (7~30日)	$\log N_{a4}$ (30~90日)
1	1927 3 7 18 27	135 9 35 32	0	7.3	****	1.36	0.85	0.95	0.60	0.43
2	1928 5 27 18 50	143 15 39 57	40	7.0	****	1.09	0.00	0.85	0.00	0.00
3	1929 5 22 1 35	132 5 31 40	20	6.9	****	0.30	0.00	0.00	****	****
4	1930 6 1 2 53	140 37 36 34	30	6.5	0.30	****	****	****	****	****
5	1930 10 17 6 36	136 17 35 18	0	6.3	****	0.00	****	0.00	****	****
6	1930 11 25 4 3	139 3 35 5	0	7.3	1.11	1.04	0.78	0.00	0.60	****
7	1930 12 20 23 2	132 37 34 49	0	6.1	****	0.00	****	0.00	****	****
8	1931 2 17 3 48	142 49 42 33	30	6.8	0.00	****	****	****	****	****
9	1931 3 9 12 49	142 30 41 12	0	7.6	0.00	0.78	****	0.00	0.00	0.69
10	1931 9 21 11 20	139 14 36 9	0	6.9	****	1.26	1.04	0.70	0.30	****
11	1931 11 2 19 3	132 38 32 15	40	7.1	****	0.30	0.00	****	****	0.00
12	1931 11 4 1 19	141 52 39 32	0	6.5	****	0.69	0.30	****	0.30	****
13	1932 11 26 13 24	142 29 42 25	20	7.0	****	0.48	0.30	****	0.00	****
14	1933 3 3 2 31	144 31 39 14	10	8.1	0.90	1.77	1.20	1.08	0.73	1.49
15	1933 6 19 6 37	142 30 33 5	0	7.1	0.00	0.43	****	0.30	0.00	****
16	1934 8 18 11 38	137 1 35 33	0	6.3	****	0.30	0.00	****	0.09	****
17	1935 7 11 17 24	133 25 34 58	10	6.4	****	0.00	****	****	****	0.00
18	1935 7 19 9 50	141 23 36 38	0	6.9	0.30	0.60	0.00	****	0.30	0.09
19	1935 10 13 1 45	143 42 39 58	0	6.9	0.00	0.30	****	0.30	****	****
20	1935 10 13 9 12	144 21 40 45	10	7.1	0.00	0.09	0.00	****	****	****

番号	発 震 時					震 央		深さ km	M ₀	log N _f (0~60日)	log N ₄₅ (0~90日)	log N ₃₁ (0~1日)	log N ₂₇ (1~7日)	log N ₂₃ (7~30日)	log N ₂₄ (30~90日)		
	年	月	日	時	分	度	分										
21	1936	2	21	10	3	135	43	34	35	0	6.4	****	0.00	0.00	****	****	****
22	1936	11	3	5	46	142	3	38	9	40	7.5	0.00	1.00	****	****	0.85	0.43
23	1936	12	27	9	14	139	?	34	25	0	6.3	****	0.78	0.78	****	****	****
24	1937	7	27	4	56	142	3	38	17	40	7.1	****	0.00	****	****	0.00	****
25	1938	1	12	0	12	135	4	33	35	0	6.3	0.00	0.30	0.00	****	0.00	****
26	1933	5	23	16	13	141	35	36	39	0	7.0	****	0.95	0.30	0.43	0.30	0.30
27	1938	9	22	3	52	141	1	36	24	30	6.5	0.43	0.43	****	****	0.43	****
28	1933	11	5	17	43	142	11	37	20	30	7.5	0.85	2.12	1.20	1.63	1.61	1.49
29	1939	3	20	12	22	131	58	32	17	20	6.5	****	0.30	0.00	****	0.00	****
30	1939	5	1	14	58	139	31	40	8	0	6.3	****	0.70	0.30	0.00	0.00	0.00
31	1941	7	15	23	45	138	14	36	43	0	6.1	****	****	****	****	****	****
32	1941	11	19	1	46	132	5	32	1	0	7.2	0.60	0.70	0.00	0.00	****	0.43
33	1943	3	4	19	13	134	13	35	26	0	6.2	****	1.00	0.30	0.30	0.43	0.48
34	1943	6	13	14	12	143	21	41	15	20	7.1	****	0.70	0.30	0.00	0.00	0.00
35	1943	8	12	13	50	139	55	37	19	0	6.2	****	0.48	0.00	****	0.30	****
36	1943	9	10	17	37	134	5	35	31	0	7.2	****	1.85	1.23	1.34	1.23	1.11
37	1943	10	13	14	43	138	5	36	46	0	5.9	****	****	****	****	****	****
38	1944	12	7	13	35	136	37	33	48	30	7.2	****	1.80	0.43	1.08	1.00	1.58
39	1945	1	13	3	33	137	4	34	41	0	6.3	0.85	1.67	1.00	1.32	1.08	0.60
40	1945	2	10	13	58	142	4	41	0	20	7.1	****	0.85	0.00	0.30	0.60	****
41	1946	12	21	4	19	135	37	33	2	20	3.0	****	1.72	0.90	1.03	1.26	1.15
42	1947	11	4	9	9	141	1	43	49	0	6.7	****	0.30	0.00	0.00	****	****
43	1948	4	13	1	11	135	37	33	17	0	7.0	****	0.48	0.00	****	****	0.30
44	1943	6	15	20	44	135	24	33	45	10	6.7	0.00	0.70	0.30	0.48	****	****
45	1948	6	23	16	13	136	12	36	10	0	7.1	****	1.57	1.23	0.95	0.73	0.70
46	1949	1	20	22	24	134	32	35	37	0	6.3	****	0.00	****	****	0.00	****
47	1949	7	12	1	10	132	41	34	4	40	6.2	****	0.00	****	****	****	0.00
48	1949	12	26	8	25	139	47	36	35	0	6.4	0.00	1.32	0.78	0.85	0.85	0.00
49	1950	4	26	16	5	135	40	33	55	40	6.5	****	0.00	****	****	****	0.00
50	1950	9	10	12	21	140	19	35	10	0	6.3	****	****	****	****	****	****
51	1951	1	9	3	32	140	9	35	24	50	6.1	****	0.30	0.00	****	0.00	****
52	1951	10	13	17	26	142	11	41	18	20	6.6	****	0.00	****	0.00	****	****
53	1952	3	4	10	23	144	8	41	48	0	3.2	0.00	1.63	0.95	1.26	0.90	1.11
54	1952	3	7	16	32	136	12	36	29	0	6.5	****	1.32	0.43	1.00	0.30	0.78
55	1952	3	10	2	4	143	43	41	42	20	6.8	0.00	0.00	****	****	0.00	****
56	1952	7	18	1	10	135	47	34	27	60	6.3	****	****	****	****	****	****
57	1953	11	26	2	49	141	43	33	59	60	7.4	****	1.15	****	0.90	0.48	0.43
58	1955	7	27	10	20	134	19	33	44	10	6.4	****	0.85	0.00	0.43	0.00	0.30
59	1956	2	14	9	53	139	56	35	43	60	5.9	****	****	****	****	****	****
60	1956	8	13	1	59	138	43	33	43	60	6.5	****	****	****	****	****	****
61	1956	9	30	6	20	140	37	37	58	20	6.0	****	****	****	****	****	****
62	1956	9	30	8	21	140	8	35	40	60	6.3	0.00	****	****	****	****	****
63	1957	11	11	4	20	139	13	34	14	0	6.0	0.30	****	****	****	****	****
64	1959	1	22	14	10	142	14	37	31	40	6.3	****	****	****	****	****	****
65	1959	1	31	5	38	144	35	43	16	0	6.3	****	0.00	****	0.00	****	****
66	1959	10	26	16	35	143	15	37	23	10	6.3	****	0.00	****	0.00	****	****
67	1959	11	3	22	55	140	41	43	47	0	6.2	****	****	****	****	****	****
68	1960	3	21	2	7	143	26	39	50	0	7.2	0.30	1.82	1.11	1.48	1.11	1.00
69	1961	1	16	16	20	142	16	36	2	40	6.3	****	****	****	****	****	****
70	1961	2	27	3	10	131	51	31	36	40	7.0	0.00	****	****	****	****	****
71	1961	7	13	23	4	131	46	29	37	60	6.6	****	0.00	0.00	****	****	****
72	1961	8	19	14	33	136	46	36	1	0	7.0	****	0.00	0.00	****	****	****
73	1961	11	15	16	17	145	34	42	39	60	6.9	0.00	0.00	****	****	****	0.00
74	1962	4	12	9	53	142	49	37	58	40	6.8	****	0.70	0.00	0.30	0.30	****
75	1962	4	23	14	53	143	55	42	14	60	7.0	****	0.30	****	****	****	0.30
76	1962	4	30	11	26	141	8	38	44	0	6.5	****	1.04	0.30	0.43	0.30	0.60
77	1963	3	27	6	34	135	46	35	47	0	6.9	****	0.48	0.43	****	****	****
78	1963	10	4	8	24	132	9	31	53	20	6.3	****	0.00	****	****	0.00	****
79	1963	10	13	14	13	149	58	43	45	20	8.1	0.90	1.51	0.70	1.00	1.04	0.73
80	1963	10	20	9	54	150	8	44	8	0	6.7	0.48	0.00	****	****	****	0.00
81	1964	5	7	16	53	139	0	40	20	0	6.9	****	0.70	0.00	0.43	****	0.00
82	1964	5	31	9	40	147	14	43	16	60	6.7	****	0.30	****	0.30	****	****
83	1964	6	16	13	1	139	11	38	21	40	7.5	****	1.39	1.59	1.23	1.11	0.90
84	1964	12	11	0	11	138	56	40	25	40	6.3	****	0.60	0.00	0.00	0.30	****
85	1965	4	20	3	42	138	13	34	53	20	6.1	****	****	****	****	****	****

番号	発 震 時					震 央			深さ km	M ₀	log N _f (0~60日)	log N _{a5} (0~90日)	log N _{a1} (0~1日)	log N _{a2} (1~7日)	log N _{a3} (7~30日)	log N _{a4} (30~90日)	
	年	月	日	時	分	度	分	度									
86	1967	11	4	23	30	144	16	43	29	20	6.5	****	0.30	0.30	****	****	****
87	1963	1	29	19	19	147	0	43	11	30	6.9	****	1.00	0.60	0.70	0.00	****
88	1963	2	21	10	45	130	43	32	1	0	6.1	0.00	1.11	0.30	0.60	0.30	0.90
89	1968	4	1	9	42	132	32	32	17	30	7.5	****	0.60	0.00	0.60	0.00	0.00
90	1963	5	16	9	42	143	35	40	44	0	7.9	0.60	2.26	1.38	1.66	1.63	1.81
91	1963	7	1	19	45	139	26	35	59	50	6.1	****	0.00	****	0.00	****	****
92	1968	8	6	1	17	132	23	33	18	40	6.6	****	1.11	0.78	0.60	0.30	0.00
93	1969	4	21	16	19	132	7	32	9	10	6.5	****	0.60	0.48	0.00	****	****
94	1969	8	12	6	23	147	37	42	42	30	7.3	****	1.91	1.15	1.52	1.46	0.73
95	1969	9	9	14	15	137	4	35	47	0	6.6	****	1.23	0.70	1.08	0.00	0.00
96	1970	1	21	2	33	143	8	42	23	50	6.7	****	1.00	0.00	0.60	0.30	0.48
97	1970	7	25	7	41	132	2	32	4	10	6.7	****	0.48	0.00	0.00	0.00	****
98	1970	10	16	14	26	140	45	39	12	0	6.2	****	0.60	0.43	****	****	0.00
99	1971	8	2	16	25	143	42	41	14	60	7.0	****	0.60	****	0.00	0.30	0.00
100	1972	8	31	17	7	136	46	35	53	10	6.0	****	0.30	****	****	0.30	****
101	1972	12	4	19	16	141	5	33	12	50	7.2	0.00	1.59	1.08	1.00	0.78	1.04
102	1973	6	17	12	55	145	57	42	58	40	7.4	0.00	1.51	0.70	1.00	1.04	0.73
103	1974	5	9	8	33	138	43	34	34	10	6.9	****	0.73	0.00	0.43	****	0.30
104	1975	1	23	23	19	131	8	33	0	0	6.1	0.30	0.70	0.43	0.00	0.00	****
105	1975	4	21	2	35	131	20	33	8	0	6.4	****	0.00	0.00	****	****	****
106	1975	6	10	22	47	148	13	42	46	0	7.0	****	0.85	0.00	0.73	****	****
107	1973	1	14	12	24	139	15	34	46	0	7.0	****	0.95	0.60	0.30	0.00	0.30
108	1978	3	23	12	15	149	13	44	19	60	7.0	0.30	1.32	0.30	1.18	0.30	0.30
109	1978	6	4	5	4	132	42	35	5	0	6.1	****	0.85	0.73	****	****	0.00
110	1978	6	12	17	14	142	10	38	9	40	7.4	****	1.41	0.73	0.95	0.43	0.90
111	1980	6	29	16	20	139	14	34	55	10	6.7	0.60	0.70	0.00	0.30	0.30	****

注) ★★★は項目に該当する地震がないことを示す。

表 3-7 前震および余震の回数と本震のマグニチュードの関係
— 回帰式および重相関係数 —

種 別	1885~1925年間の地震 データに基づく解析		1926~1981年間の地震 データに基づく解析	
	回 帰 式	重相関係数	回 帰 式	重相関係数
$N_f \sim M_0$	$\log N_f = 0.11M_0 - 0.64$	0.57	$\log N_f = 0.17M_0 - 0.92$	0.29
$N_{a1} \sim M_0$	$\log N_{a1} = 0.18M_0 - 1.17$	0.40	$\log N_{a1} = 0.41M_0 - 2.39$	0.48
	—	—	$\log N_{a2} = 0.57M_0 - 3.39$	0.58
	—	—	$\log N_{a3} = 0.51M_0 - 3.08$	0.61
	$\log N_{a4} = 0.07M_0 - 0.39$	0.17	$\log N_{a4} = 0.56M_0 - 3.45$	0.63
	$\log N_{a5} = 0.24M_0 - 1.49$	0.49	$\log N_{a5} = 0.73M_0 - 4.23$	0.61

表 3-8 最大前震から本震までの経過時間 ($T_{f,i}$ (hr)) および
本震から期間別最大余震までの経過時間 ($T_{a,i}$ (hr))

(1) 1885~1925年

番号	発震時 年月日時分	震央 度分度分	深さ km	M_0	$\log T_{f,i}$ (0~60日)	$\log T_{a5,i}$ (0~90日)	$\log T_{a1,i}$ (0~1日)	$\log T_{a2,i}$ (1~7日)	$\log T_{a3,i}$ (7~30日)	$\log T_{a4,i}$ (30~90日)
1	1890 4 15 21 34	139 30 34 6	**	6.3	*****	0.87	0.87	*****	*****	*****
2	1891 10 23 6 33	136 36 35 36	**	3.0	*****	0.60	0.60	1.62	2.35	3.21
3	1892 12 9 10 42	136 42 37 6	**	6.4	*****	1.59	*****	1.59	*****	*****
4	1894 3 22 19 23	146 0 42 30	**	7.9	*****	2.91	*****	2.22	*****	2.91
5	1896 1 9 22 17	141 0 36 30	**	6.6	*****	3.03	0.88	*****	*****	3.03
6	1896 6 15 19 32	144 0 39 30	**	6.3	*****	3.29	0.94	*****	*****	3.29
7	1896 8 31 17 6	140 42 39 30	**	7.2	-0.32	*****	*****	*****	*****	*****
8	1897 8 5 9 10	143 18 33 18	**	7.5	*****	3.15	1.37	*****	*****	3.15
9	1898 8 10 21 57	130 12 33 36	**	6.0	*****	1.54	*****	1.54	*****	*****
10	1899 5 3 12 29	146 12 42 48	**	6.7	*****	3.13	*****	*****	*****	3.18
11	1899 11 25 3 43	132 0 31 54	**	7.1	*****	-0.70	-0.70	*****	*****	*****
12	1901 6 24 16 2	130 0 28 0	**	7.5	*****	0.82	0.82	*****	*****	*****
13	1901 8 10 3 33	142 12 40 36	**	7.4	0.96	0.16	0.16	1.61	2.63	*****
14	1901 9 30 19 19	141 54 40 12	**	6.9	*****	-0.38	-0.38	*****	*****	*****
15	1904 6 6 11 51	133 12 35 18	**	5.8	0.91	*****	*****	*****	*****	*****
16	1905 6 2 14 39	132 30 34 6	**	6.9	*****	0.72	0.72	*****	*****	*****
17	1906 10 12 9 55	140 39 40 0	**	5.7	*****	-0.83	-0.83	*****	*****	*****
18	1909 3 13 23 29	141 39 34 30	**	7.5	1.13	2.35	*****	*****	2.35	*****
19	1909 8 14 15 31	136 19 35 24	**	6.8	*****	2.38	*****	*****	2.33	*****
20	1910 10 13 23 56	141 0 35 12	**	6.3	2.62	*****	*****	*****	*****	*****
21	1912 7 16 7 45	138 30 36 24	**	5.7	*****	2.89	*****	*****	2.89	*****
22	1913 4 13 15 49	132 0 32 0	**	6.8	2.39	*****	*****	*****	*****	*****
23	1913 6 30 16 45	130 18 31 36	**	5.9	1.37	*****	*****	*****	*****	*****
24	1914 3 15 4 59	140 24 39 30	**	7.1	*****	2.49	*****	*****	2.49	*****
25	1915 11 16 10 38	140 18 35 24	**	6.0	2.01	*****	*****	*****	*****	*****
26	1913 11 11 16 4	137 54 36 30	**	6.5	1.12	*****	*****	*****	*****	*****
27	1922 12 3 1 50	130 6 32 42	**	6.9	*****	0.96	0.96	*****	*****	*****
28	1923 7 13 20 13	131 12 30 36	**	7.1	*****	1.10	1.10	*****	*****	*****
29	1923 9 1 11 58	139 30 35 6	**	7.2	*****	-0.12	-0.12	*****	2.24	2.39
30	1923 9 2 11 45	140 12 34 54	**	7.3	1.11	0.82	0.82	2.13	*****	*****
31	1925 5 23 11 9	134 48 35 36	**	6.8	*****	1.79	*****	1.79	*****	*****

(2) 1926~1981年

番号	発震時 年月日時分	震央 度分度分	深さ km	M_0	$\log T_{f,i}$ (0~60日)	$\log T_{a5,i}$ (0~90日)	$\log T_{a1,i}$ (0~1日)	$\log T_{a2,i}$ (1~7日)	$\log T_{a3,i}$ (7~30日)	$\log T_{a4,i}$ (30~90日)
1	1927 3 7 18 27	135 9 35 32	0	7.3	*****	2.77	-0.55	1.93	2.77	2.33
2	1923 5 27 18 50	143 15 39 57	40	7.0	*****	2.09	0.05	2.09	2.64	3.19
3	1929 5 22 1 35	132 5 31 40	20	6.9	*****	-0.42	-0.42	1.73	*****	*****
4	1930 6 1 2 53	140 37 36 34	30	6.5	3.07	3.11	*****	*****	*****	3.11
5	1930 10 17 6 36	136 17 36 13	0	6.3	*****	1.83	*****	1.88	*****	*****
6	1930 11 26 4 5	139 3 35 5	0	7.3	1.08	0.73	0.73	1.73	2.79	3.20
7	1930 12 20 23 2	132 37 34 49	0	6.1	*****	1.57	*****	1.57	*****	*****
8	1931 2 17 3 43	142 49 42 33	30	5.3	3.00	*****	*****	*****	*****	*****
9	1931 3 2 12 49	142 30 41 12	0	7.5	3.03	3.22	*****	2.04	2.34	3.22
10	1931 9 21 11 20	139 14 36 9	0	6.9	*****	2.45	0.65	1.79	2.45	3.14
11	1931 11 2 19 3	132 38 32 15	40	7.1	*****	0.23	0.23	*****	*****	3.01
12	1931 11 4 1 19	141 52 39 32	0	6.5	*****	2.37	-1.09	*****	2.37	*****
13	1932 11 25 13 24	142 23 42 25	20	7.0	2.49	2.70	0.51	1.59	2.70	*****
14	1933 3 3 2 31	144 31 39 14	10	8.1	3.12	0.50	0.50	1.63	2.36	2.95
15	1933 6 19 6 37	142 30 38 5	0	7.1	2.79	2.01	*****	2.01	2.64	*****
16	1934 3 13 11 33	137 1 35 38	0	6.3	*****	0.06	0.06	*****	2.80	*****
17	1935 7 11 17 24	132 25 34 53	10	6.4	*****	3.03	0.90	*****	*****	3.03
18	1935 7 19 9 50	141 23 36 33	0	6.9	1.78	3.14	0.30	*****	2.59	3.14
19	1935 10 13 1 45	143 42 39 53	0	6.9	3.01	2.19	*****	2.19	*****	*****
20	1935 10 13 9 12	144 21 40 45	10	7.1	2.07	1.17	1.17	*****	*****	*****

