

土 木 研 究 所 資 料

地震災害危険度解析に用いる我が国周辺の地震活動の 地域区分および可能最大地震の規模

Seismicity and Maximum Possible Earthquake around
Japan for Application to Seismic Risk Analysis

昭和59年 3 月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

Copyright © 1984 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 General 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なってはならない。

ま え が き

本報告は、地震災害危険度の解析に重要な我が国周辺の地震活動の地域特性を検討するとともに、各種構造物の耐震設計で考慮すべき地震荷重の上限を与える巨大地震について、その発生が可能な最大規模（マグニチュード）を調査した結果をとりまとめたものである。

なお、本報告のもととなる解析は(財)日本気象協会に委託して行ったものであり、解析に際しては、日本気象協会調査部正務章および渋谷喜博の両氏の多大な御協力を得た。ここに記して厚くお礼申し上げる次第である。

昭和 59 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. 解析対象とする地震データ	2
3. 我が国周辺の地球物理学的特性および被害地震の分布	3
3.1 日本付近の大地形	3
3.2 日本付近の重力のアイソタシー異常	3
3.3 日本付近の熱異常	4
3.4 日本の火山の分布	4
3.5 前震, 余震, 群発地震の起こり方から推定される日本付近の地殻構造	6
3.6 日本の被害地震の震央分布における地域性	6
3.7 地震活動の地域区分 (暫定区分)	8
4. 地震活動の地域区分	10
4.1 小活動区ごとの累積地震発生回数とマグニチュードの関係	10
4.2 地震活動度の地域区分	12
5. 可能最大地震のマグニチュードの推定	24
6. まとめ	39
参考文献	40

1. 概 説

耐震設計とは、地震に対して構造物が安全であるよう構造物を設計する行為全般を指すが、この際に地震外力としてはどの程度の力を設計に見込めばよいのであろうか。構造物に作用する外力、すなわち構造物に生じる応答の大きさは、構造物自身の特性と地震動の強度の両者によって決まる。地震動とは、地殻の破壊によって生じた波動が地盤中を伝播する際に生じる振動であり、その大きさは一般に地震の規模（マグニチュード）と断層から当該構造物までの距離、および構造物周辺の地盤条件によって決まる。構造物を設計する際には、常時構造物に作用する外力すなわち死荷重や水圧、活荷重等に対しては、一般にこれらの外力がとり得るおおむね上限の値を設計荷重として用いることが普通である。これに対して、地震荷重のように常時には作用せず、ある特殊な期間にのみ作用するような外力の場合には、一般に作用し得る最大の外力を設計上の荷重ととるのではなく、当該外力の発生の確率を考慮してこれよりも低めの値が用いられる。現在、震度法による耐震設計に用いられている設計震度 0.2 に代表される地震荷重はこのようにして定められたものである。したがって、現状の耐震設計で考慮している地震外力は起こり得る最大の地震動を対象にしたものではない。

しかしながら、いかに発生の確率が低いとはいえ巨大地震の際に構造物が破壊し、人命の損失等を招くことは避けなければならないことから、耐震設計では一般に現在次の 2 つの条件を満足することが目標とされている。

- 1) 構造物の耐用年数内に生じることが期待される程度の地震動に対しては、構造物が本質的な機能を損なうような損傷を受けてはならない。
- 2) 当該地点にまれに発生する大地震に対しては、構造部材に相当な損傷が生じることが受認するが、人命の損失に係わるような構造物の崩壊は防止する。

このうち、現在は主として 1) の状態を設計計算上満足するように設計すれば、2) の状態は自動的に満足されると考えて耐震設計を行っているが、今後は 2) の状態に対する照査を具体的に行うことが求められるようになると考えられる。このような耐震設計を今後行っていくとすれば、まれに起こる大地震として各地でどの程度の規模の地震を考慮すべきかについて検討しておくことが必要とされる。

本報告は、我が国周辺において、構造物の耐震性に最も甚大な影響を及ぼすと考えられる巨大地震の規模について調査し、発生し得ることが可能な最大地震として、どの程度の規模の地震が存在し得るかを予備的に検討した結果をとりまとめたものである。

2. 解析対象とする地震データ

本調査で対象とする地震は、1885年（明治18年）から1981年（昭和56年）に至る満97年間に我が国周辺で発生したマグニチュード5.0以上の浅発地震（震源深さ60km未満）とする。このうち、1885年（明治18年）～1925年（大正14年）については、宇津〔1979〕による日本の地震の表、1926年（昭和元年）～1960年（昭和35年）については気象庁による改訂日本付近の主要地震の表〔1982〕、また、1961年（昭和36年）～1981年（昭和56年）については気象庁地震月報に、それぞれよるものとする。なお、解析に際しては、地震資料の精度の変遷を考慮し、1885～1925年間と1926～1981年間の二つの期間に分けて、それぞれ解析することとした。解析対象とした地震の総個数は、1885～1925年間では389個、1926～1981年間では2469個である。

3. 我が国周辺の地球物理学特性および被害地震の分布

3.1 日本付近の大地形

図3-1は我が国付近の大地形を、水深-2,000mと-6,000mを境として3つに区分したのである。ここで、大地形とは、一般に地球の表面から海水を取り除いたと仮定した場合の陸地と海底をひと続きとして大きく眺めた凹凸をいう。これによれば、水深-6,000m以下の地帯は千島海溝、日本海溝、伊豆小笠原海溝の3海溝および、琉球海溝に相当する。これらの海溝と島弧との間は水深-2,000mから水深-6,000mに至る大規模な斜面となっている。また、細長い隆起部（島弧）と沈降部（海溝）は互いにおおむね平行して分布していることがわかる。さらに、図3-2に示すように我が国は東日本島弧系と西日本島弧系の2つの島弧からなっているとされている。

3.2 日本付近の重力のアイソスタシー異常

図3-3は日本周辺のアイソスタシー異常（均衡異常）値の分布を示したものである。これによれば、日本海溝沿いに100ミリガルもしくはそれ以上の負の異常地帯が分布していることがわかる。これらの地帯では、軽い物質が静水圧平衡に逆らって無理に地下の深所へ押し込まれていることを示しているとされている。図3-3においては、東北日本と西南日本、本州の太平洋側と日本海側で、それぞれ異常値の分布の様子が大きく異っていることに注意する必要がある。