番号	発 震 時				震 央			深さ km	M ₀	log T _{f,1} (0~60日)	log T _{2,1} (0~90日)	log T _{3,1} (0~1日)	log T _{4,1} (1~7日)	log T _{5,1} (7~30日)	log T _{6,1} (30~90日)	
	年	月	日	時 分	度	分	度									分
21	1936	2	21	10 8	135	43	34 35	0	6.4	*****	0.01	0.01	1.81	2.41	*****	
22	1936	11	3	5 45	142	8	33 9	40	7.5	2.58	3.20	*****	*****	2.66	3.20	
23	1936	12	27	9 14	139	2	34 25	0	5.3	*****	0.14	0.14	*****	*****	*****	
24	1937	7	27	4 56	142	3	33 17	40	7.1	2.99	2.63	*****	*****	2.63	*****	
25	1938	1	12	0 12	135	4	33 35	0	5.3	3.11	2.49	0.37	*****	2.49	*****	
26	1938	5	23	16 13	141	35	36 39	0	7.0	3.10	3.03	0.77	1.81	2.35	3.03	
27	1938	9	22	3 52	141	1	36 24	30	6.5	2.63	2.46	*****	*****	2.46	*****	
28	1938	11	5	17 43	142	11	37 20	30	7.5	2.80	1.33	0.33	1.38	2.60	3.06	
29	1939	3	20	12 22	131	53	32 17	20	6.5	*****	2.39	0.15	*****	2.30	*****	
30	1939	5	1	14 53	139	31	40 8	0	6.3	*****	1.53	1.06	1.53	2.53	2.93	
31	1941	7	15	23 45	138	14	36 43	0	6.1	*****	1.66	1.01	1.65	*****	*****	
32	1941	11	19	1 46	132	5	32 1	0	7.2	2.06	3.21	0.03	1.97	*****	3.21	
33	1943	3	4	19 13	134	13	35 26	0	6.2	*****	2.29	-0.44	1.43	2.29	3.16	
34	1943	6	13	14 12	143	21	41 15	20	7.1	*****	-0.12	-0.12	2.09	2.29	3.15	
35	1943	8	12	13 50	139	55	37 19	0	5.2	*****	1.35	1.35	1.77	2.58	*****	
36	1943	9	10	17 37	134	5	35 31	0	7.2	*****	1.22	1.22	1.61	2.62	2.95	
37	1943	10	13	14 43	138	5	36 46	0	5.9	*****	3.05	*****	*****	*****	3.05	
38	1944	12	7	13 35	136	37	33 48	30	7.9	2.52	2.19	-0.50	2.19	2.36	2.92	
39	1945	1	13	3 33	137	4	34 41	0	6.3	1.56	1.63	1.21	1.63	2.36	3.22	
40	1945	2	10	13 53	142	4	41 0	20	7.1	3.07	2.27	1.31	1.54	2.27	*****	
41	1946	12	21	4 19	135	37	33 2	20	8.0	2.95	0.54	0.54	1.94	2.53	3.13	
42	1947	11	4	9 9	141	1	43 49	0	6.7	*****	2.20	0.91	2.20	*****	*****	
43	1948	4	13	1 11	135	37	33 17	0	7.0	*****	2.93	0.33	*****	*****	2.93	
44	1948	6	15	20 44	135	24	33 45	10	6.7	3.15	-0.70	-0.70	1.66	2.33	*****	
45	1948	6	23	16 13	136	12	36 10	0	7.1	*****	-1.09	-1.00	2.15	2.45	3.05	
46	1949	1	20	22 24	134	32	35 37	0	6.3	*****	2.46	-0.88	2.07	2.46	*****	
47	1949	7	12	1 10	132	41	34 4	40	5.2	*****	3.30	*****	*****	*****	3.30	
48	1949	12	25	8 25	139	47	36 35	0	6.4	3.12	1.53	0.39	1.53	2.49	3.12	
49	1950	4	26	16 5	135	40	33 55	40	6.5	2.98	2.99	*****	*****	*****	2.99	
50	1950	9	10	12 21	140	19	35 10	0	5.3	2.72	*****	*****	*****	*****	*****	
51	1951	1	9	3 32	140	9	35 24	50	6.1	2.15	1.36	1.36	*****	2.70	3.23	
52	1951	10	13	17 26	142	11	41 18	20	6.5	*****	1.43	*****	1.43	*****	*****	
53	1952	3	4	10 23	144	8	41 48	0	8.2	3.12	-0.55	-0.55	1.59	2.41	3.27	
54	1952	3	7	16 32	136	12	36 29	0	6.5	*****	-0.88	-0.88	2.20	2.44	3.21	
55	1952	3	10	2 4	143	43	41 42	20	6.3	1.74	2.24	*****	*****	2.24	3.02	
56	1952	7	13	1 19	135	47	34 27	60	5.3	*****	0.82	0.82	*****	*****	*****	
57	1953	11	26	2 49	141	43	33 59	60	7.4	*****	2.37	0.65	1.75	2.37	3.10	
58	1955	7	27	10 20	134	19	33 44	10	6.4	3.14	1.84	0.60	1.84	2.63	3.11	
59	1956	2	14	9 53	139	56	35 43	60	5.9	2.47	3.33	*****	*****	*****	3.33	
60	1956	8	13	1 59	138	48	33 48	60	6.5	*****	1.72	*****	1.72	2.34	*****	
61	1956	9	30	6 20	140	37	37 58	20	6.0	*****	-0.50	-0.50	*****	*****	*****	
62	1956	9	30	8 21	140	8	35 40	60	6.3	3.03	0.16	0.16	*****	*****	2.94	
63	1957	11	11	4 20	139	13	34 14	0	6.0	1.04	0.02	0.02	*****	2.44	*****	
64	1959	1	22	14 10	142	14	37 31	40	6.3	*****	1.81	*****	1.81	2.30	2.94	
65	1959	1	31	5 33	144	35	43 16	0	6.3	*****	2.09	*****	2.09	*****	*****	
66	1959	10	25	16 35	143	15	37 28	10	5.3	*****	1.59	*****	1.59	*****	*****	
67	1959	11	3	22 55	140	41	43 47	0	6.2	*****	2.02	*****	2.02	*****	*****	
68	1960	3	21	2 7	143	26	39 50	0	7.2	0.54	1.74	0.37	1.74	2.40	3.33	
69	1961	1	16	16 29	142	16	36 2	40	6.3	*****	0.31	0.31	1.41	*****	3.31	
70	1961	2	27	3 10	131	51	31 36	40	7.0	3.14	0.19	0.19	1.41	*****	3.19	
71	1961	7	18	23 4	131	46	29 37	60	6.6	*****	-0.30	-0.30	1.63	*****	*****	
72	1961	8	19	14 33	136	46	36 1	0	7.0	*****	-0.60	-0.60	1.42	2.25	2.95	
73	1961	11	15	16 17	145	34	42 39	60	6.9	3.05	3.12	*****	*****	*****	3.12	
74	1962	4	12	9 53	142	49	37 58	40	6.3	3.10	2.51	1.35	2.15	2.51	*****	
75	1962	4	23	14 58	143	55	42 14	50	7.0	*****	3.11	*****	*****	*****	3.11	
76	1962	4	30	11 26	141	8	33 44	0	6.5	*****	2.07	0.74	2.07	2.52	2.91	
77	1963	3	27	6 34	135	46	35 47	0	5.9	*****	0.97	0.97	1.42	2.30	2.90	
78	1963	10	4	8 24	122	9	31 53	20	6.3	*****	2.57	*****	*****	2.57	*****	
79	1963	10	13	14 18	149	58	43 45	20	8.1	1.25	1.03	1.03	2.12	2.84	2.91	
80	1963	10	20	9 54	150	3	44 8	0	6.7	2.18	3.23	*****	*****	*****	3.23	
81	1964	5	7	16 58	139	0	40 20	0	6.9	*****	1.09	1.09	1.61	2.59	2.97	
82	1964	5	31	9 40	147	14	43 16	60	5.7	*****	1.62	*****	1.62	*****	*****	
83	1964	6	16	13 1	139	11	38 21	40	7.5	*****	-0.57	-0.57	1.39	2.79	2.89	
84	1964	12	11	0 11	138	56	40 25	40	6.3	*****	0.92	0.92	2.00	2.66	*****	
85	1965	4	20	8 42	138	13	34 53	20	6.1	*****	3.12	*****	*****	*****	3.12	

番号	発震時				震央		深さ km	M ₀	log N _f	log N ₅	log N ₁	log N ₂	log N ₃	log N ₄
	年	月	日	時 分	度	分 度 分			(0~60日)	(0~90日)	(0~1日)	(1~7日)	(7~30日)	(30~90日)
86	1967	11	4	23 30	144	16 43 29	20	6.5	*****	-0.60	-0.60	1.97	*****	*****
87	1963	1	29	19 19	147	0 43 11	30	6.9	*****	1.87	1.30	1.37	2.34	*****
88	1963	2	21	10 45	130	43 32 1	0	6.1	0.19	2.89	0.32	2.01	2.81	2.37
89	1963	4	1	9 42	132	32 32 17	30	7.5	*****	0.86	0.86	1.60	2.67	3.14
90	1968	5	16	9 42	143	35 40 44	0	7.9	2.53	1.35	1.35	2.21	2.31	2.87
91	1968	7	1	19 45	139	26 35 59	50	6.1	2.72	1.85	*****	1.85	*****	*****
92	1968	8	6	1 17	132	23 33 18	40	6.6	*****	1.08	1.08	1.69	2.63	3.07
93	1967	4	21	16 19	132	7 32 9	10	6.5	*****	0.56	0.56	1.80	*****	*****
94	1969	8	12	6 23	147	37 42 42	30	7.8	*****	1.81	0.16	1.81	2.76	3.07
95	1969	9	9	14 15	137	4 35 47	0	6.6	*****	1.54	-0.73	1.54	2.40	2.86
96	1970	1	21	2 33	143	8 42 23	50	6.7	*****	1.29	1.29	1.51	2.37	2.91
97	1970	7	26	7 41	132	2 32 4	10	6.7	*****	-0.52	-0.52	2.13	2.75	*****
98	1970	10	15	14 25	140	45 39 12	0	6.2	*****	0.72	0.72	*****	2.71	3.24
99	1971	8	2	16 25	143	42 41 14	60	7.0	*****	1.61	*****	1.61	2.76	3.21
100	1972	8	31	17 7	136	46 35 53	10	6.0	*****	2.23	*****	1.88	2.23	*****
101	1972	12	4	19 16	141	5 33 12	50	7.2	2.73	0.66	0.66	1.75	2.41	3.21
102	1973	6	17	12 55	145	57 42 58	40	7.4	1.43	1.22	1.22	2.09	2.46	3.05
103	1974	5	9	3 33	138	48 34 34	10	6.9	2.90	3.17	-0.46	1.73	2.58	3.17
104	1975	1	23	23 19	131	8 33 0	0	6.1	1.53	1.54	-0.70	1.54	2.24	3.01
105	1975	4	21	2 35	131	20 33 8	0	6.4	*****	0.10	0.10	1.84	2.39	*****
106	1975	6	19	22 47	142	13 42 46	0	7.0	*****	1.59	0.84	1.59	*****	*****
107	1978	1	14	12 24	139	15 34 46	0	7.0	0.62	0.11	0.11	1.70	2.58	3.15
108	1978	3	23	12 15	149	13 44 19	60	7.0	1.39	0.70	0.70	1.63	2.56	3.31
109	1978	6	4	5 4	132	42 35 5	0	6.1	2.30	0.11	0.11	1.86	2.32	2.90
110	1979	6	12	17 14	142	10 38 9	40	7.4	3.13	1.71	0.16	1.71	2.34	3.03
111	1980	6	29	16 20	139	14 34 55	10	6.7	1.77	2.83	-0.57	2.22	2.83	3.23

注) ★★ ★★は項目に該当する地震がないことを示す。

表 3-9 本震の発震時間と最大前震および最大余震の発震時間の差
～本震のマグニチュードの関係

種 別	1885～1925年間の地震データに基づく解析		1926～1981年間の地震データに基づく解析	
	回 帰 式	重相関係数	回 帰 式	重相関係数
T _f ～ M ₀	log T _{f,1} = -0.50M ₀ + 4.65	-0.39	log T _{f,1} = 0.18M ₀ + 1.12	0.14
T _{a1,1} ～ M ₀	log T _{a1,1} = 0.42M ₀ - 2.54	0.34	log T _{a1,1} = 0.14M ₀ - 0.62	0.11
	log T _{a2,1} = 0.20M ₀ + 0.37	0.51	log T _{a2,1} = 0.02M ₀ + 1.65	0.05
	log T _{a3,1} = -0.23M ₀ + 4.13	-0.81	log T _{a3,1} = 0.03M ₀ + 2.33	0.08
	log T _{a4,1} = -0.02M ₀ + 3.23	-0.09	log T _{a4,1} = -0.12M ₀ + 4.01	-0.49
	log T _{a5,1} = -0.09M ₀ + 1.98	-0.04	log T _{a5,1} = -0.09M ₀ + 0.21	-0.09

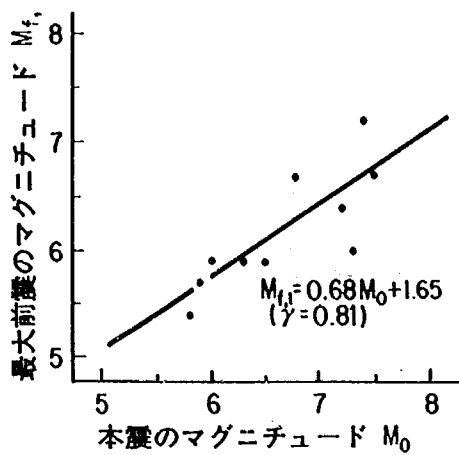


図 3-1 本震のマグニチュードと最大前震のマグニチュードとの関係 (1885~1925年)

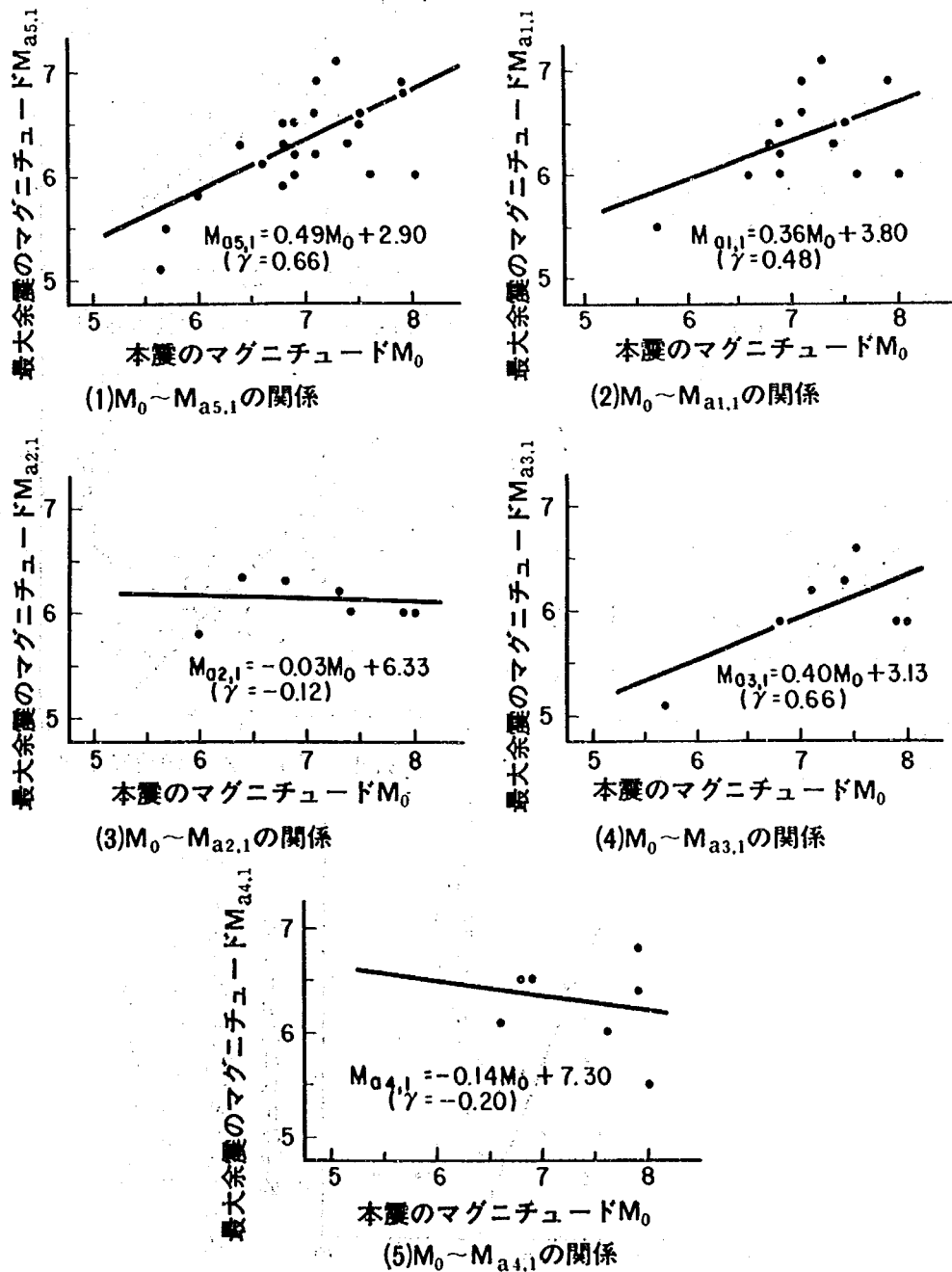


図 3-2 本震のマグニチュードと最大余震のマグニチュードとの関係 (1885~1925年)

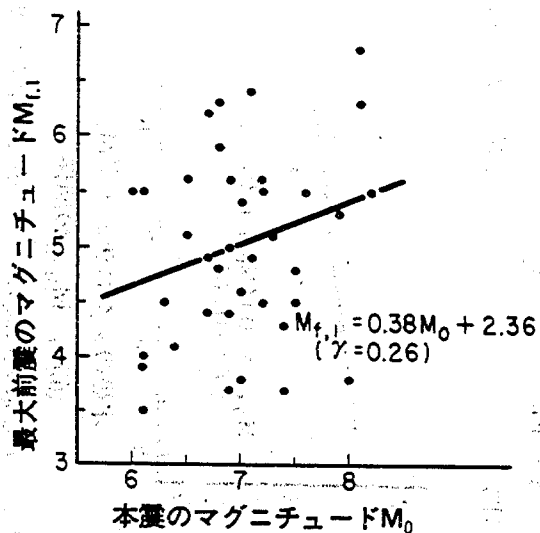
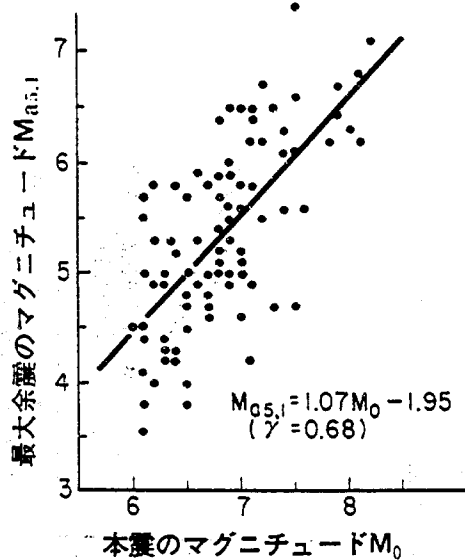
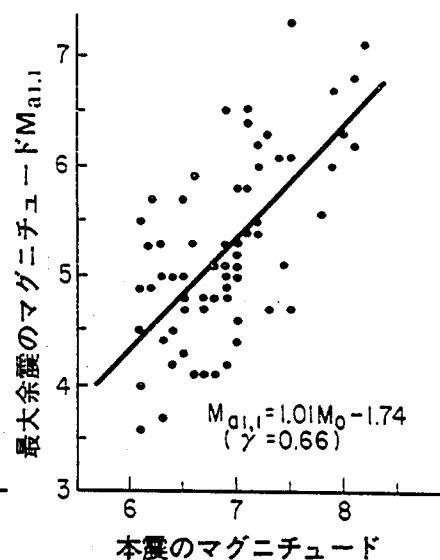


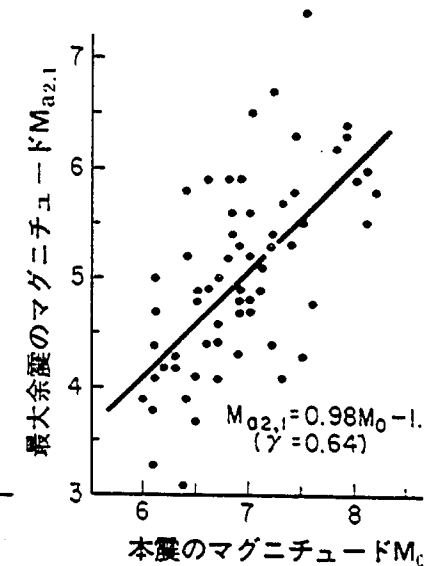
図 3-3 本震のマグニチュードと最大前震のマグニチュードとの関係 (1926~1981 年)