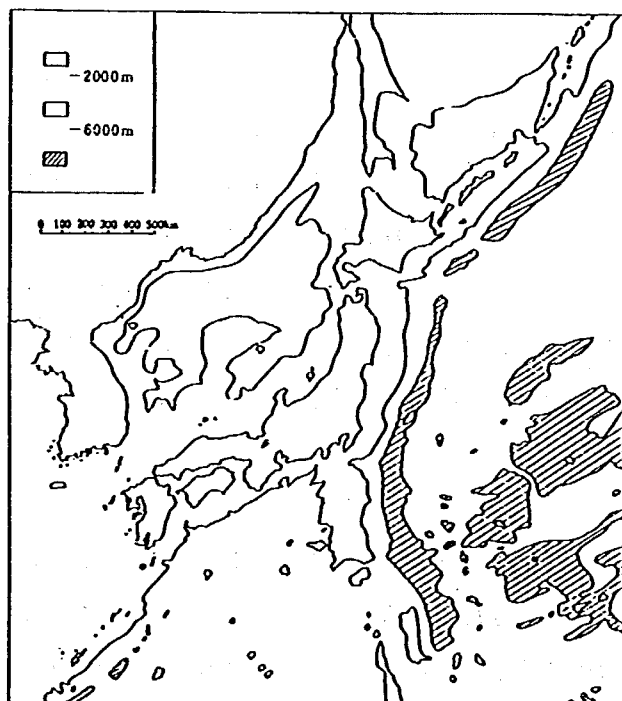


図3-1 日本付近の大地形（〔3〕による）

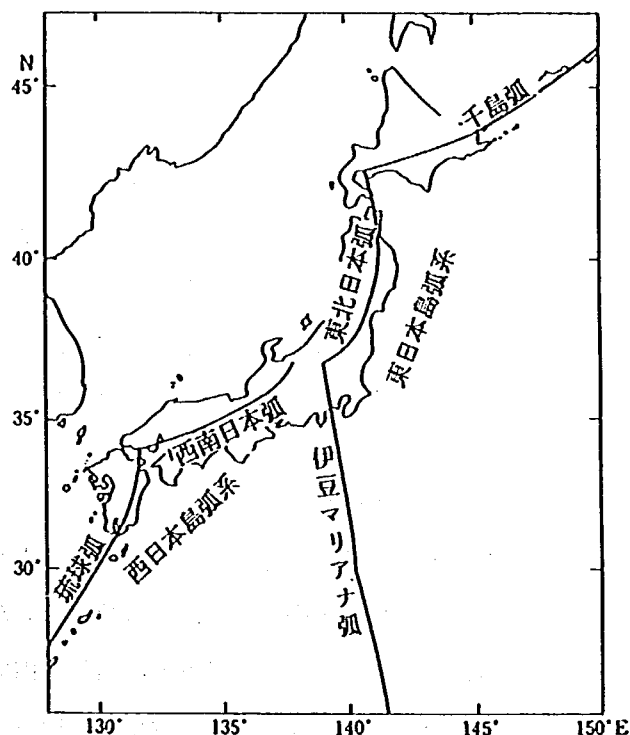


図3-2 日本を構成する2つの島弧系（〔3〕による）

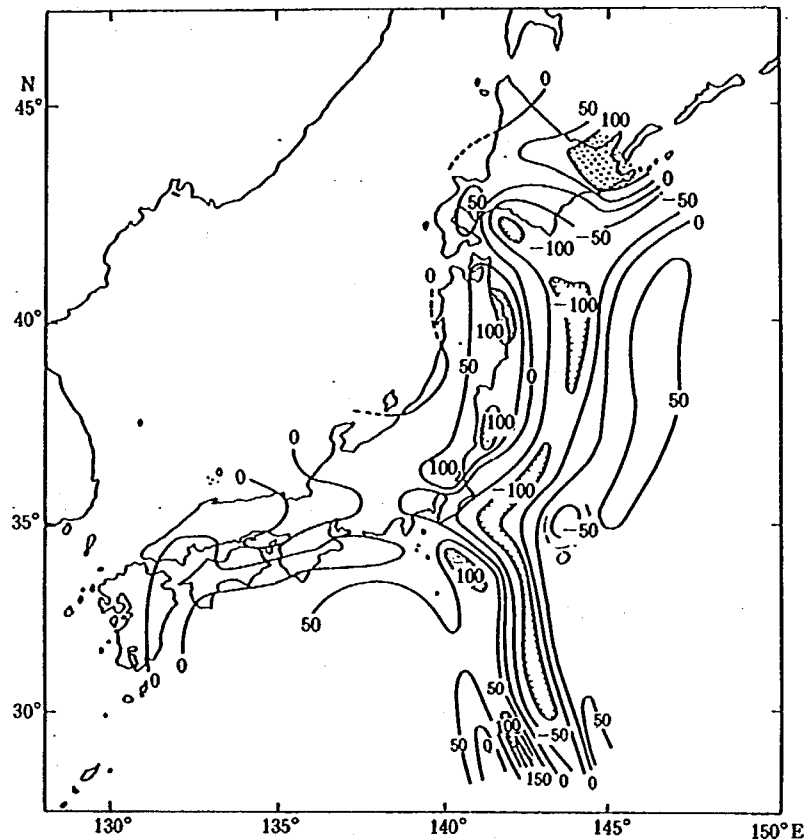


図3—3 日本付近における重力のアイソスタシー異常値の分布 (単位：ミリガル) ([3] による)