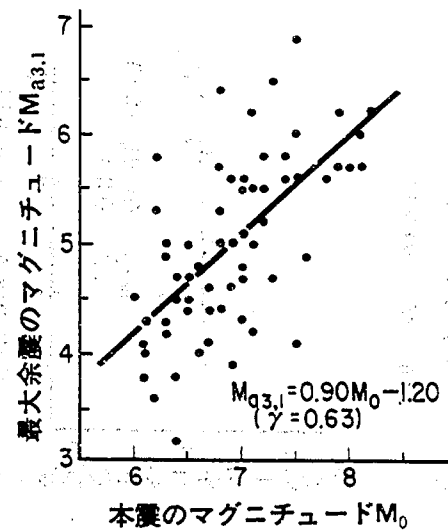
(1) $M_0 \sim M_{a5,1}$ の関係



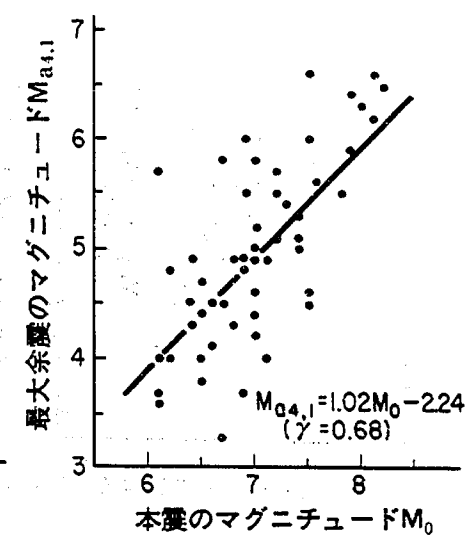
(2) $M_0 \sim M_{a1,1}$ の関係



(3) $M_0 \sim M_{a2,1}$ の関係



(4) $M_0 \sim M_{a3,1}$ の関係



(5) $M_0 \sim M_{a4,1}$ の関係

図 3-4 本震のマグニチュードと最大余震のマグニチュードとの関係 (1926~1981 年)

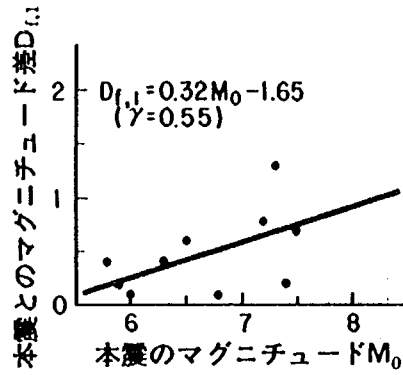


図3-5 最大前震と本震のマグニチュードの差～本震のマグニチュードとの関係(1885～1925年)

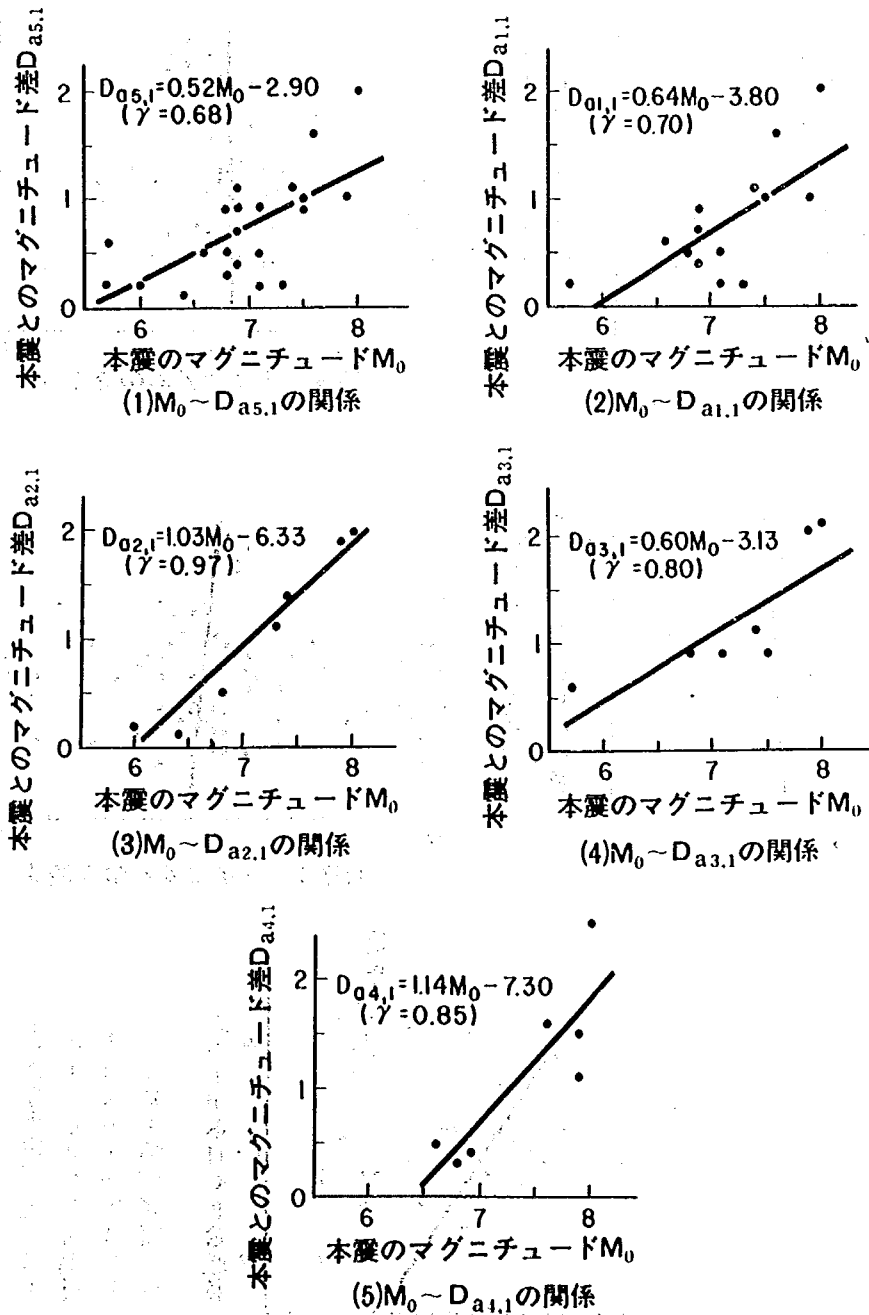


図3-6 最大余震と本震のマグニチュードの差～本震のマグニチュードとの関係(1885～1925年)

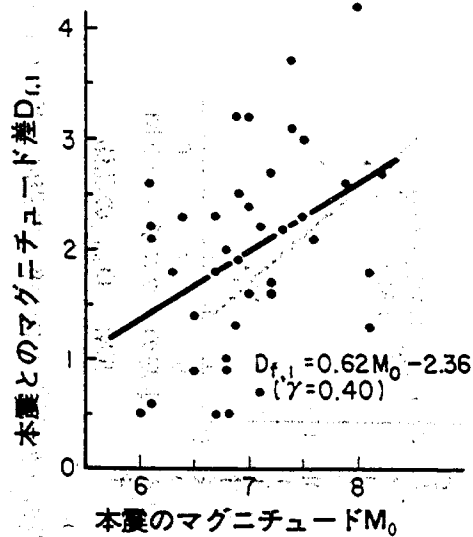


図 3-7 最大前震と本震の
マグニチュードの差～
本震のマグニチュード
との関係 (1926～1981年)

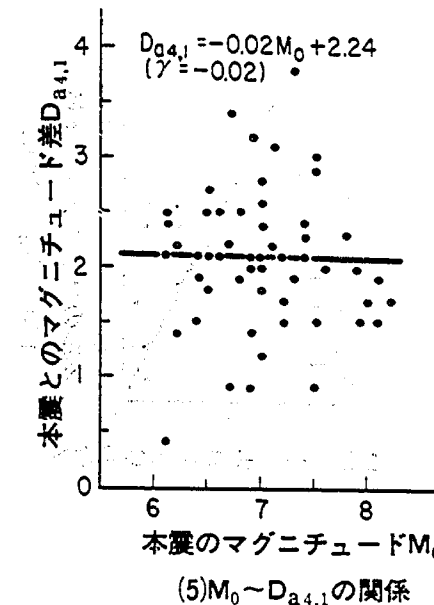
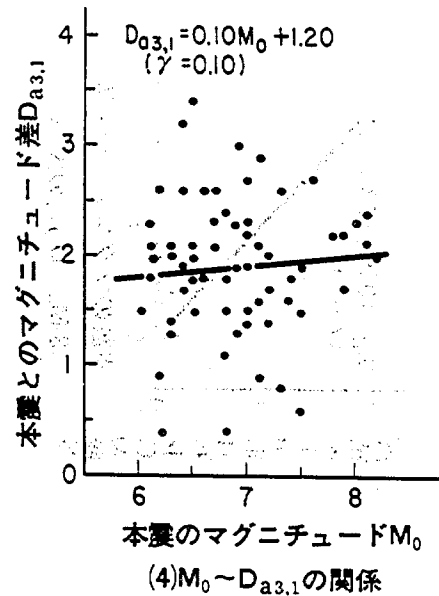
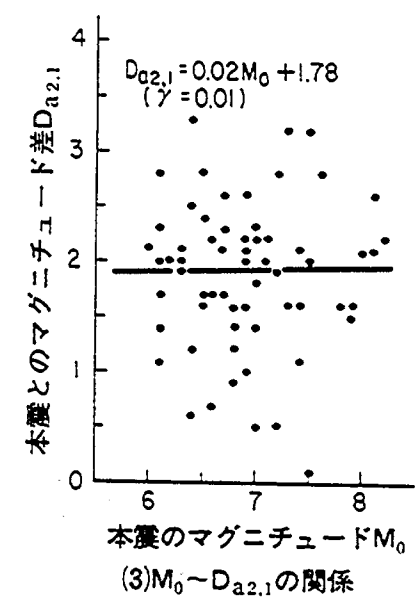
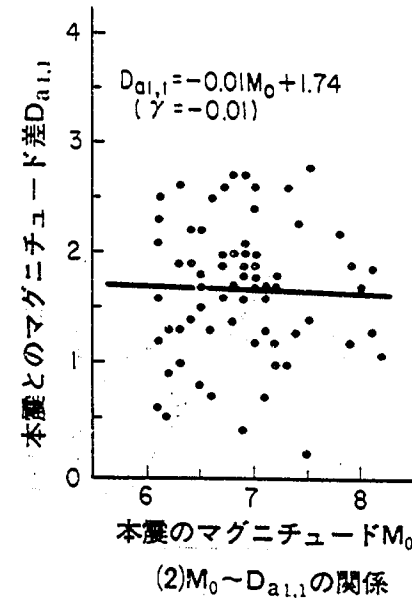
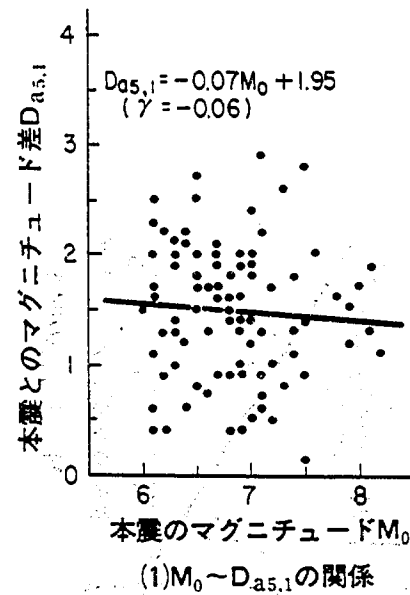
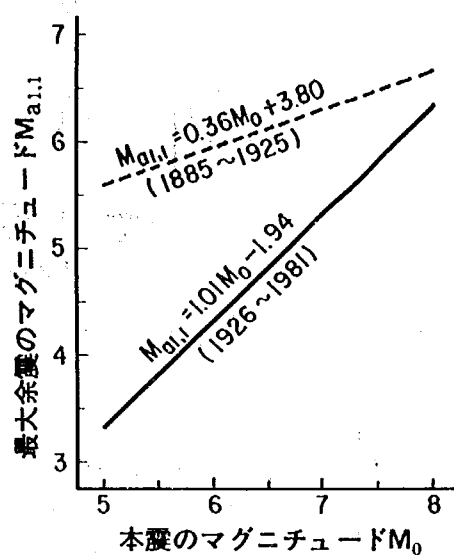
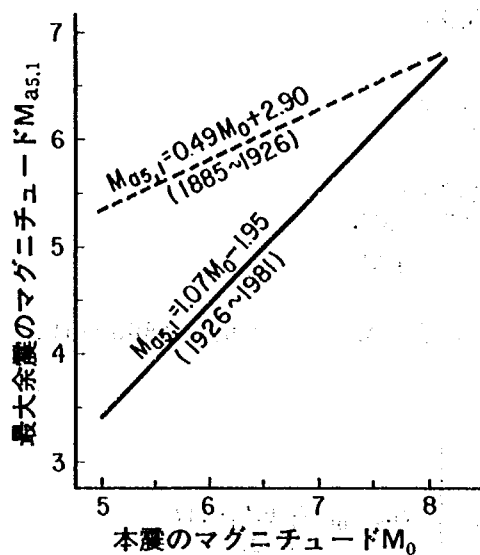


図 3-8 最大余震のマグニチュードの差～本震のマグニチュードとの関係 (1926～1981年)



(a)本震発生後90日以内($t=5$)の最大余震 (b)本震発生後1日以内($t=1$)の最大余震

図3-9 式(3-7)(1885~1925年間のデータから求めた場合)と式(3-8)(1926~1981年間のデータから求めた場合)の比較($M_{a5,1}$ および $M_{a1,1}$)

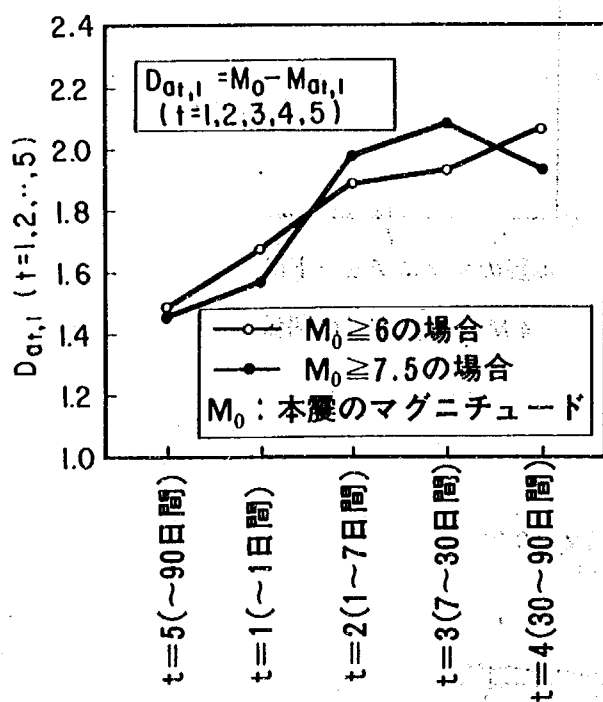


図3-10 $D_{a,t,1}$ ($t=1, 2, \dots, 5$) の平均値

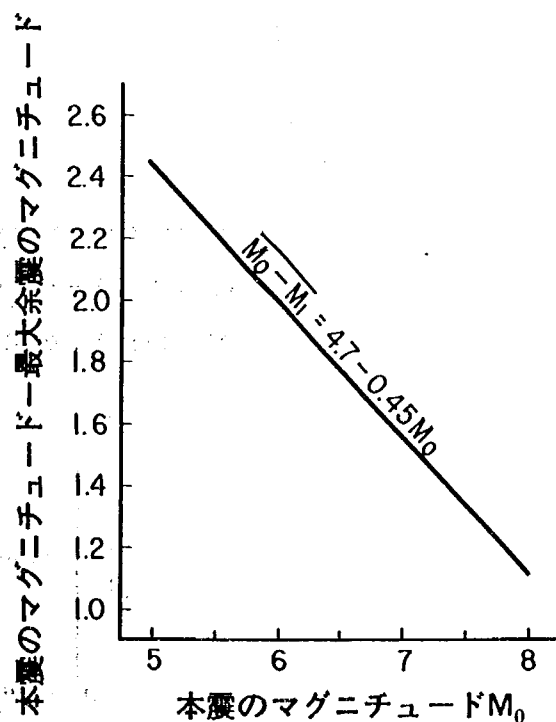


図3-11 宇津〔1967〕による $\overline{M_0 - M_1} \sim M_0$ の関係〔7〕

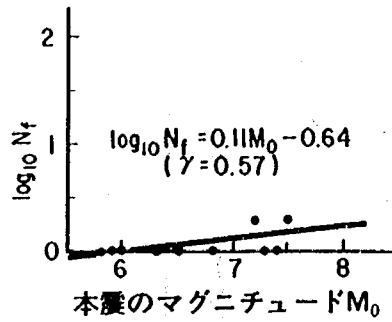


図3-12 本震のマグニチュード M_0 と $M \geq 4.0$ の前震の数 N_f との関係 (1885~1925年)

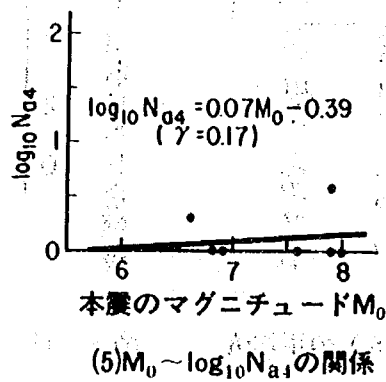
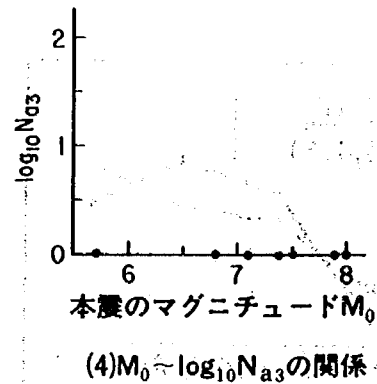
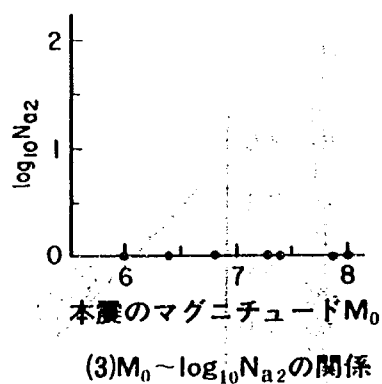
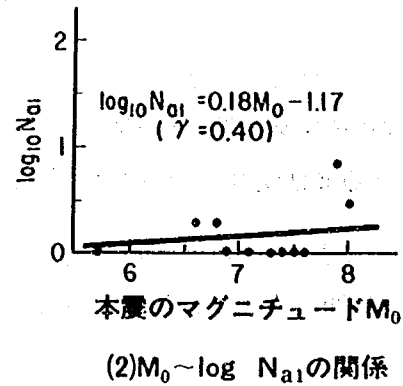
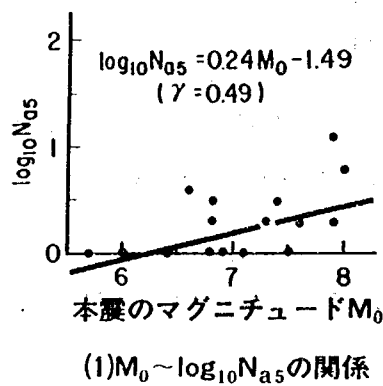


図3-13 本震のマグニチュード M_0 と $M \geq 4.0$ の余震の数 $\log N_{ai}$ との関係 (1885~1925年)

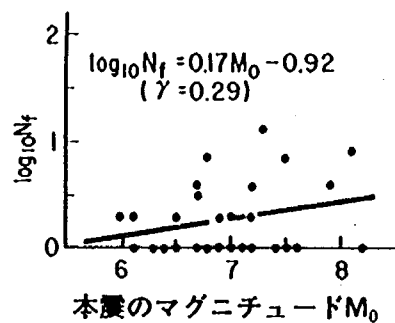
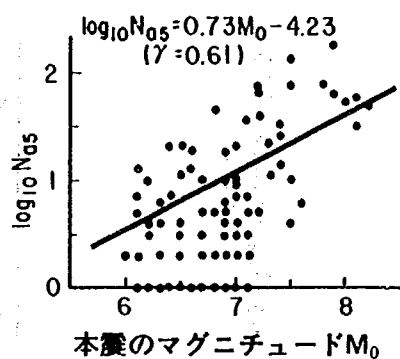
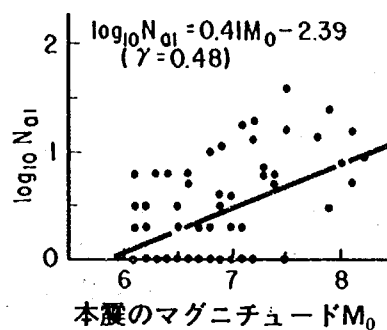


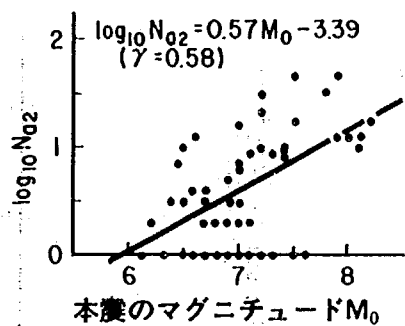
図 3-14 本震のマグニチュード M_0 と $M \geq 4.0$ の前震の数 $\log N_f$ との関係 (1926~1981 年)



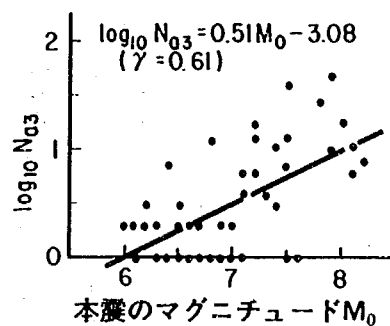
(1) $M_0 \sim \log_{10} N_{a5}$ の関係



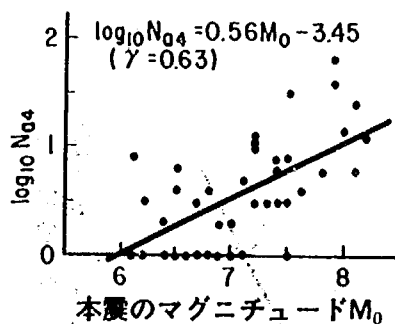
(2) $M_0 \sim \log_{10} N_{a1}$ の関係



(3) $M_0 \sim \log_{10} N_{a2}$ の関係



(4) $M_0 \sim \log_{10} N_{a3}$ の関係



(5) $M_0 \sim \log_{10} N_{a4}$ の関係

図 3-15 本震のマグニチュード M_0 と $M \geq 4.0$ の余震の回数 N_{ai} との関係 (1926~1981 年)

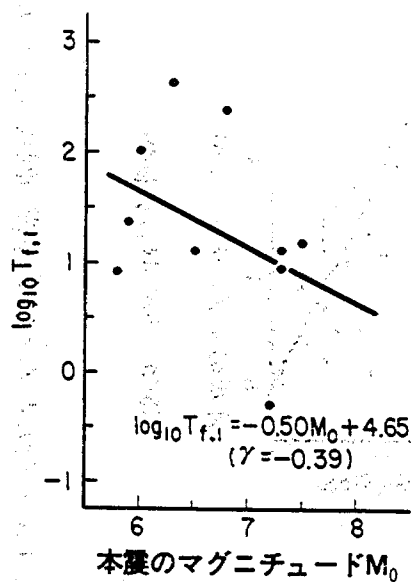
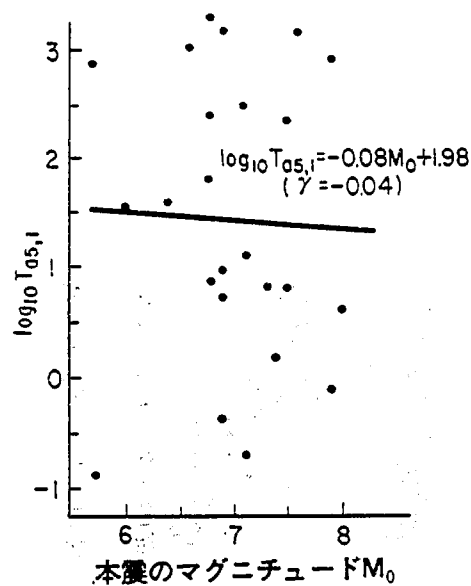
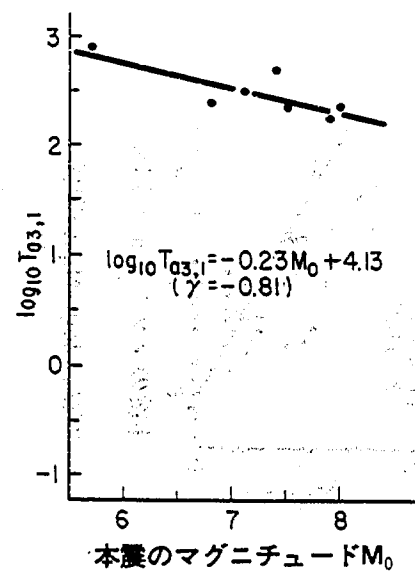


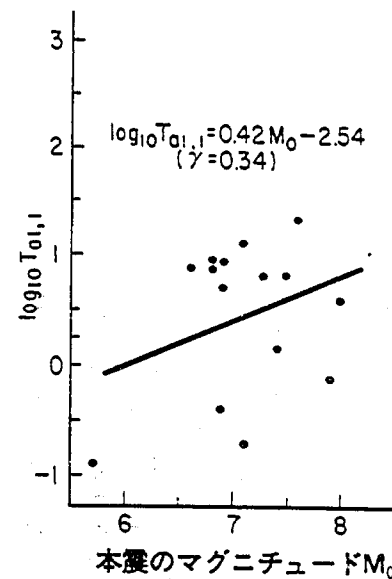
図 3-16 本震のマグニチュード M_0 と最大前震から本震までの時間 $T_{f,1}$ との関係 (1885~1925 年)



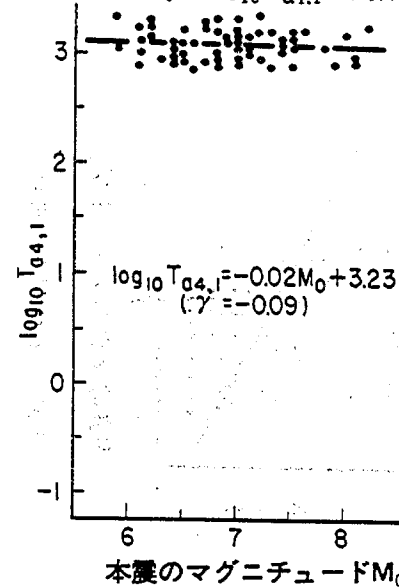
(1) $M_0 \sim \log_{10} T_{a5,1}$ の関係



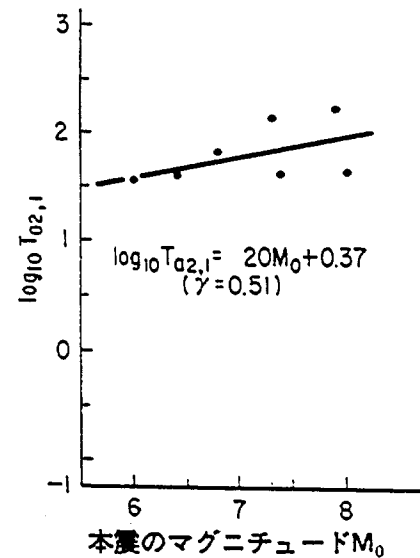
(4) $M_0 \sim \log_{10} T_{a3,1}$ の関係



(2) $M_0 \sim \log_{10} T_{a1,1}$ の関係



(5) $M_0 \sim \log_{10} T_{a4,1}$ の関係



(3) $M_0 \sim \log_{10} T_{a2,1}$ の関係

図 3-17 本震のマグニチュード M_0 と本震から最大余震までの時間 $T_{a,1}$ との関係 (1885~1925 年)

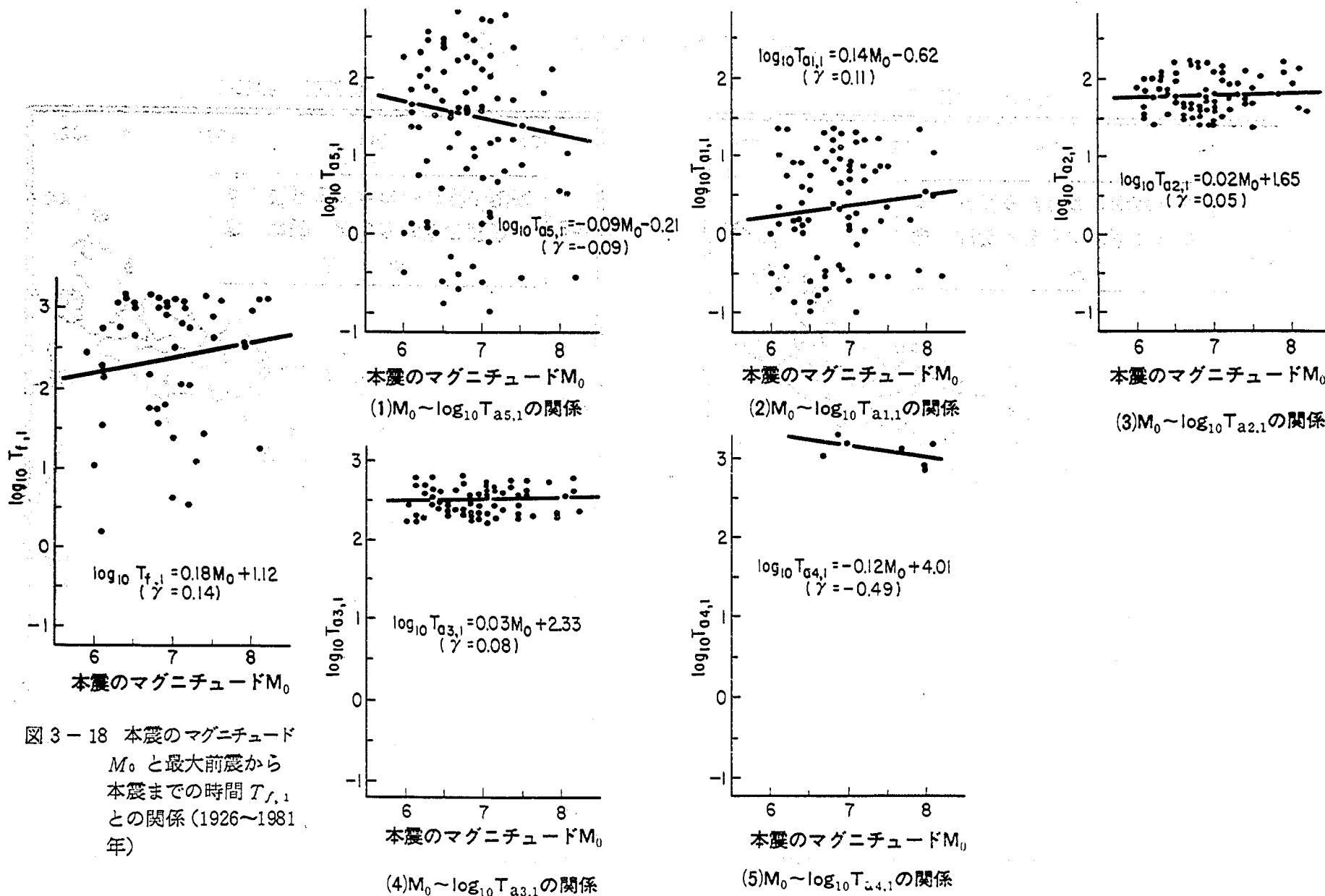
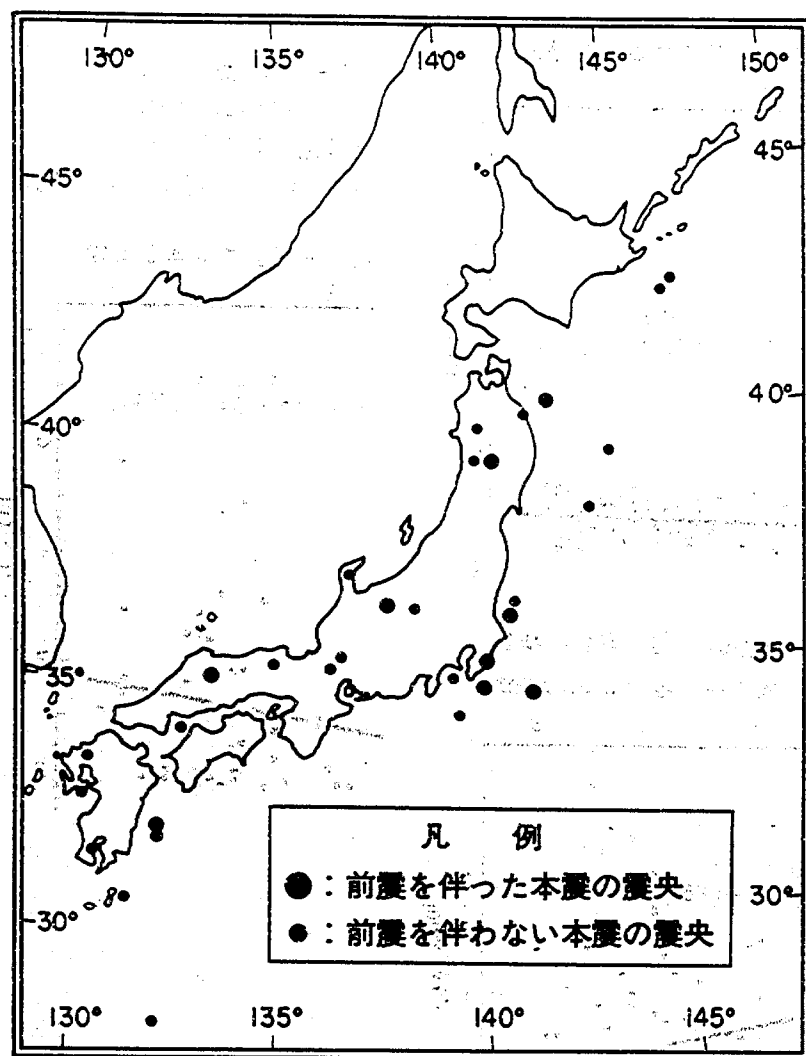
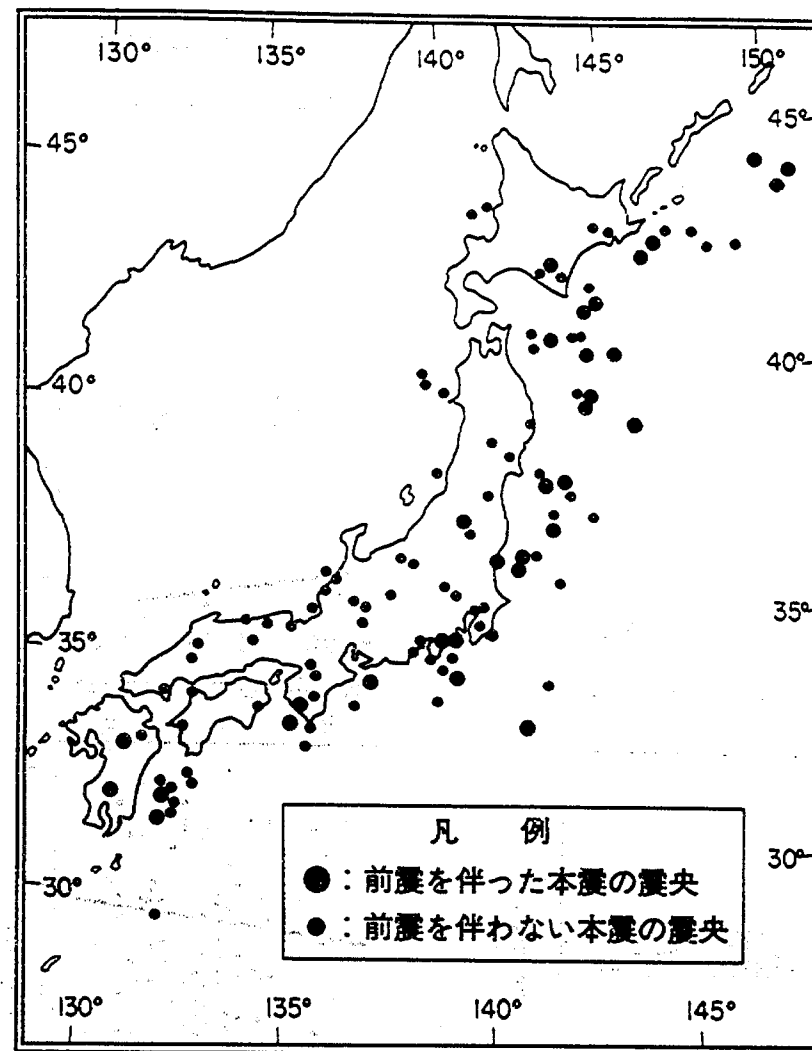


図 3-18 本震のマグニチュード M_0 と最大前震から本震までの時間 $T_{f,1}$ との関係 (1926~1981 年)

図 3-19 本震のマグニチュード M_0 と本震から最大余震発生までの時間 $T_{a1,1}$ との関係 (1926~1981 年)