3.3 日本付近の熱異常

地球上においては、どこでも地球内部から地表に向けて熱が流れている。図3—4は日本付近におけるこうした熱流量の分布を示したものである。世界の平均的な熱流量は 1.5 HFU ($10^{-6} \text{ cal / cm}^2 \cdot \text{s}$) とされており、一般には便宜的に、 2.0 HFU 以上を正の熱異常、 1.0 HFU 以下を負の熱異常とそれぞれ呼ばれている。いま、図3—4において、 1.5 HFU の等値線を境として熱流量の多い所と少ない所に分けてみると、前述した2つの島弧系に平行してこのような等値線が分布していることがわかる。また、東北日本と西南日本では、熱流量の分布は異なり、さらに、本州の太平洋側では一般に熱流量は少なく、日本海側では多いことが注目される。

3.4 日本の火山の分布

日本の火山帯は、古くは7個程度に区分されていたが、最近では、図3—5に示すように、東日本火山帯と西日本火山帯の2つに区分するのが一般的とされている。これによれば、火山帯の外側（海溝側）のへりは明瞭であるのに対し、内側のへりははっきりしていない。火山の数も外側（海溝側）のへりに沿って集中的に分布している。また、火山フロントは前述した熱流量の異常の多い地域と少ない地域とを分ける 1.5 HFU の等値線（図3—4参照）とおおむね一致しているのが注目される。

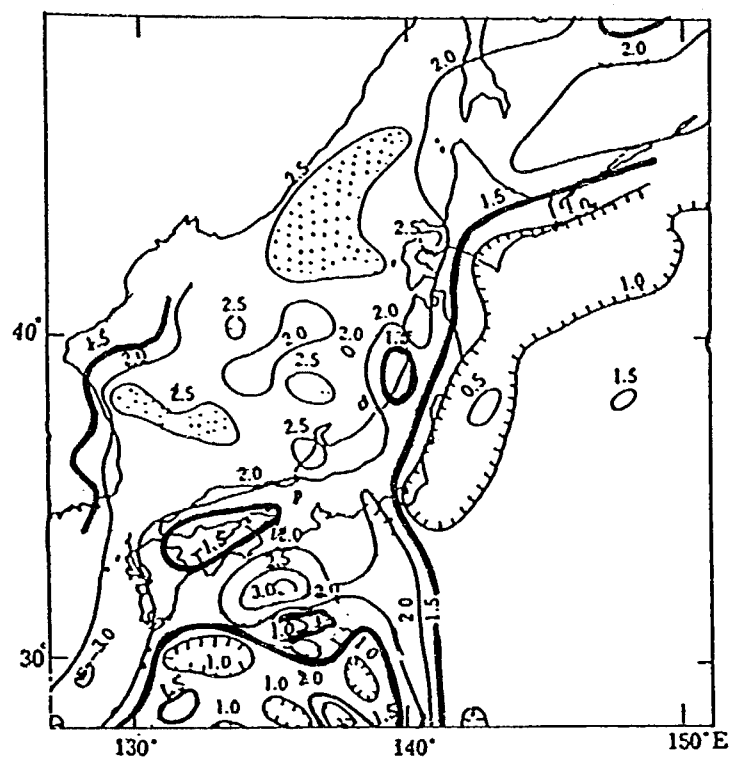


図3-4 日本付近における熱流量の分布
(単位: HFU = 10^{-6} cal/cm²・s) ([3]による)

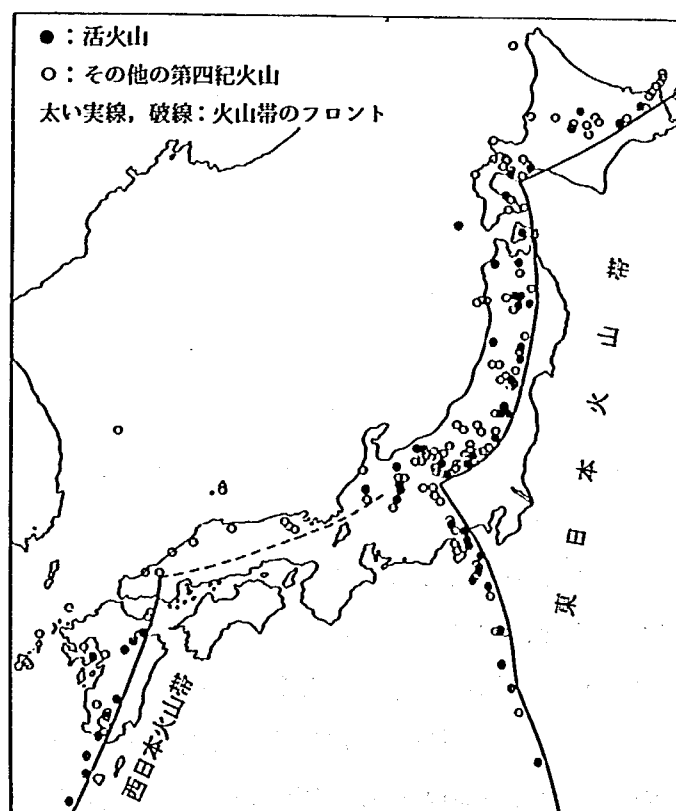


図3-5 日本の火山と火山フロント ([3]による)

3.5 前震、余震、群発地震の起こり方から推定される日本付近の地殻構造

茂木は不均一度の違った各種の脆い材料の破壊実験を行った結果、微小破壊振動の発生型式には、(a) 本震 — 余震型、(b) 前震 — 本震 — 余震型、(c) 群発型の3種類があり、これらは構造的不均一度もしくは応力分布の不均一度の違いに由来するとしている。⁴⁾⁵⁾ また、このような地震発生に関するモデル実験結果をもとに、自然地震の発生型式にもやはり(a)~(c)の3種類があり、明瞭な地域性を示すことを指摘している。

図3-6は、このような地震群の発生型の違いから推定された地殻構造（破碎度）の地域性を示したものであり、図中の記号は4→3→2→1と、破碎度が高くなることを示している。