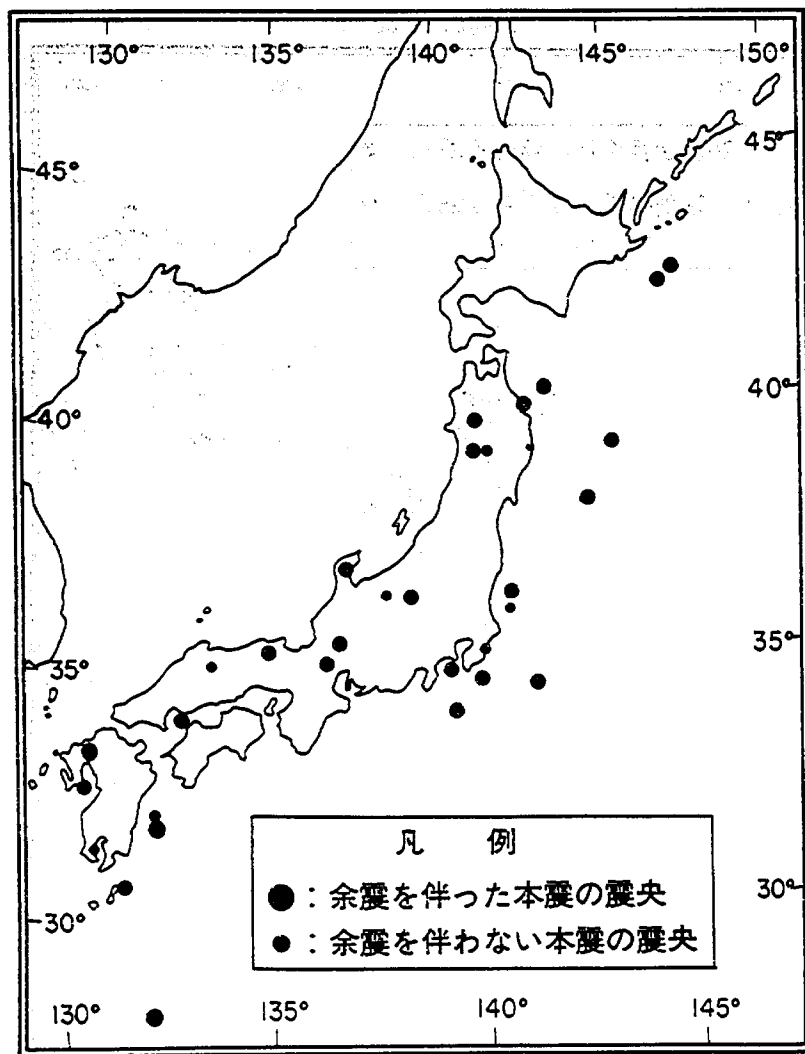


(1)1885～1925年

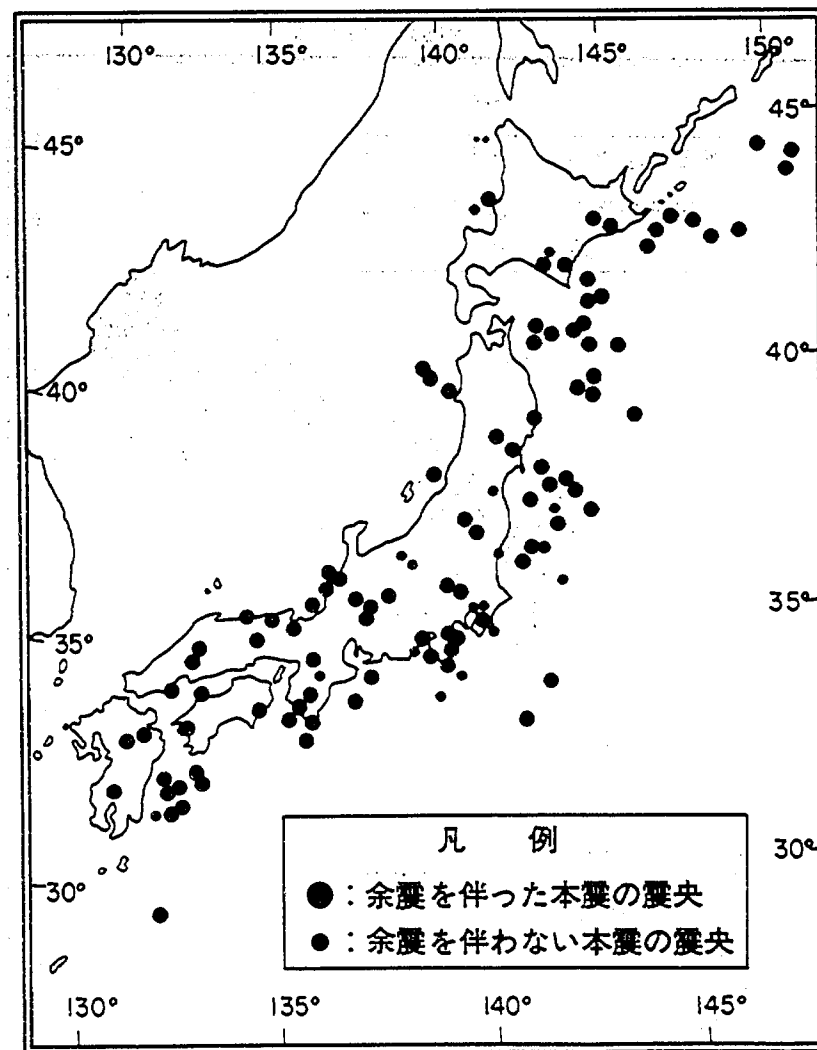


(2)1926～1981年

図 3 - 20 前震を伴った本震の地理的分布

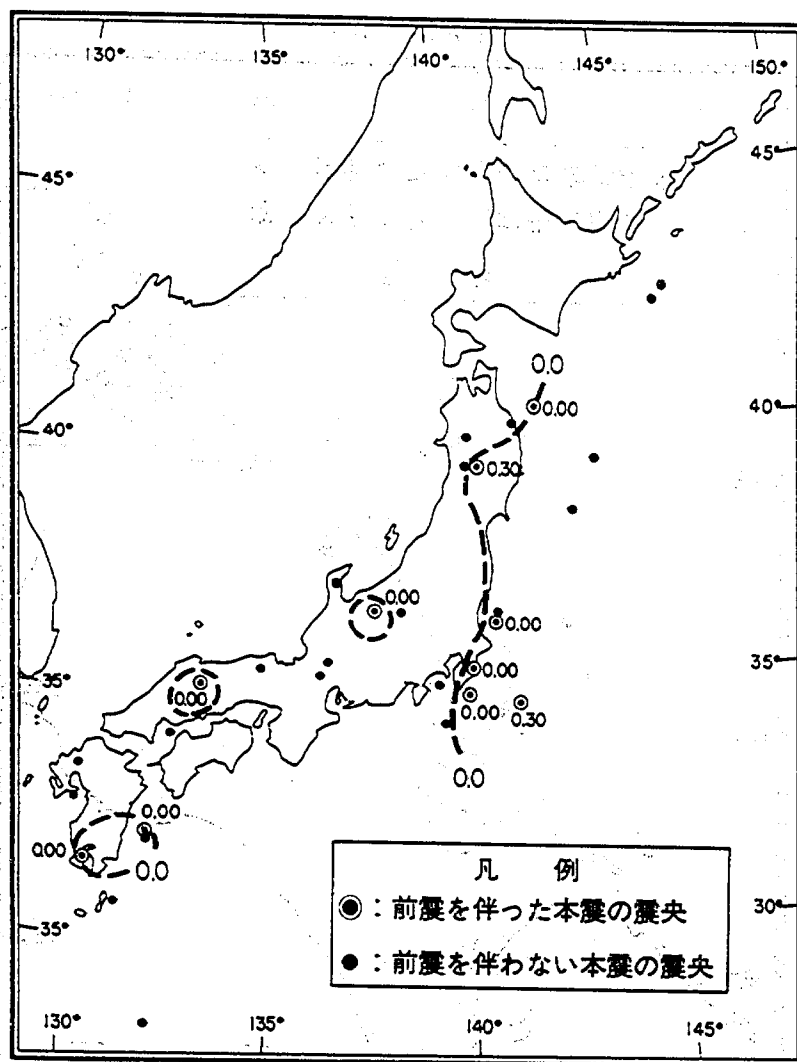


(1)1885～1925年

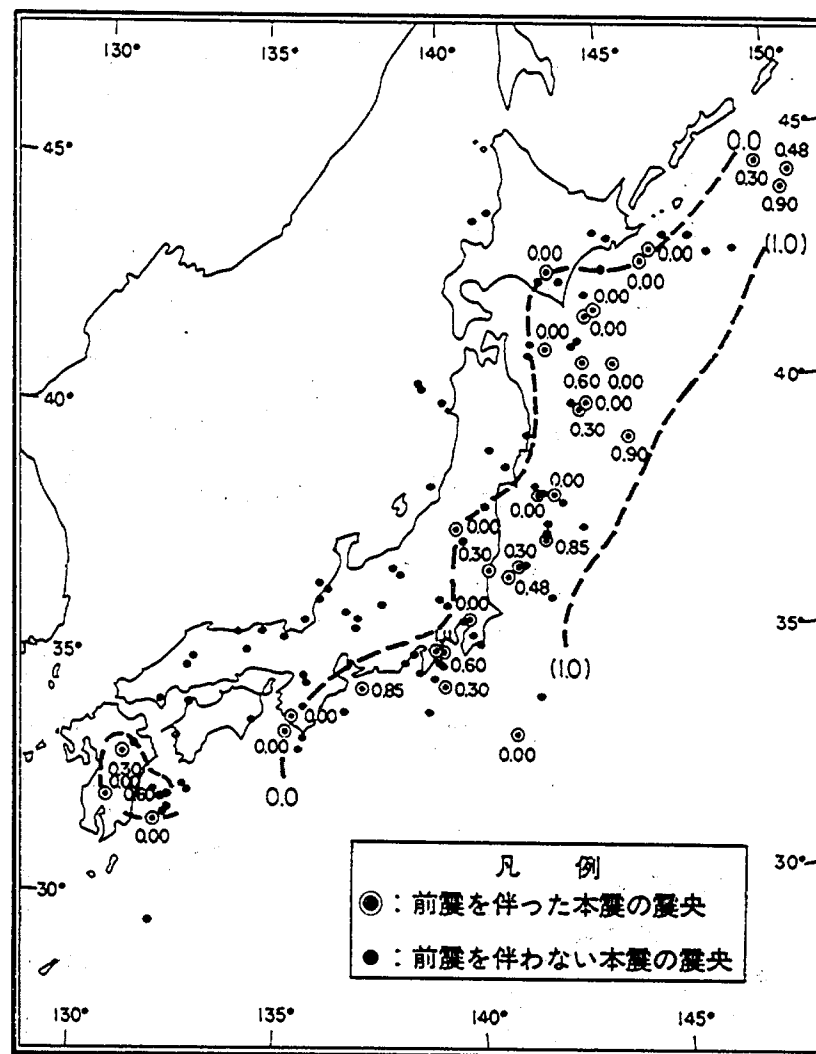


(2)1926～1981年

図 3 - 21 余震を伴った本震の地理的分布

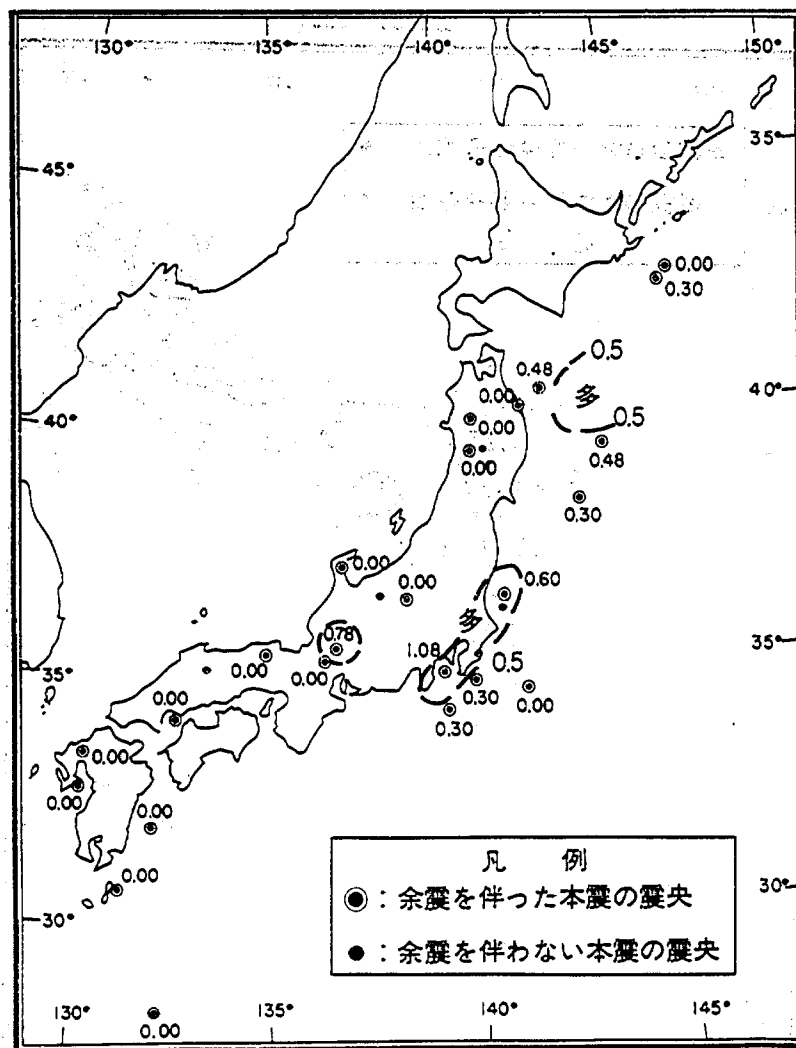


(1) 1885~1925年

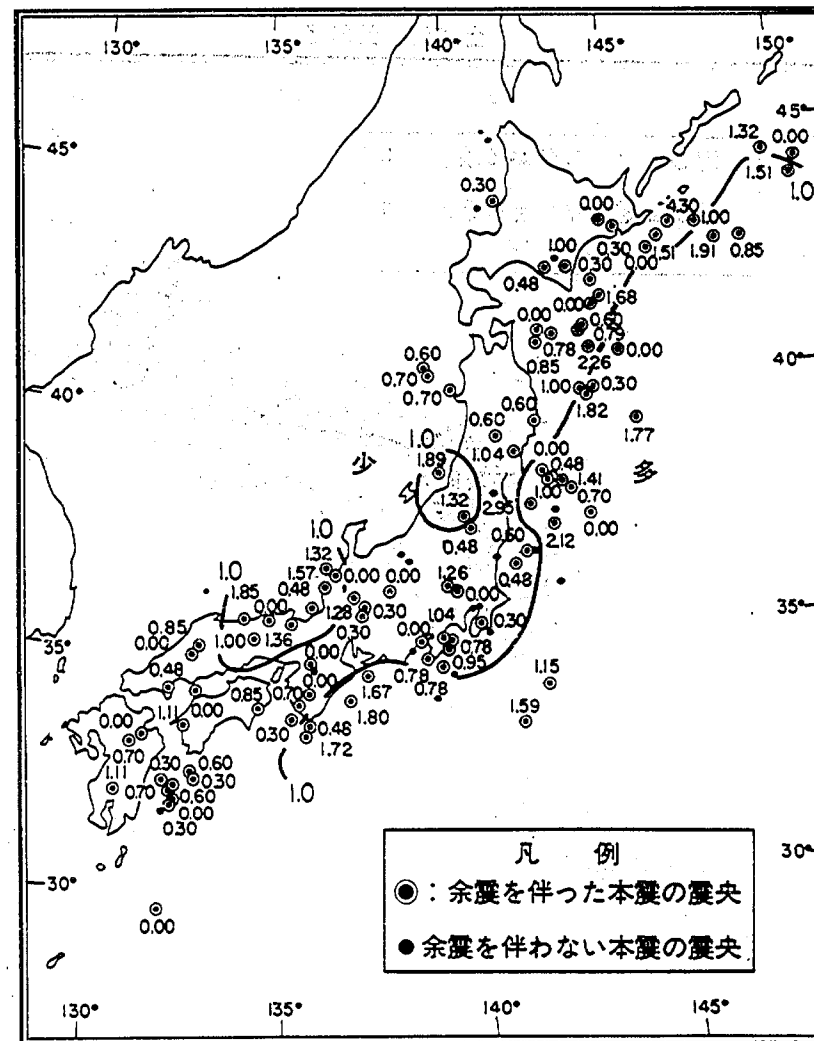


(2) 1926~1981年

図 3 - 22 前震の数 $\log N_f$ の地理的分布

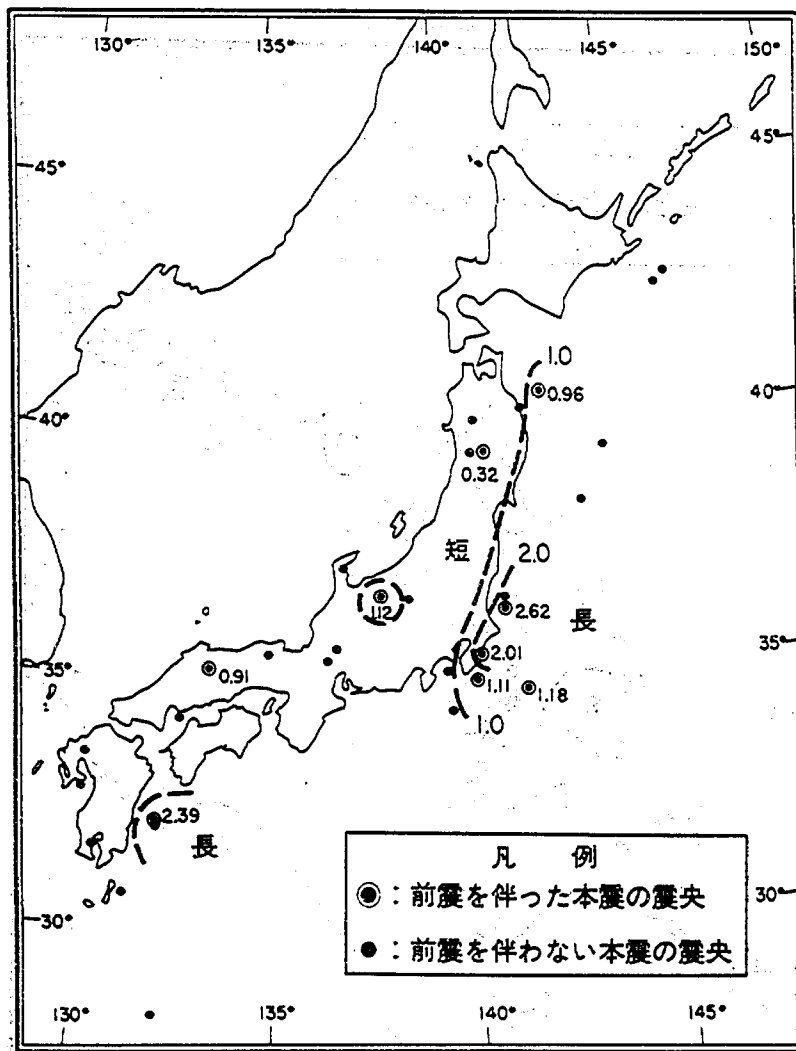


(1) 1885~1925年

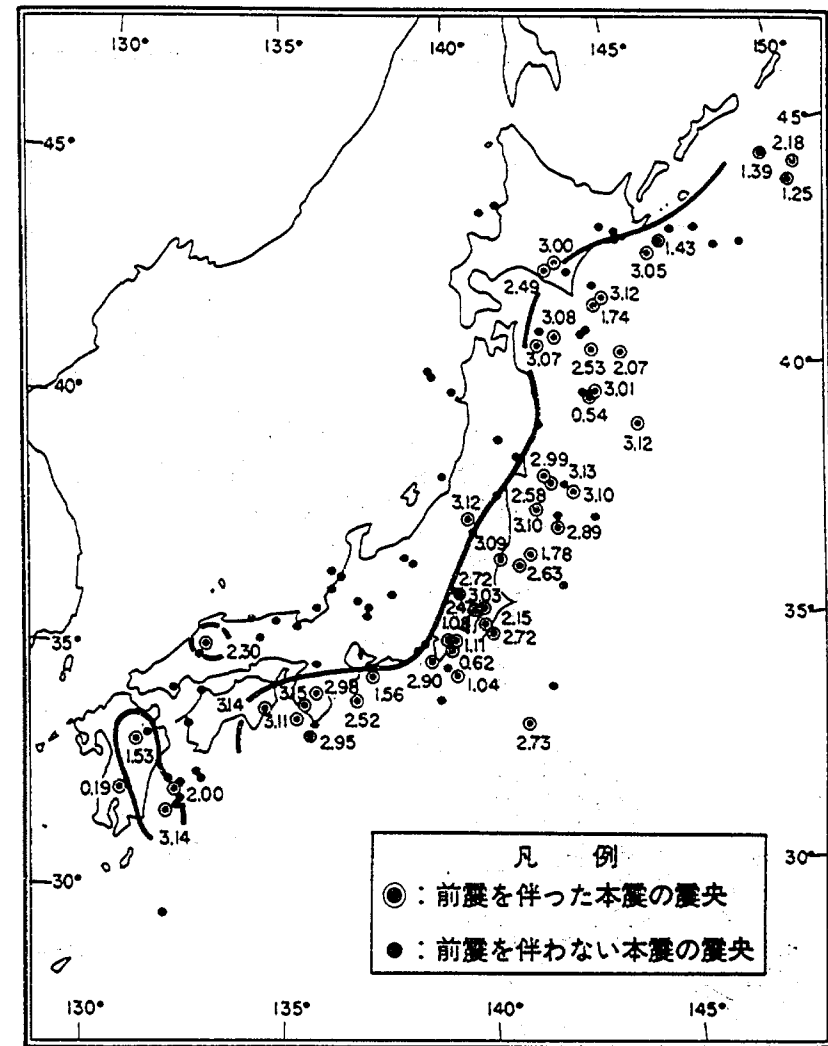


(2) 1926~1981年

図 3 - 23 余震の回数 $\log N_{as}$ の地理的分布

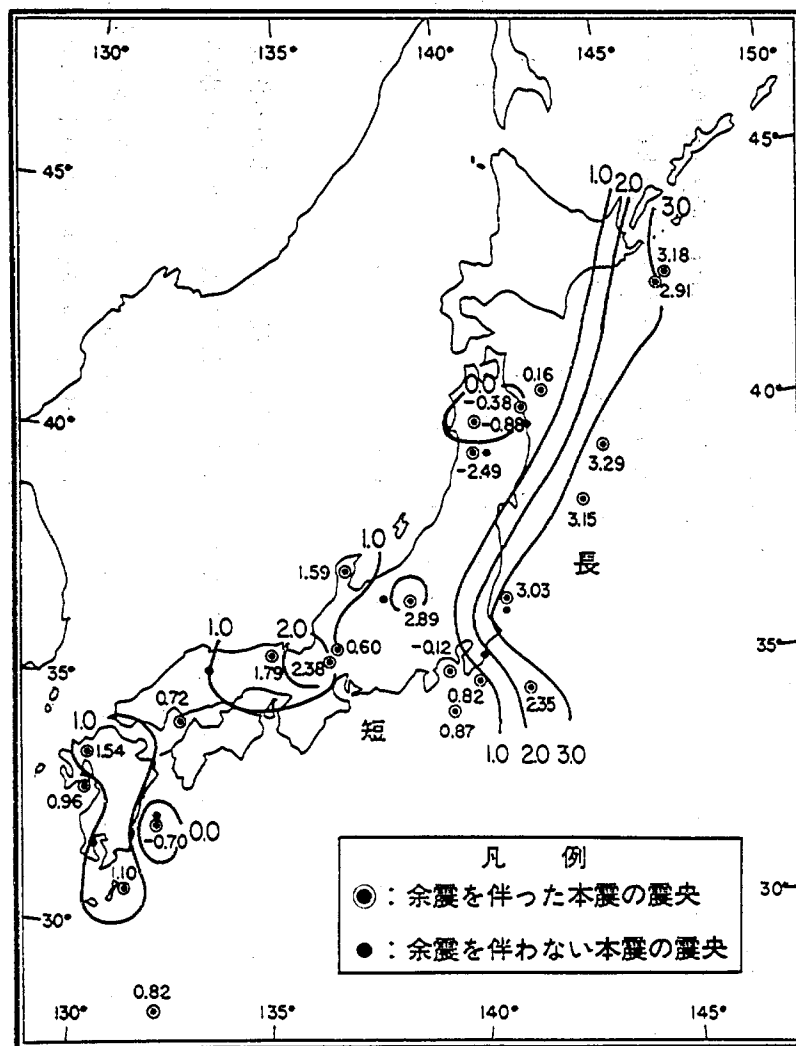


(1) 1885~1925年

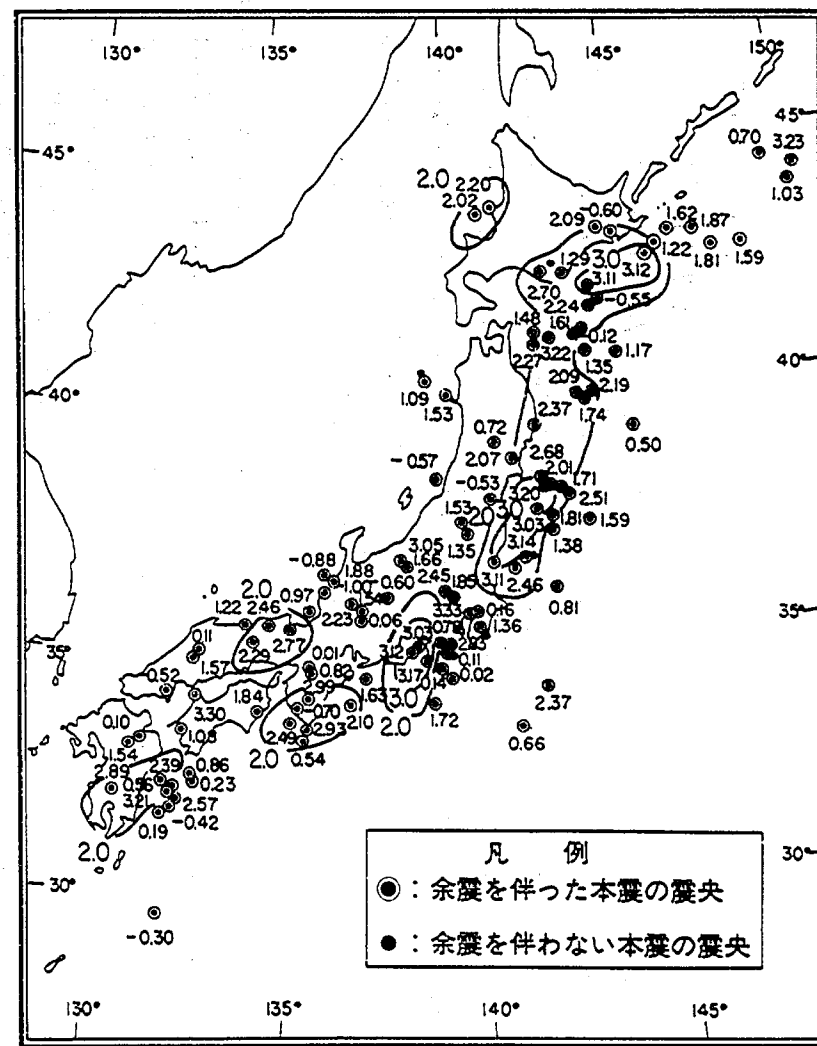


(2) 1926~1981年

図 3-24 最大前震の発生から本震の発生までの時間 $\log T_{f,1}$ の地理的分布



(1)1885~1925年



(2)1926~1981年

図 3 - 25 本震から最大余震の発生までの時間 $\log T_{a,s,1}$ の地理的分布

4. 前震および余震による地震動強度の推定

前・余震による地震動強度を求めるためには、本震と同時に前震もしくは余震の加速度強震記録が、同一の観測点において得られている観測所ごとに、本震による地震動強度と前震もしくは余震による地震動強度を直接比較することが考えられる。表4-1は既往の強震観測に基づき、同一の観測点（地盤上）において本震および余震もしくは前震の両者により記録が得られている例に対して両者の最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$ 、最大速度 $\tilde{v}_{\max}$ 、最大変位 $\tilde{d}_{\max}$ および加速度応答スペクトル $\tilde{S}_A(T)$ （減衰定数5%）を比較したものである。ここで $\tilde{a}_{\max}$ 、 $\tilde{v}_{\max}$ 、 $\tilde{d}_{\max}$ 、 $\tilde{S}_A(T)$ はいずれも地震動の水平2成分の合成を施した値である。なお、ここでは前・余震による強震記録が少ないことから、期間的にやや本震とはなれていても、本震と近い距離に発生した地震を前・余震と取り扱っている。図4-1および図4-2は、それぞれ本震に対する前・余震の最大地震動および加速度応答スペクトルの比を示したものである。

個々の記録については以上のように、本震と前・余震による地震動強度の比較ができるが、既往の強震観測では、観測を開始してから日が浅いために、本震に加えて前・余震による強震記録が同時に得られている事例は比較的少なく、これを統計的に解析することは現段階ではできない。そこで、ここでは3-1章に示した本震のマグニチュード M_0 と前・余震のマグニチュード $M_{f,1}$ 、 $M_{af,1}$ （ $i=1, 2, \dots, 5$ ）との差に基づき、地震動強度特性に関する既往の推定式をもとに、本震に比較して前・余震の地震動強度がどの程度小さくなるかを検討することとした。ここで、地震動強度の指標としては、最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$ [gal]、最大速度 $\tilde{v}_{\max}$ [cm/sec]、最大変位 $\tilde{d}_{\max}$ [cm]および減衰定数5%の加速応答スペクトル $\tilde{S}_A(T)$ [gal]の4者を対象とした。

既往の2@197成分の水平成分加速度強震記録の統計解析結果によれば、最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$ 、最大速度 $\tilde{v}_{\max}$ 、最大変位 $\tilde{d}_{\max}$ 、および加速度応答スペクトル $\tilde{S}_A(T)$ は、地盤種別ごとに地震のマグニチュード M および震央距離 D により、次のように推定することができる。¹⁵⁾

$$\tilde{a}_{\max} = U_a \times \{ a_1 \times 10^{b_1 M} \times (D + 30)^{-1.218} \} \quad (4-1)$$

$$\tilde{v}_{\max} = U_v \times \{ a_2 \times 10^{b_2 M} \times (D + 30)^{-1.222} \} \quad (4-2)$$

$$\tilde{d}_{\max} = U_d \times \{ a_3 \times 10^{b_3 M} \times (D + 30)^{-1.254} \} \quad (4-3)$$

$$\tilde{S}_A(T) = U_{SA}(T) \times \{ a(T) \times 10^{b(T)M} \times (D + 30)^{-1.178} \} \quad (4-4)$$

ここで、

a_i 、 b_i ：地盤種別ごとに表4-2により与えられる最大地震動を求める係数

$a(T)$ 、 $b(T)$ ：地盤種別ごとに表4-3に与えられる応答スペクトルを求める係数

（図4-3参照）

U_a 、 U_v 、 U_d 、 $U_{SA}(T)$ ： $\tilde{a}_{\max}$ 、 $\tilde{v}_{\max}$ 、 $\tilde{d}_{\max}$ 、 $\tilde{S}_A(T)$ の予測値まわりのばらつきの度合いを表わす指標で、非超過確率に依じていずれも図4-4で与えられる。

M : マグニチュード
 d : 震央距離 (km)
 T : 固有周期 (秒)

ここで、地盤種別は、道路橋示方書耐震設計編の地盤種別に従っている。なお、式(4-1)～式(4-4)で、係数 b_1 , b_2 , b_3 , $b(T)$ はいずれも単位のマグニチュードの増加に伴う地震動強度の増加率を表わしている。式(4-1)～式(4-4)による最大地震動および加速度応答スペクトルの距離減衰を主要な M および d に対して示すと、それぞれ、図4-5および図4-6のようになる。

いま、前震および余震の震源は比較的近いと考えられるため、震央距離 d は、前・余震と本震とではほぼ同じと考えることができる。そこで、前・余震による地震動強度と本震による地震動強度の比を次のように定義する。

$$r_a^F = \frac{a_{\max}^F}{a_{\max}^M}, \quad r_a^A = \frac{a_{\max}^A}{a_{\max}^M} \quad (4-5)$$

$$r_v^F = \frac{v_{\max}^F}{v_{\max}^M}, \quad r_v^A = \frac{v_{\max}^A}{v_{\max}^M} \quad (4-6)$$

$$r_d^F = \frac{d_{\max}^F}{d_{\max}^M}, \quad r_d^A = \frac{d_{\max}^A}{d_{\max}^M} \quad (4-7)$$

$$r_{sA}^F(T) = \frac{S_A^F(T)}{S_A^M(T)}, \quad r_{sA}^A(T) = \frac{S_A^A(T)}{S_A^M(T)} \quad (4-8)$$

ここで、上添字 F および A は、それぞれ前震および余震によるものであることを示している。いま、予測値まわりのばらつきに対する非超過確率 p は、本震および前・余震で同じ値を用いることとすれば、式(4-1)～式(4-6)を式(4-5)～式(4-8)に代入することにより、 r_a , r_v , r_d , r_{sA} は次のようになる。

$$r_a^F = 10^{b_1 D_{f,1}}, \quad r_a^A = 10^{b_1 D_{at,1}} \quad (4-9)$$

$$r_v^F = 10^{b_2 D_{f,1}}, \quad r_v^A = 10^{b_2 D_{at,1}} \quad (4-10)$$

$$r_d^F = 10^{b_3 D_{f,1}}, \quad r_d^A = 10^{b_3 D_{at,1}} \quad (4-11)$$

$$r_{sA}^F = 10^{b(T) D_{f,1}}, \quad r_{sA}^A = 10^{b(T) D_{at,1}} \quad (4-12)$$

式(4-9)～式(4-12)により $r_a(r_a^F, r_a^A)$, $r_v(r_v^F, r_v^A)$, $r_d(r_d^F, r_d^A)$ および $r_{sA}(r_{sA}^F, r_{sA}^A)$ を $D_{f,1}$, $D_{at,1}$ ($l=1, 2, \dots, 5$)をパラメータとして試算すると、図4-7, 図4-8のようになる。ここで $D_{f,1}$ および $D_{at,1}$ ($l=1, 2, \dots, 5$)については3-1章に示した通りである。これによれば、 $D_{f,1}$ については本震のマグニチュード M_0 とはっきりした相関を持たないため、本震のマグニチュード M_0 に応じて、前震の地震動強度を推定することはむづかしい。これに対

して、 $D_{a1,i}$ ($i=1, 2, \dots, 5$) については本震のマグニチュード M_0 とある程度の相関があり、式 (3-9) もしくは式 (3-11) のように与えられる。いま、本震発生後 1 日以内に発生する最大余震を考えると、本震のマグニチュード M_0 と最大余震のマグニチュード $M_{a1,i}$ の差 $D_{a1,i} = M_0 - M_{a1,i}$ は約 1.6 程度である。また、本震発生後 90 日以内に発生する最大余震の場合には、 $D_{a5,i} = M_0 - M_{a5,i}$ は約 1.5 程度である。したがって、いま、本震発生後 90 日以内に発生する最大余震を対象とすると、地盤種別によって異なるが、最大加速度の場合には $r_a = 0.34 \sim 0.48$ 、最大速度の場合には $r_v = 0.22 \sim 0.4$ 、最大変位の場合には $r_d = 0.06 \sim 0.18$ 程度となる。同様に、加速度応答スペクトルの場合には、地盤種別および固有周期によって変化するが、 $r_{SA}(T) = 0.5 \sim 0.1$ 程度となる。なお、 $r_{SA}(T)$ は一般に長周期成分ほど小さい。

以上より、本震後 90 日以内に発生する最大余震による地震動強度は、本震による地震動強度に比較し、最大加速度および短周期領域の加速度応答スペクトル（固有周期 0.3 秒以下）は、約半分程度もしくはそれ以下といえることができる。また、最大速度および最大変位は、これよりもさらに小さく 40% 以下となる。なお、本震発生後 1 日以内に発生する最大余震による地震動強度は、これらよりもさらにやや小さい程度と考えることができる。

表 4 - 1 強震記録に基づく前・余震による地震動強度と本震による地震動強度の比較

地 震 名 (本震)	発 生 年 月 日	M	観測所	種 別	最 大 加 速 度 $\ddot{a}_{max}$ [gal]	最 大 速 度 $\dot{v}_{max}$ [cm/sec]	最 大 変 位 $\ddot{a}_{max}$ [cm]	加 速 度 応 答 ス ペ ク ト ル $\ddot{S}_a$ [gal] (減衰定数 5%)									
								T=0.1	T=0.15	T=0.2	T=0.3	T=0.5	T=0.7	T=1	T=1.5	T=2	T=3
1968 年日向 灘沖地震	1968.4.1,9:42 (本震) 1968.4.1,16:13 (余震)	7.5 6.3	板島橋	本 震	236.2	22.73	2.510	466.1	599.1	696.7	578.9	545.5	791.6	265.1	101.4	61.2	26.0
				余 震	52.8	3.29	0.545	159.9	158.0	182.0	101.3	143.2	65.9	23.1	21.3	13.7	9.0
				余震/本震	0.22	0.14	0.22	0.34	0.26	0.26	0.17	0.26	0.08	0.09	0.21	0.22	0.35
1968 年十勝 沖地震	1968.5.16,9:49 (本震) 1968.5.16,19:39 (余震)	7.9 7.5	幌満橋	本 震	126.6	5.48	1.145	374.7	364.6	294.6	222.7	118.8	93.6	63.3	55.8	29.8	20.9
				余 震	94.9	3.94	0.663	332.2	340.7	195.1	197.6	70.3	40.1	37.3	40.8	22.2	11.2
				余震/本震	0.75	0.72	0.58	0.89	0.93	0.66	0.89	0.59	0.43	0.59	0.73	0.74	0.54
			新石狩 大 橋	本 震	215.9	31.77	5.667	237.0	272.6	342.5	363.4	672.0	902.9	808.8	271.2	185.9	58.4
				余 震	189.9	19.43	2.691	216.8	211.1	220.2	251.8	327.7	545.4	448.8	109.2	72.7	31.5
				余震/本震	0.88	0.61	0.47	0.91	0.77	0.64	0.69	0.49	0.60	0.55	0.40	0.39	0.54
			千代田 橋	本 震	102.7	17.11	4.031	146.6	233.3	248.3	201.3	218.8	201.1	192.5	156.8	119.4	98.4
				余 震	51.2	5.94	1.323	104.3	126.4	138.6	125.4	94.1	107.7	90.4	60.3	52.6	24.3
				余震/本震	0.50	0.35	0.33	0.71	0.54	0.56	0.62	0.43	0.54	0.47	0.38	0.44	0.25
			青森港	本 震	309.7	35.04	12.72	501.0	507.7	566.2	523.9	572.1	483.8	585.4	537.2	372.8	287.0
				余 震	109.5	8.70	2.16	196.4	277.4	316.9	357.2	238.6	277.0	173.0	102.2	65.0	25.4
				余震/本震	0.35	0.25	0.17	0.39	0.55	0.56	0.68	0.42	0.57	0.30	0.19	0.17	0.09
			宮古港	本 震	193.5	7.51	0.710	513.2	883.7	930.8	361.8	137.0	83.2	47.8	28.4	20.7	12.8
				余 震	180.1	5.03	0.579	337.4	751.3	644.2	229.6	118.4	32.8	24.6	23.3	11.5	7.8
				余震/本震	0.93	0.67	0.82	0.66	0.85	0.69	0.63	0.86	0.39	0.51	0.82	0.56	0.61
			室蘭港	本 震	283.5	24.29	3.841	624.1	620.7	736.3	612.3	682.7	414.7	277.5	171.0	79.8	54.3
				余 震	132.5	6.74	0.995	324.0	314.0	364.4	362.8	255.5	104.8	77.5	56.0	19.6	16.9
				余震/本震	0.47	0.28	0.26	0.54	0.51	0.49	0.59	0.37	0.25	0.28	0.33	0.25	0.31
1968 年豊後 水道沖地震	1968.8.6,1:17 (本震) 1968.8.6,13:21 (余震)	6.6 5.3	板島橋	本 震	663.6	33.60	3.727	1306.0	1417.4	2498.4	1712.4	906.4	639.8	364.8	130.5	73.3	44.7
				余 震	315.1	11.55	1.169	663.7	714.6	1297.9	788.7	159.1	132.5	61.3	23.9	19.5	10.1
				余震/本震	0.47	0.34	0.31	0.51	0.30	0.52	0.46	0.18	0.21	0.17	0.18	0.27	0.23
1978 年宮城 県沖地震	1978.6.12,17:14 (本震) 1978.2.20,13:37 (余震)	7.4 6.7	開北橋	本 震	455.7	26.18	4.038	1050.3	1483.1	885.0	808.0	477.8	212.0	155.6	148.1	82.9	53.6
				前 震	176.1	8.376	0.575	521.6	457.4	565.0	533.3	109.9	54.5	41.0	18.5	9.7	7.0
				前震/本震	10.39	0.32	0.14	0.50	0.31	0.64	0.66	0.23	0.26	0.26	0.12	0.12	0.13
			平大橋	本 震	106.7	11.16	2.521	204.0	232.2	252.1	338.1	423.7	183.7	269.4	165.9	165.9	20.9
				前 震	45.5	3.14	0.513	75.9	96.1	88.0	179.9	97.1	67.9	98.9	20.0	12.8	4.8
				前震/本震	0.43	0.28	0.20	0.37	0.41	0.35	0.53	0.23	0.37	0.37	0.12	0.17	0.23

表 4-2 最大地震動 $\tilde{a}_{\max}$, $\tilde{v}_{\max}$, $\tilde{d}_{\max}$ の推定式に用いる係数 a , b , および c

地 震 動	地 盤 種 別	a	b	c
最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$ (gal)	岩 盤	987.4	0.216	-1.218
	洪積・沖積	232.5	0.313	
	軟弱地盤	403.8	0.265	
最大速度 $\tilde{v}_{\max}$ (cm/sec)	岩 盤	208.2	0.263	-1.222
	洪積・沖積	28.1	0.430	
	軟弱地盤	5.11	0.404	
最大変位 $\tilde{d}_{\max}$ (cm)	岩 盤	0.626	0.372	-1.254
	洪積・沖積	0.062	0.567	
	軟弱地盤	0.070	0.584	

表 4-3 $\tilde{S}_A$ スペクトルの距離減衰式の係数 $a(T)$ および $b(T)$

固有周期 (秒)	1 種 地 盤		2 種 地 盤		3 種 地 盤	
	$a(T_k, GC_i)$	$b(T_k, GC_i)$	$a(T_k, GC_i)$	$b(T_k, GC_i)$	$a(T_k, GC_i)$	$b(T_k, GC_i)$
0.1	2420	0.211	848.0	0.262	1307	0.208
0.15	2407	0.216	629.1	0.288	948.2	0.238
0.2	1269	0.247	466.0	0.315	1128	0.228
0.3	574.8	0.273	266.8	0.345	1263	0.224
0.5	211.8	0.299	102.2	0.388	580.6	0.281
0.7	102.5	0.317	34.34	0.440	656.7	0.421
1.0	40.10	0.344	5.04	0.548	7.41	0.541
1.5	7.12	0.432	0.719	0.630	0.803	0.647
2.0	5.78	0.417	0.347	0.644	0.351	0.666
3.0	1.67	0.462	0.361	0.586	0.262	0.635