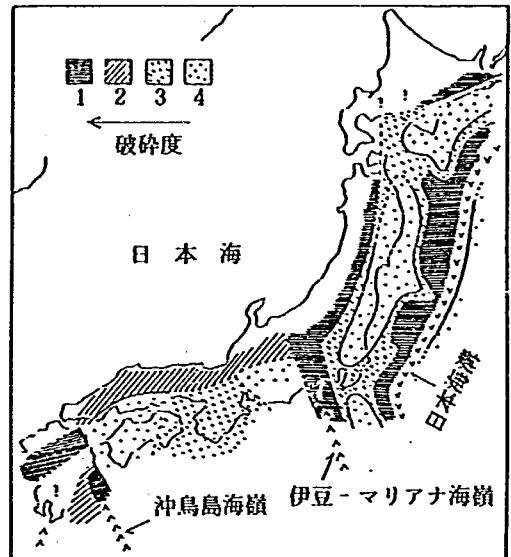


図3-6 地震の発生パターンから推定される地殻構造の地域性（〔5〕による）

3.6 日本の被害地震の震央分布における地域性

宇佐美によれば、1873年（明治6年）から1973年（昭和48年）の101年間に発生した日本の被害地震の震央分布は図3-7のとおりである。⁶⁾ これによると、被害地震の分布について以下の事項が指摘される。

- (a) 被害地震は日本全体にわたって、一様に起ってはいない。
- (b) 北海道の内陸部においては、東部地区を除けば被害地震は起こっていない。
- (c) 東北日本における被害地震の震央分布を東日本火山帯のフロントで区分してみると、その西側で分布の様子が異っている。すなわち、火山フロントの東側で発生する地震は、陸地よりむしろ沖合の海底で多く発生する傾向にある。これに対し、火山フロントの西側では、被害地震は内陸から沿海部にかけての地域に起こっている。さらに、地震の個数は、火山フロントの西側に比較して火山フロントの東側に多い。
- (d) しかしながら、西南日本においては、被害地震は陸地を中心に起こっており、東日本火山帯の火山フロントの東側に比べると、地震個数は少ない。
- (e) 被害地震の起こった箇所は、地域的に比較的好くまとまっている。すなわち、北海道の南東部から岩手県の沖合海底の三角地域、宮城県から茨城県の沖合海底の長方形地域、関東地方の南部から南西部にかけての地域、琵琶湖周辺地域、紀伊半島とその南方海底、山陰地方沿海部、宮崎県東方海底、九州西部沿海地帯などである。

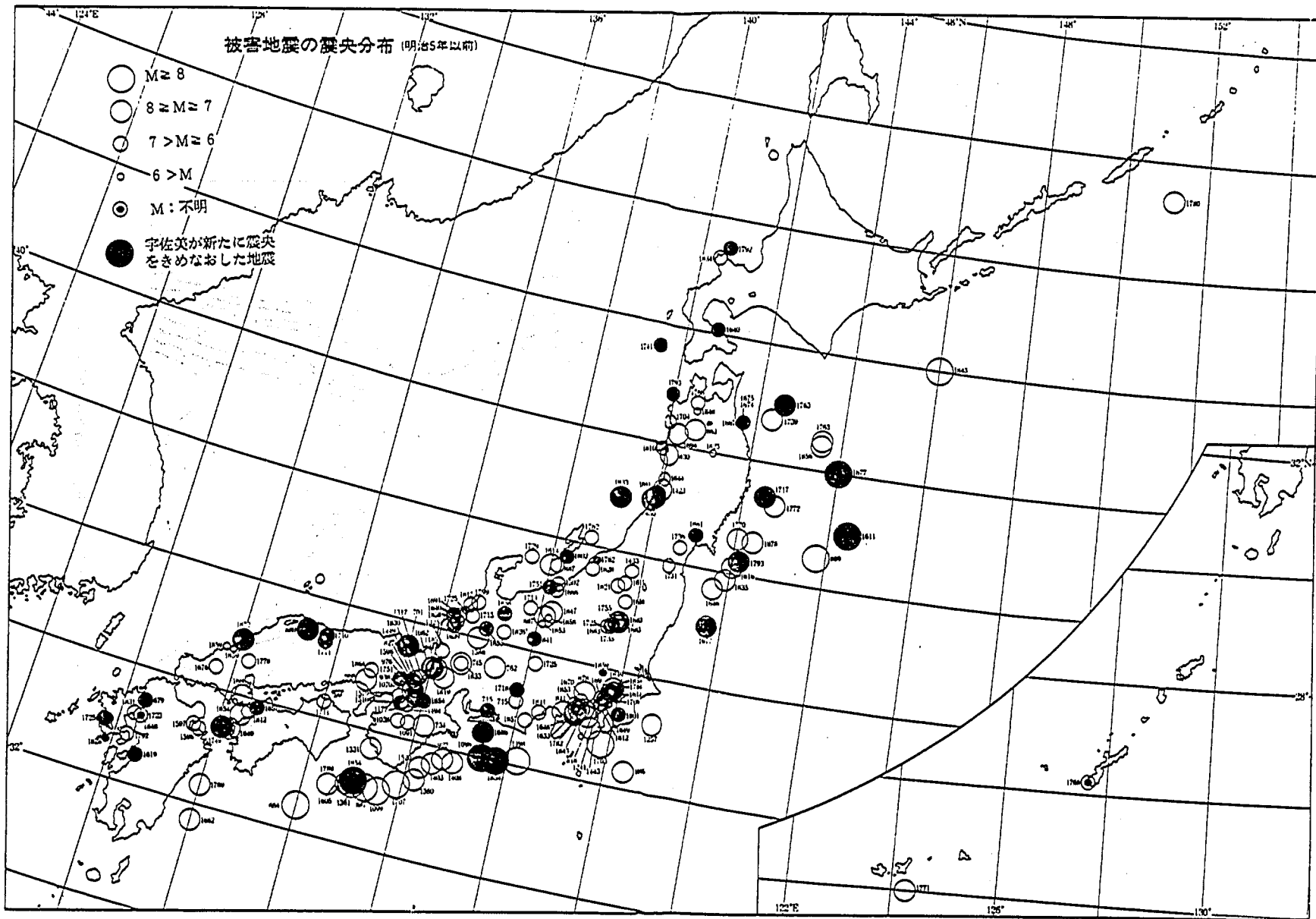


図3-7 日本の被害地震の震央分布 ([6] による)

3.7 地震活動の地域区分（暫定区分）

以上，3.1～3.5に示した日本列島付近の地球物理学的な特徴のうち主要なものを重ね書きすると，図3-8のようになる。これに図3-6を重ねると，日本列島は巨視的に，北海道，東北日本（フォッサマグナより東側の本州），西日本（フォッサマグナより西側の本州），九州の4つに分けることができる。このうち，前三者はさらにそれぞれ太平洋側と日本海側に，また，九州は太平洋側と東支那海側にそれぞれ分けることができるため，結局，日本列島を大きく合計8地区に大別することができる。

しかしながら，3.6に示した1873（明治6）年以降の被害地震の震央分布によれば，このような8地区内の地震の起こり方にはまだかなりはっきりした地域性を見ることができる。そこで，上記の8地区の分割を基礎に図3-9に示すように日本列島を緯度，経度それぞれ2度を基準に合計24の小地区に区分した。ただし，24個の小地区の面積は全て同一になるように区分している。以下，次章においてこれら小地区（以下，小活動区と呼ぶ）における地震活動度を検討することとする。

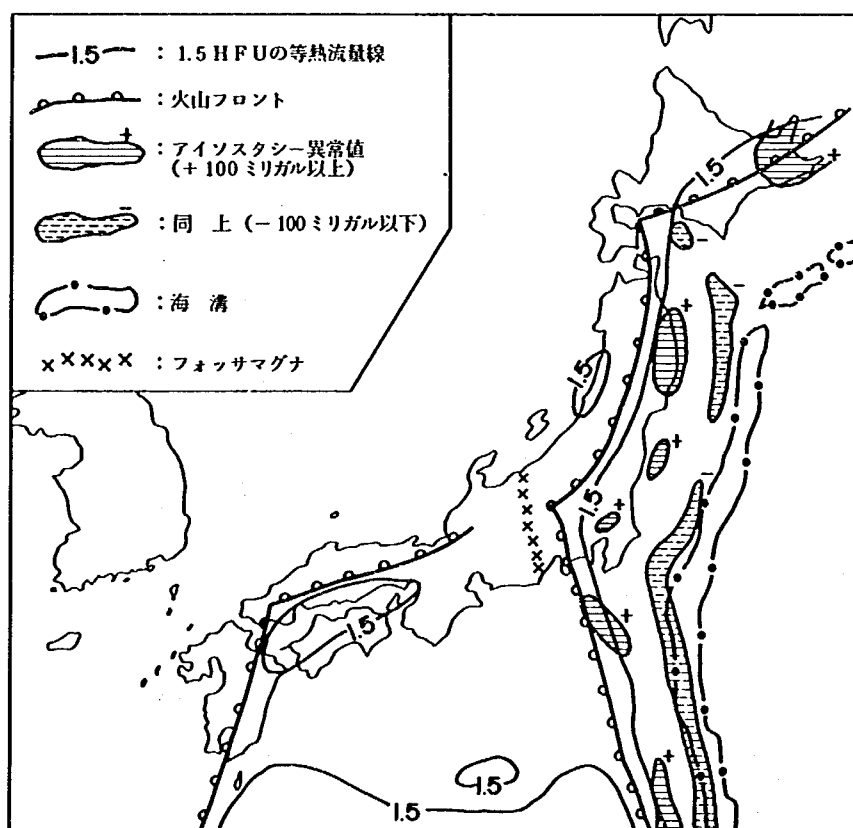


図3-8 物理物理的特徴の概略分布

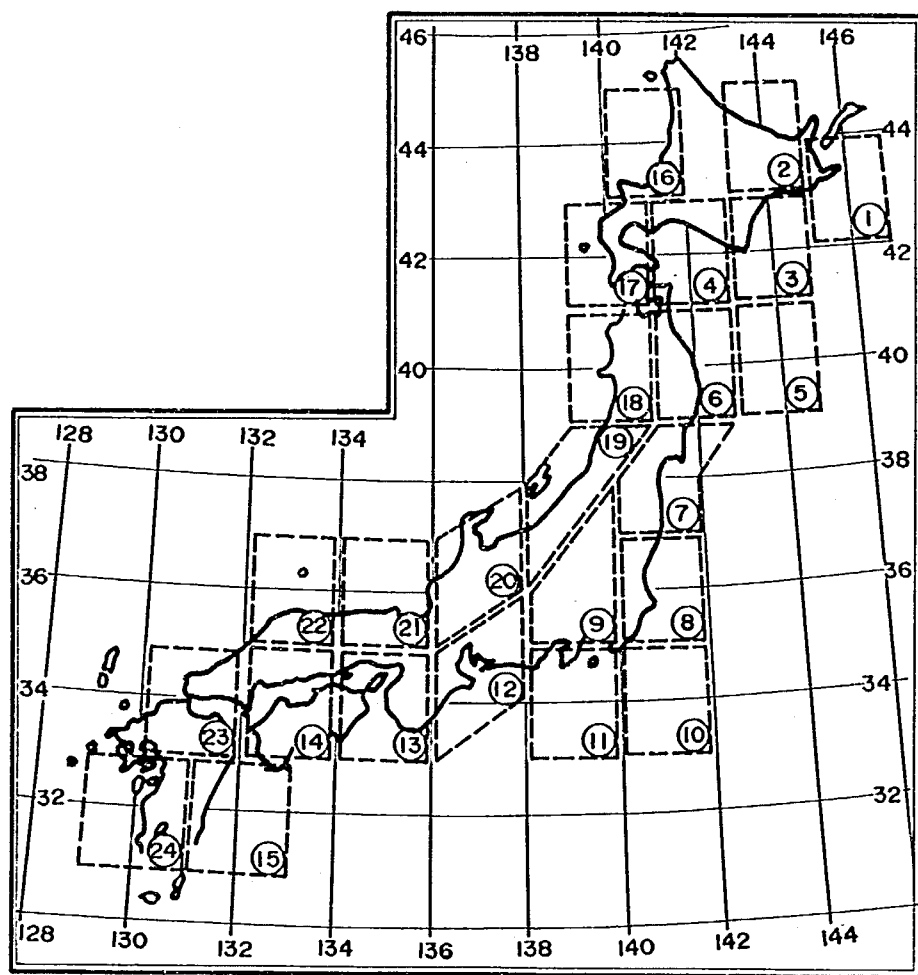


図 3 - 9 暫定的小活動区とその番号

4. 地震活動の地域区分

4.1 小活動区ごとの累積地震発生回数とマグニチュードの関係

ある地域内においてある期間内に発生したマグニチュードがM以上の地震の累積個数をN(M)とすれば、 $\log N(M)$ とNとの間には一般に Gutenberg-Richter の式(以下、G-R式と呼ぶ)と呼ばれる次の関係がある。