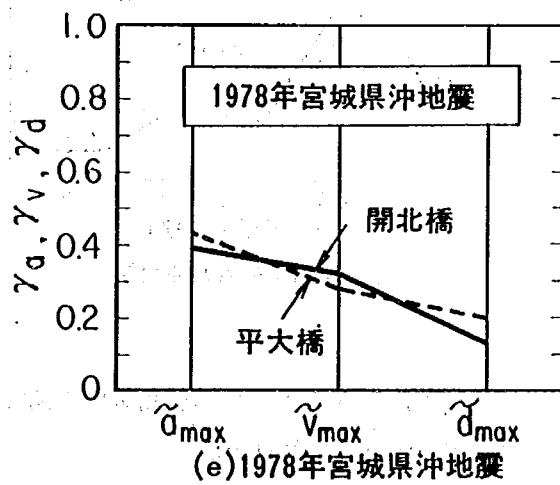
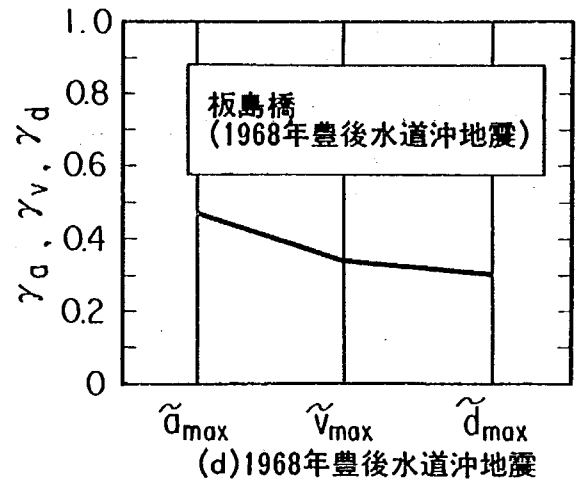
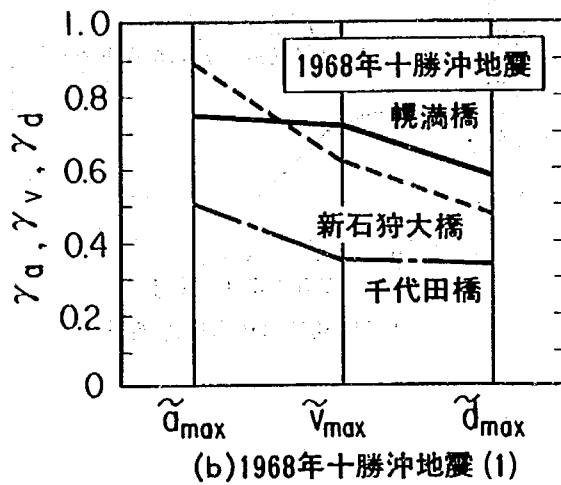
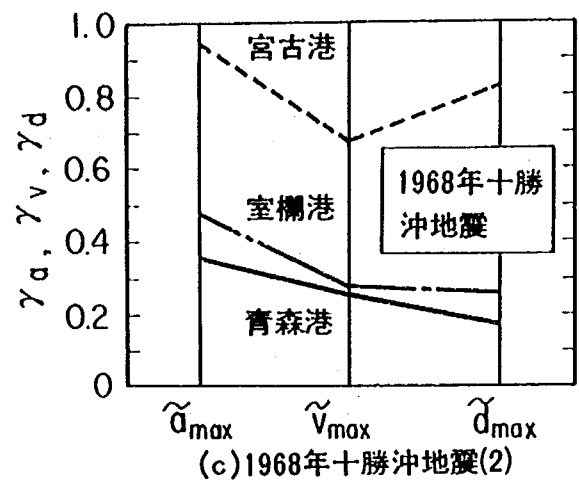
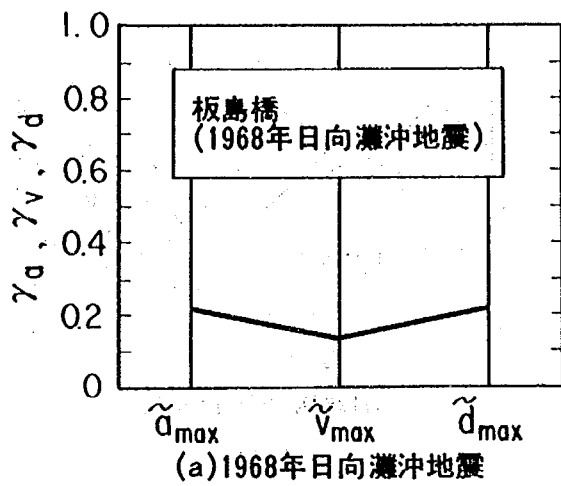
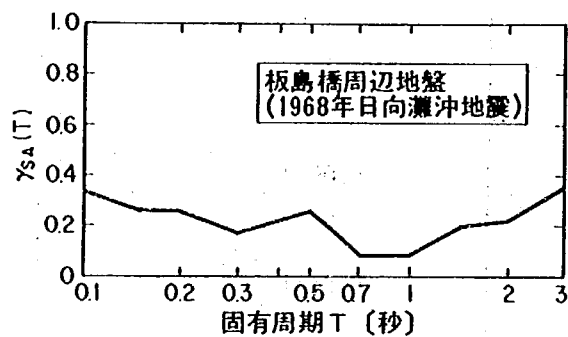
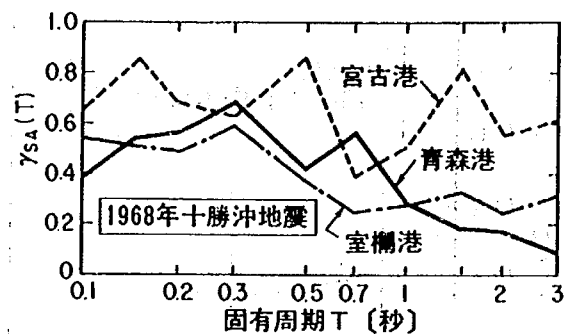


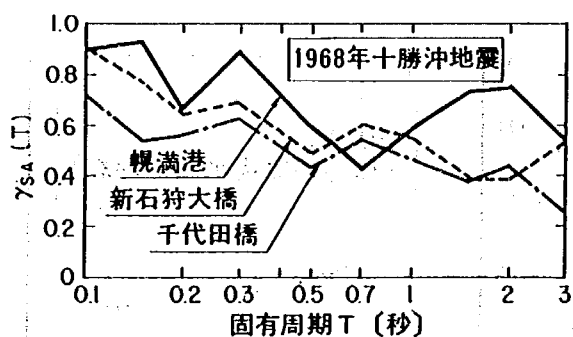
図4-1 強震記録に基づく同一観測点における本震の地震動強度と前震もしくは余震による地震動強度の比（最大加速度 $\tilde{a}_{max}$ ，最大速度 $\tilde{v}_{max}$ ，最大変位 $\tilde{d}_{max}$ の場合）



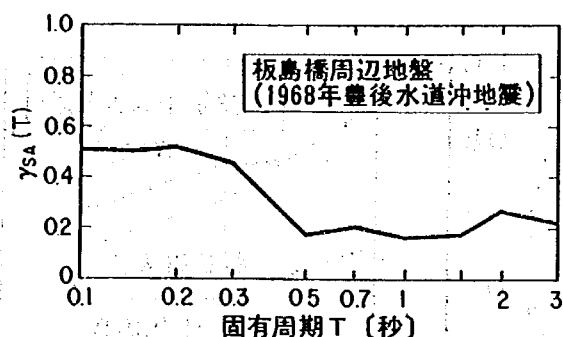
(a)1968年日向灘沖地震



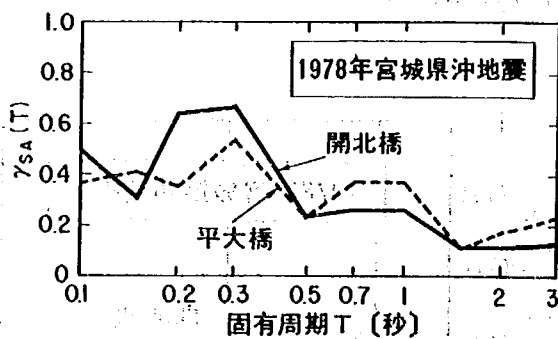
(c)1968年十勝沖地震(2)



(b)1968年十勝沖地震(1)



(d)1968年豊後水道沖地震



(e)1978年宮城県沖地震

図4-2 強震記録に基づく同一観測点における本震の地震動強度と前震もしくは余震による地震動強度の比 (加速度応答スペクトル $\tilde{S}_A(T)$ の場合)

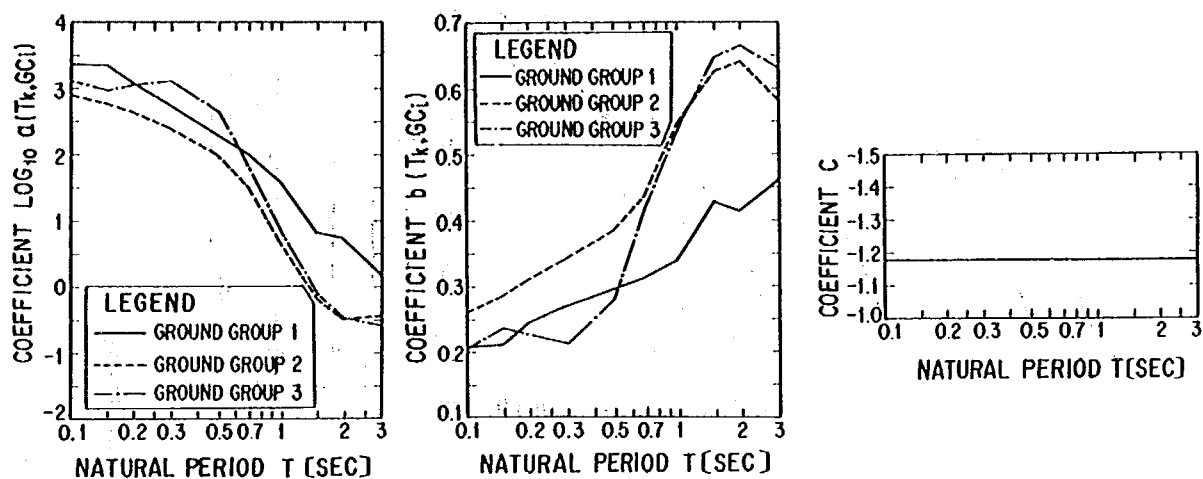


図 4-3 $\tilde{S}_A$ スペクトルの距離減衰式の係数 $a(T_k, GC_i)$, $b(T_k, GC_i)$ および c

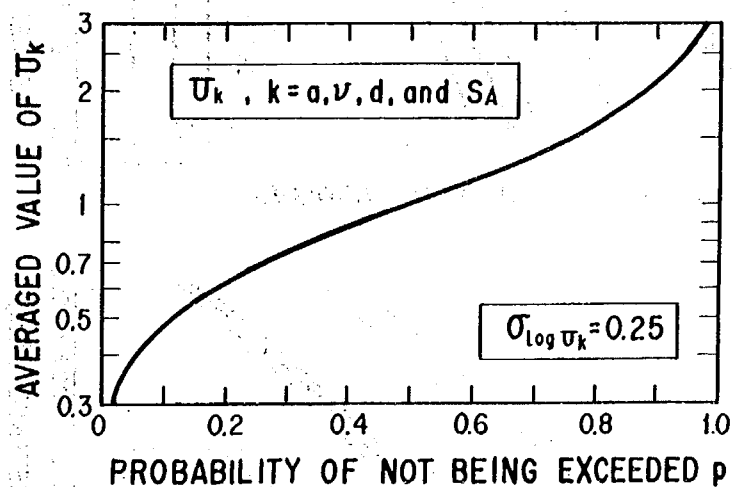


図 4-4 $U_k (k = a, v, d, S_A) \sim p$ の関係 ($\sigma = 0.25$ とした場合)

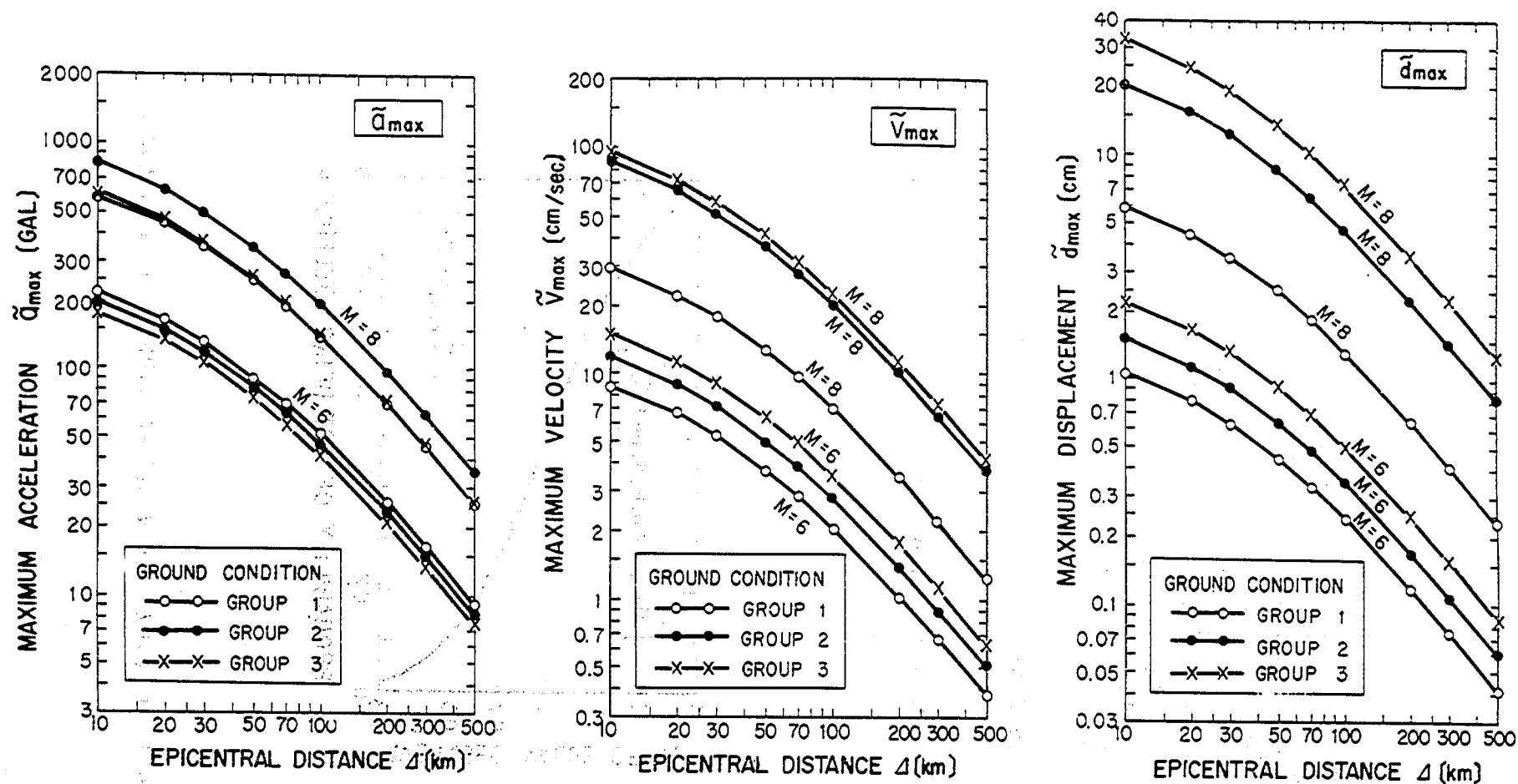
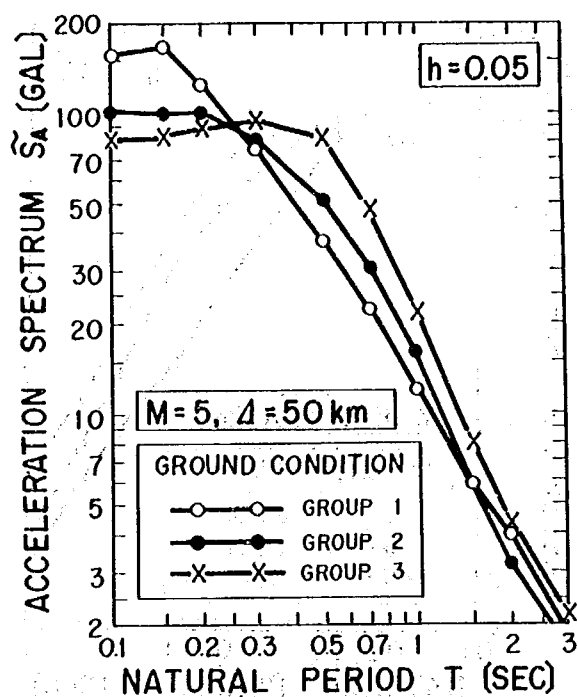
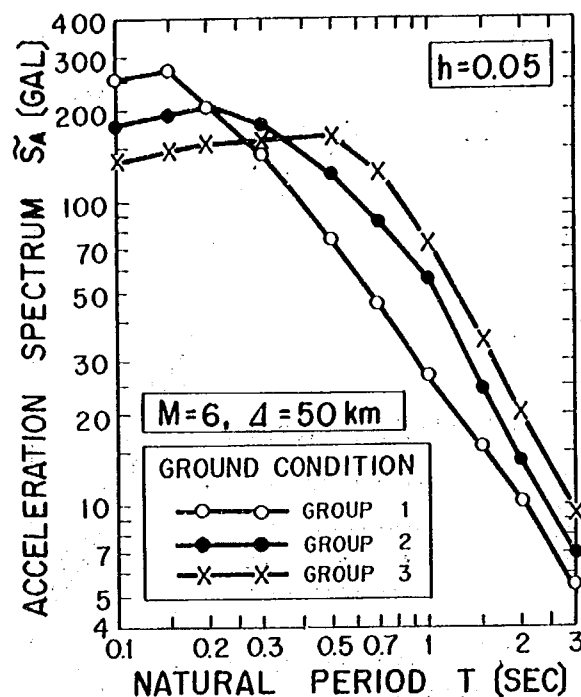


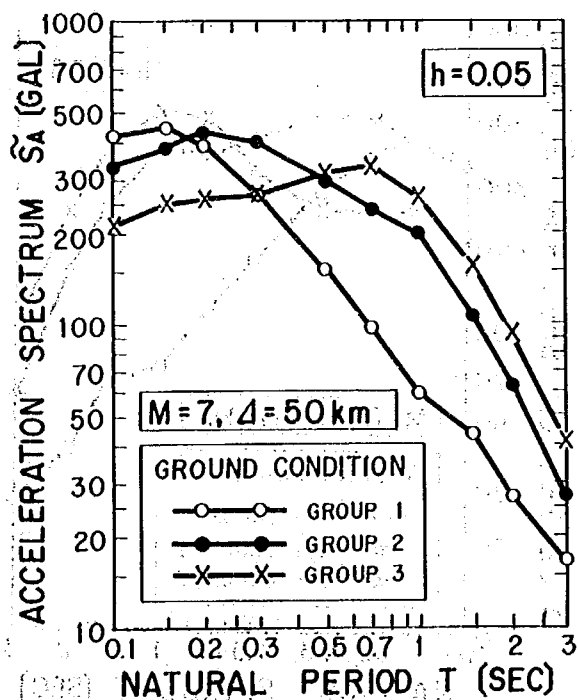
図 4 - 5 最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$, 最大速度 $\tilde{v}_{\max}$, 最大変位 $\tilde{d}_{\max}$ の距離減衰



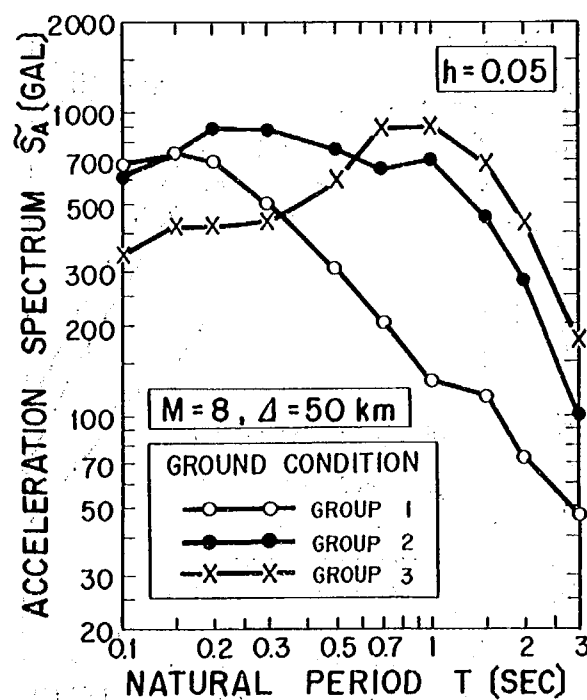
(a) $M=5$



(b) $M=6$

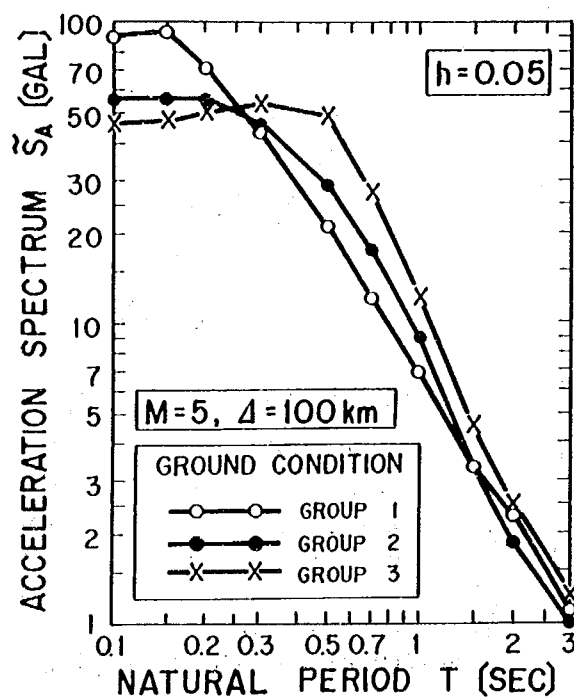


(c) $M=7$

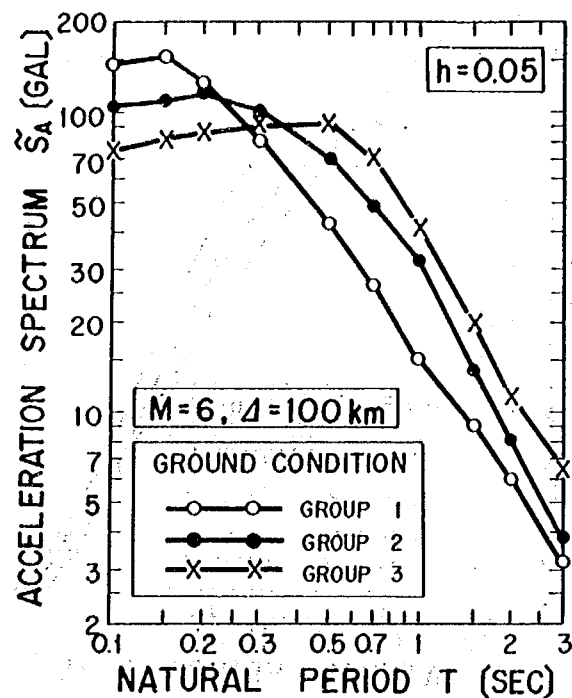


(d) $M=8$

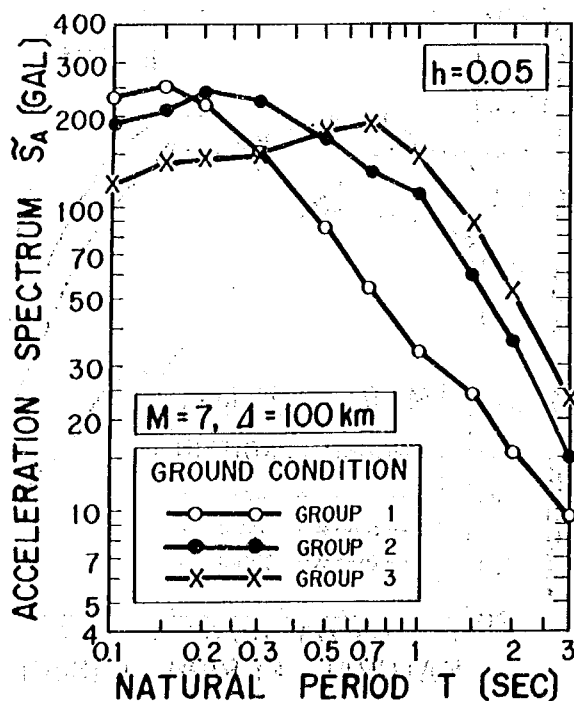
図4-6(1) $\tilde{S}_A$ スペクトル ($\Delta=50$ kmの場合)