$$\log N(M) = a - bM \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

ここで、 $a = \log N(0)$ であり、また、bは式(4-1)の直線の勾配を表わしている。係数aは対象とする地域の広さや期間の長さにより変化するが、係数bはこうした点に係りなく、対象地域内の歪エネルギーが大小の地震にどのように分配されて放出されるかという特性に支配されると考えられている。

3.7に示した24個の小活動区では、面積はすべて同一にとられており、また、統計年数も同一であるため、それぞれの小活動区ごとに定めた係数a、bは、それぞれの小活動区における地震の活動状況を相対的に表わす指標になると考えられる。そこで、24の小活動区ごとに、 $\log N(M)$ とMの関係プロットした結果が図4-1である。ここで、解析対象期間は、(a) 1885～1925年、および、(b) 1926～1981年の2つに分けている。G-R式で示される経験的事実によれば、対象とする小活動区で発生した地震が余す所なく検知されているとすれば、 $\log N(M) \sim M$ の関係は直線となるはずである。したがって、もし、Mの小さい範囲で $\log N(M) \sim M$ の関係が直線とならず、図上で上に凸形の分布になるとすれば、これはその小活動区においてMの小さい地震に検知もれがあることを示している。このような見方で図4-1を見ると、1885～1925年間の地震資料の場合には、検知能は日本の中央部(例えば、7, 8, 9, 19, 20の小活動区)において5.9程度であり、これから離れると更に低くなることがわかる。これに対して、地震観測網が順次整備されてきた1926～1981年の地震資料では、各活動区ともおおむね $M > 5$ の地震についてはもれなく検知されているとみてもよいであろう。このような点から、以下に示す地震活動度の解析には1926～1981年の地震資料を用いることとした。

G-R式の係数a、bは次の2種類の方法で求めることとした。

- i) 片対数方眼紙上で $\log N(M) \sim M$ の関係を目視でもっともよくあてはまるように直線を引き、これより係数a、bを求める。
- ii) 宇津により提案された最尤法により係数bを求め、これを用いて係数aを求める。係数bの算定は次式による。

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} = \frac{0.4343}{\bar{M} - M_0} \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

ここで、 $\bar{M}$ は資料として用いたマグニチュード M_0 以上の全地震の平均のマグニチュードである。

以上の2種類の方法で24の小活動区ごとにG-R式の係数 a 、 b を求めた結果を表4-1に示す。ただし、小活動区No17においては、地震個数が少ないため、係数 a 、 b を求めていない。表4-1によれば、上記i)、ii)の方法による係数がおおむね一致している小活動区もあるが、かなり結果が違ふ小活動区も多い。しかしながら、ここでは、小活動区ごとの地震個数 $N(M)$ が必ずしも十分多くはないため、ある程度の判断を加えながら係数 a 、 b を求めた方がよいのではないかとの判断で、i)の方法により定めた係数 a 、 b を中心に、以下の解析を進めることとする。図4-2は、i)により定めた $\log N(M) \sim M$ の関係式をもとの地震資料と比較して示したものである。また、小活動区ごとの係数 a および b の分布を示すと図4-3のようになる。

表4-1 24の小活動区における Gutenberg- Richter 式の係数 a および b

	目 視		最 尤 法	
	a 値	b 値	a 値	b 値
1	6.96	0.92	5.55	0.69
2	4.92	0.71	4.77	0.68
3	6.63	0.85	5.28	0.64
4	6.65	0.86	5.97	0.75
5	8.32	1.05	6.49	0.78
6	7.92	1.08	6.08	0.81
7	6.67	0.84	5.35	0.64
8	7.54	0.95	6.12	0.72
9	6.54	0.90	5.67	0.76
10	8.33	1.19	5.94	0.80
11	7.00	0.96	5.97	0.79
12	6.26	0.85	5.59	0.74
13	5.32	0.67	5.09	0.64
14	7.12	1.06	6.35	0.94
15	6.00	0.76	5.79	0.73
16	4.45	0.67	4.68	0.71
17	—	—	—	—
18	3.81	0.48	4.64	0.63
19	6.46	0.92	6.59	0.94
20	4.03	0.53	5.65	0.79
21	4.73	0.61	4.70	0.60
22	8.10	1.26	5.70	0.86
23	5.58	0.83	4.89	0.71
24	7.33	1.11	6.46	0.96

注1) 最尤法の M_0 は、2, 5, 6区では5.6, 14, 24区では5.3, その他の区では5.0とした。

注2) 小活動区No17では地震個数が少ないため、係数 a 、 b を求めていない。

4.2 地震活動度の地域区分

小活動区№17を除く23個の小活動区における係数 a 、 b の単純平均および標準偏差を求めると表4—2のようになる。

そこで、係数 a 、 b の両者に対して、平均値 $\pm \sigma/4$ の区間を並の階級とし、この区間から大きい方（小さい方）へ順次 $\sigma/2$ の間隔で分割し、それぞれ稍大（稍小）、大（小）、非常大（非常

小）、特別大（特別小）と階級を設定する。このようにして求めた係数 a の階級を横軸に、係数 b の階級を縦軸にとって、23の小活動区を該当する階級に区分すると、図4—4のようになる。これによれば、小活動区№3と№4および№7と№9はそれぞれ相互に隣接した地区であり、地震活動度も類似していることがわかる。したがって、ここではこれらの活動区は地震活動が同じ活動区としてそれぞれ総合することにする。ただし、その他の小活動区はいずれも隣接した小活動区間で係数 a 、 b が離れており、独立した小活動区として取り扱うのが適当と考えられる。

以上のようにして、日本列島の地震の活動状況を区分し直すと図4—5のようになる。

表4—2 小活動区における係数 a 、 b の平均および標準偏差

	単純平均	標準偏差 σ
a 値	6.38	1.34
b 値	0.87	0.20

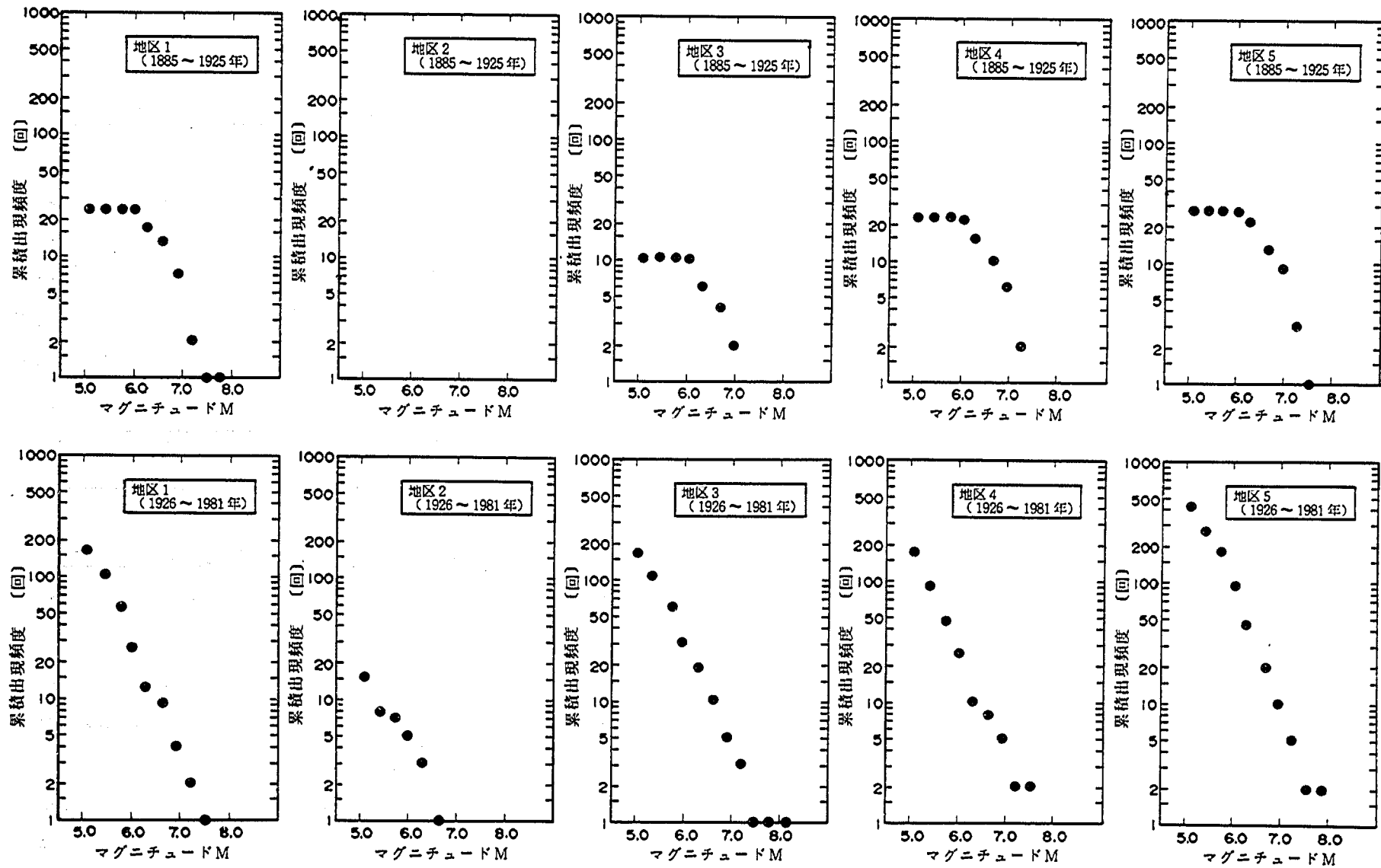