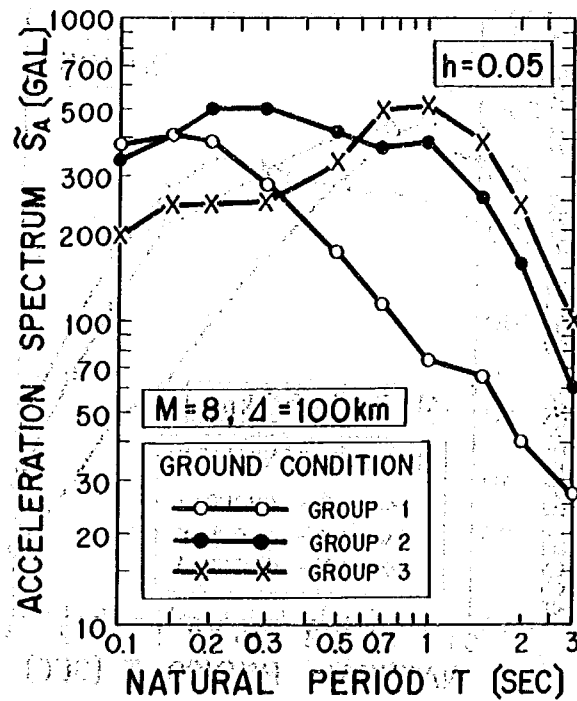
(a) $M=5$



(b) $M=6$

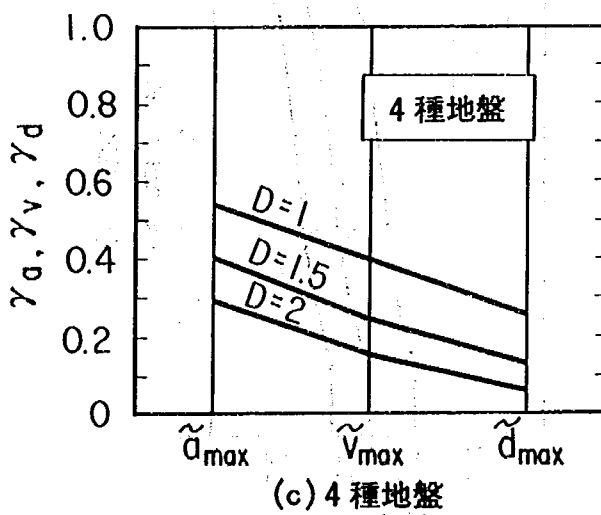
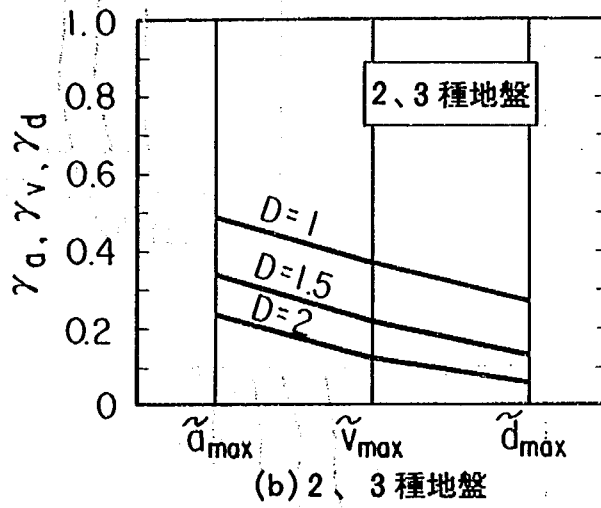
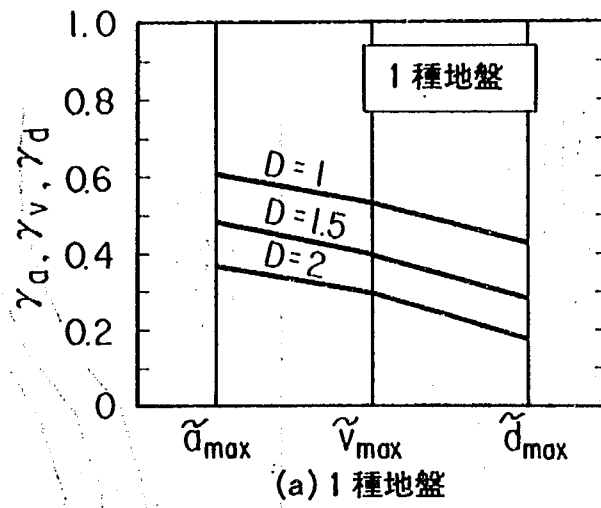


(c) $M=7$



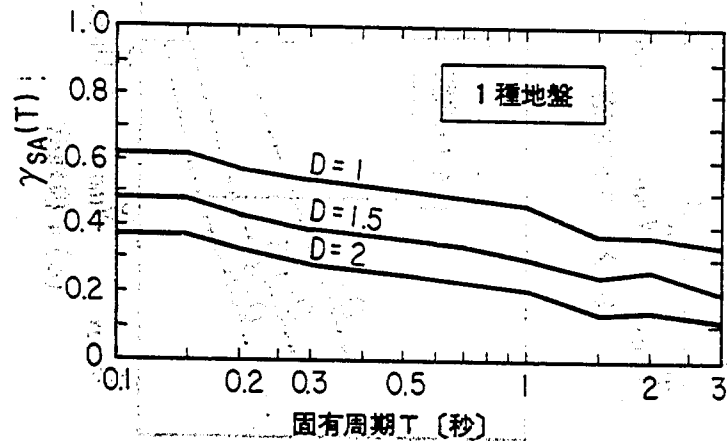
(d) $M=8$

図4-6(2) $\tilde{S}_A$ スペクトル ($\Delta=100 \text{ km}$ の場合)

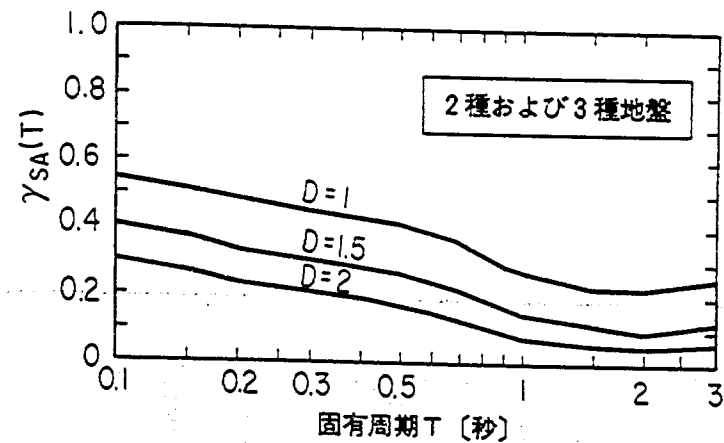


$$D = D_{f,i} \text{ もしくは } D_{at,i} \ (t=1, 2, 3, \dots, 5)$$

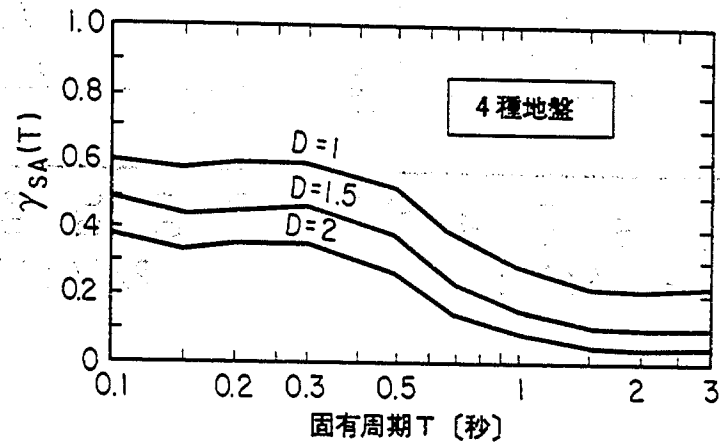
図4-7 本震に対する前・余震の最大地震動(最大加速度 $\tilde{a}_{\max}$ ，最大速度 $\tilde{v}_{\max}$ ，最大変位 $\tilde{d}_{\max}$)の比



(a) 1種地盤



(b) 2種および3種地盤



(c) 4種地盤

図4-8 本震に対する前・余震の加速度応答スペクトル $\tilde{S}_A(T)$ の比

5. ま と め

将来の震災復旧に資することを目的に、1885年以後我国周辺で発生した合計156回の被害地震を対象とし、これに伴って発生した前・余震の規模および頻度、本震との発生時間の差、起こり方の地域特性等を調査した。なお、本調査で対象とした前・余震は、震災復旧に利用するという観点から、表2-3に定義した「工学的な前震および余震」であり、地震学的な前震および余震ではない。本調査では、近年における地震検知能力の向上を考慮し、1885～1925年間と1926～1981年間の2つの期間に分けて、前・余震の解析を行った。この結果、地震検知能力の相対的に高い1926～1981年間の地震資料を用いた場合の方が、有意な結果が得られることがわかったため、以下にはこの期間の地震資料を用いた解析結果を中心に結果を示すこととする。本調査結果をまとめると以下ようになる。

(1) 前震の特性について

- i) 1926～1981年間に発生した125回の地震のうち、前震を伴ったものは53回(42%)であり、約半数弱の地震が前震を伴っている。
- ii) 最大前震のマグニチュード $M_{f,1}$ は地震ごとにばらつきが大きく、本震のマグニチュード M_0 との間の相関は低い。なお、1926～1981年間に発生した前震を伴った39回の本震($M_0 \geq 6.0$)に対して、本震のマグニチュード M_0 と前震のマグニチュード $M_{f,1}$ の差 $D_{f,1}$ の平均値およびその標準偏差を求めると、それぞれ1.98, 0.90となる。
- iii) 前震(ただし、マグニチュード4.0以上)の回数 N_f と本震のマグニチュード M_0 の間には、 M_0 が大きくなると一般に N_f も増加する傾向が認められるが、 M_0 がかなり大きくても前震を伴わない地震もあり、両者の相関は低い。
- iv) 最大前震が発生してから本震が発生するまでの時間 $T_{f,1}$ は個々の地震ごとに大きくばらついており、これらと本震のマグニチュード M_0 との相関は低い。
- v) 太平洋側海底に生じた地震には、前・余震を伴った地震が多い。

(2) 余震の特性について

- i) 1926～1981年間に発生した125回の地震のうち、本震後1日以内に余震を伴ったものは86回(69%)、本震後90日以内に余震を伴ったものは112回(90%)である。したがって、本震発生後90日以内にはほぼ全数が余震を伴うこと、また、本震発生後1日以内に限っても70%近くの確率で余震が発生することがわかる。
- ii) 最大余震のマグニチュード $M_{a,t,1}$ ($t = 1, 2, \dots, 5$)と本震のマグニチュード M_0 の間には、一般にある程度の相関があり、次のように与えられる。

$$\begin{aligned}
 M_{a1,1} &= 1.01 M_0 - 1.74 & (r = 0.66) \\
 M_{a2,1} &= 0.98 M_0 - 1.78 & (r = 0.64) \\
 M_{a3,1} &= 0.90 M_0 - 1.20 & (r = 0.63) \\
 M_{a4,1} &= 1.02 M_0 - 2.24 & (r = 0.68) \\
 M_{a5,1} &= 1.07 M_0 - 1.95 & (r = 0.68)
 \end{aligned} \tag{5-1}$$

これにより、本震のマグニチュード M_0 と最大余震のマグニチュード $M_{a,t,1}$ ($t = 1, 2, \dots, 5$)の

差 $D_{at,1}$ ($t = 1, 2, \dots, 5$) は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} D_{a1,1} &= -0.01M_0 + 1.74 \\ D_{a2,1} &= 0.02M_0 + 1.78 \\ D_{a3,1} &= 0.10M_0 + 1.20 \\ D_{a4,1} &= -0.02M_0 + 2.24 \\ D_{a5,1} &= -0.07M_0 + 1.95 \end{aligned} \quad (5-2)$$

式 (5-2) によれば, $D_{at,1}$ ($t = 1, 2, \dots, 5$) は本震のマグニチュード M_0 によって大きく変化しないため, $D_{at,1}$ ($t = 1, 2, \dots, 5$) を本震ごとに平均すると, おおよそ次のようになる。

$$\begin{aligned} D_{a1,1} &\div 1.6 \\ D_{a2,1} &\div 1.9 \\ D_{a3,1} &\div 2.0 \\ D_{a4,1} &\div 2.0 \\ D_{a5,1} &\div 1.5 \end{aligned} \quad (5-3)$$

これによれば, 本震発生後1日以内に生じる最大余震のマグニチュード $M_{a1,1}$ は, 本震のマグニチュード M_0 から 1.6 を引いた程度, また, 本震発生後90日以内に生じる最大余震のマグニチュード $M_{a5,1}$ は, 本震のマグニチュード M_0 から 1.5 を引いた程度となる。

iii) 余震 (ただし, マグニチュード 4.0 以上) の回数 N_{at} ($t = 1, 2, \dots, 5$) と本震のマグニチュード M_0 の間には, ある程度の相関があり, 次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \log_{10} N_{a1} &= 0.41M_0 - 2.39 & (r = 0.48) \\ \log_{10} N_{a2} &= 0.57M_0 - 3.39 & (r = 0.58) \\ \log_{10} N_{a3} &= 0.51M_0 - 3.08 & (r = 0.61) \\ \log_{10} N_{a4} &= 0.56M_0 - 3.45 & (r = 0.63) \\ \log_{10} N_{a5} &= 0.73M_0 - 4.23 & (r = 0.61) \end{aligned} \quad (5-4)$$

これによれば, $M_0 = 8$ クラスの巨大地震の場合には, 本震発生後1日以内に8回程度の余震が, また, 本震発生後90日以内には40回程度の余震がそれぞれ生じることになる。また, $M_0 \geq 7.5$ となると, 一般に本震発生後1日以内に必ずといってよいほど余震を伴い, さらに $M_0 \geq 7.1$ の地震では, 本震発生後90日以内には必ず余震を伴うと言える。

iv) 本震が発生してから最大余震が発生するまでの時間 $T_{at,1}$ ($t = 1, 2, \dots, 5$) は, 地震ごとにばらつきが大きく, これらと本震のマグニチュード M_0 との相関は低い。

(3) 前・余震による地震動強度

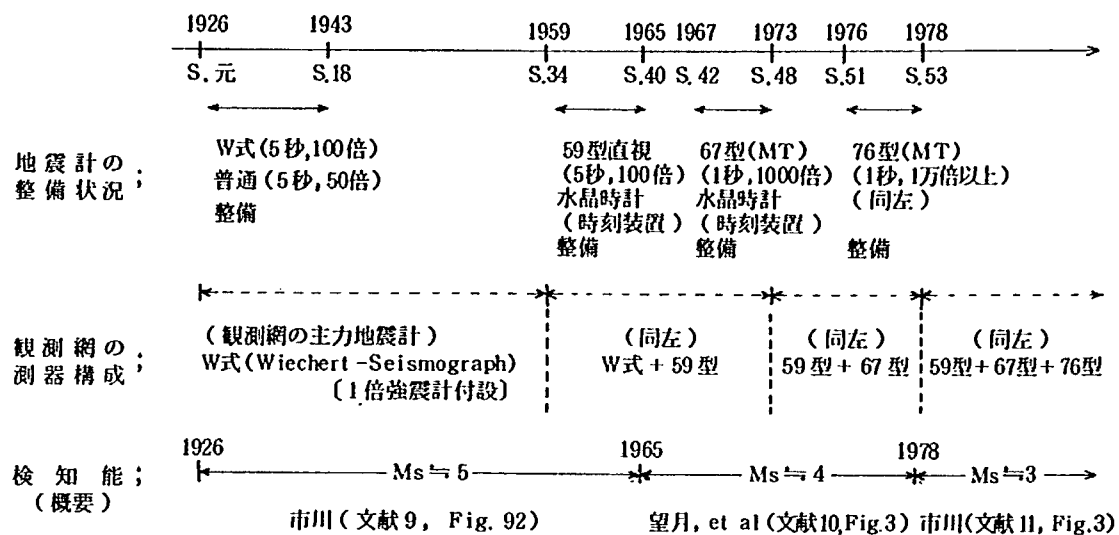
最大加速度, 最大速度, 最大変位および加速度応答スペクトルの4つの指標により, 前・余震による地震動強度を本震による地震動強度と比較すると, 図4-7, 図4-8のように推定される。これによれば, 本震発生後90日以内に発生する最大余震による地震動強度は, 本震による地震動強度に比較し, 最大加速度および短周期領域の加速度応答スペクトル (固有周期約0.3秒以下) は, 約半分程度もしくはそれ以下, また, 最大速度および最大変位はこれよりもさらに小さく40%以下となると考

えられる。なお、本震発生後1日以内に発生する最大余震による地震動強度は、これらよりもやや小さい程度と考えることができる。

参 考 文 献

- 1) 宇津徳治：1885 年～1925 年の日本の地震活動，震研彙報，54，253～308，1979
- 2) 気 象 庁：本邦被害地震表，地震観測指針（参考編），付表 5，177～255，1982
- 3) 宇津徳治・関：余震区域の面積と本震のエネルギーとの関係，地震Ⅱ，7，233～240，1955
- 4) 坪井忠二：新・地震の話，88～90，岩波新書，1967
- 5) 気 象 庁：改訂日本付近の主要地震の表（1926年～1960年），地震月報別冊第 6 号，1982
- 6) 気 象 庁：地震月報の資料，1961～1981
- 7) Utsu T.：Aftershocks and Earthquake Statistics (I) — Some Parameters Which Characterize An Aftershock Sequence and Their Interrelations —, J. Fac. Sci, Hokkaido Univ, Series VII, 3, 129～195, 1969
- 8) 宇佐美龍夫：資料日本被害地震総覧，東大出版会，1975
- 9) 市川政治：気象庁地震観測網の震源決定の精度・能力，研究時報，21巻，6号，1969。
- 10) 望月英志，小林悦夫，岸尾政弘：1965～1974年の気象庁の震源検知能力，験震時報，第42巻，1978。
- 11) 市川政治：気象庁新地震観測網，震源決定能力，験震時報，第42巻，1978。
- 12) 勝又 護：日本列島およびその周辺におけるサイスミシティとそれに関連する諸問題，験震時報，第35巻，1970。
- 13) 宇津徳治：地震学，共立全書，No 216，共立出版，昭和 52 年 9 月。
- 14) 日本道路協会：道路橋示方書・耐震設計編，昭和55年 5 月。
- 15) 建設省土木研究所振動研究室：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法，（その 1），（その 2），（その 3），（その 4），土研資料 1765 号，1841 号，1864 号，1993 号，昭和 57 年，58 年。
- 16) 川島一彦，相沢興，高橋和之：加速度応答スペクトルの予測式，第17回地震工学研究発表会，土木学会，昭和 58 年 7 月。
- 17) 川島一彦，相沢興，高橋和之：最大地震動の予測式，第17回地震工学研究発表会，土木学会，昭和 58 年 7 月。
- 18) 建 設 省：新耐震設計法(案)，土研資料 1185 号，昭和53年 3 月。

付属資料-I 気象庁地震観測網の震源決定能力(検知能)の変遷



* 気象庁(昭50): 気象百年史, その他による。

前・余震の頻度および規模に関する調査

ISSN 0386-5878
土研資料第 1995 号
昭和58年3月(1983)

荒川直士
川島一彦

キーワード：震災復旧，余震，前震

要旨 本報告は将来の震災復旧対策に資することを目的に1885年以後に我国周辺で発生した合計156 個の被害地震を対象とし，これらに伴って発生した前・余震の規模および頻度，本震との発生時間の差，起こり方の地域特性等を調査した結果をとりまとめたものである。



郵便はがき

四十円切手
を貼って
さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
地震防災部振動研究室
御中

No. 187

No. 187

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1995号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印