図4-1(1) 小活動区における $N(M) \sim M$ の関係

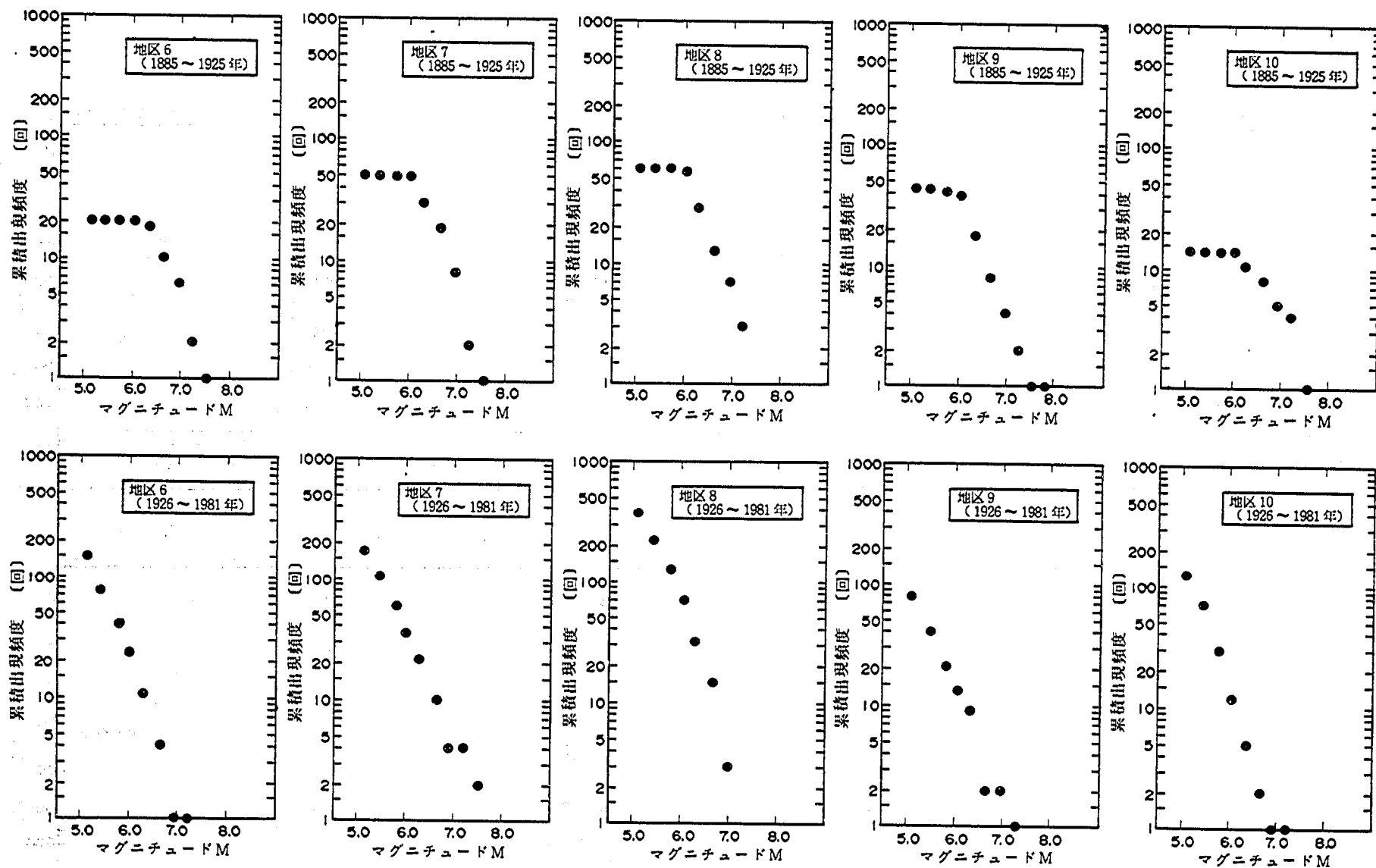


図4-1(2) 小活動区における $N(M) \sim M$ の関係

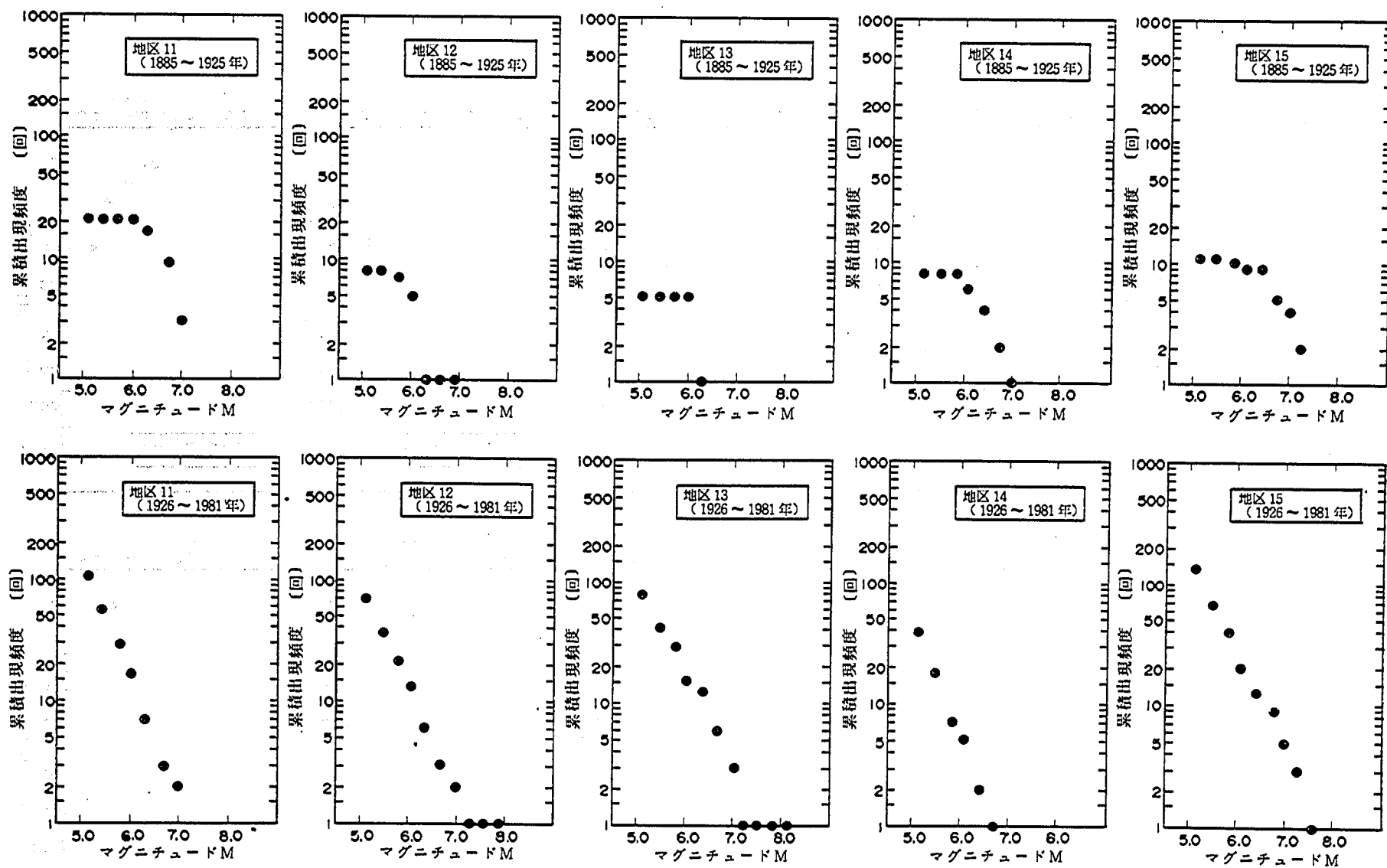


図 4-1(3) 小活動区における $N(M) \sim M$ の関係

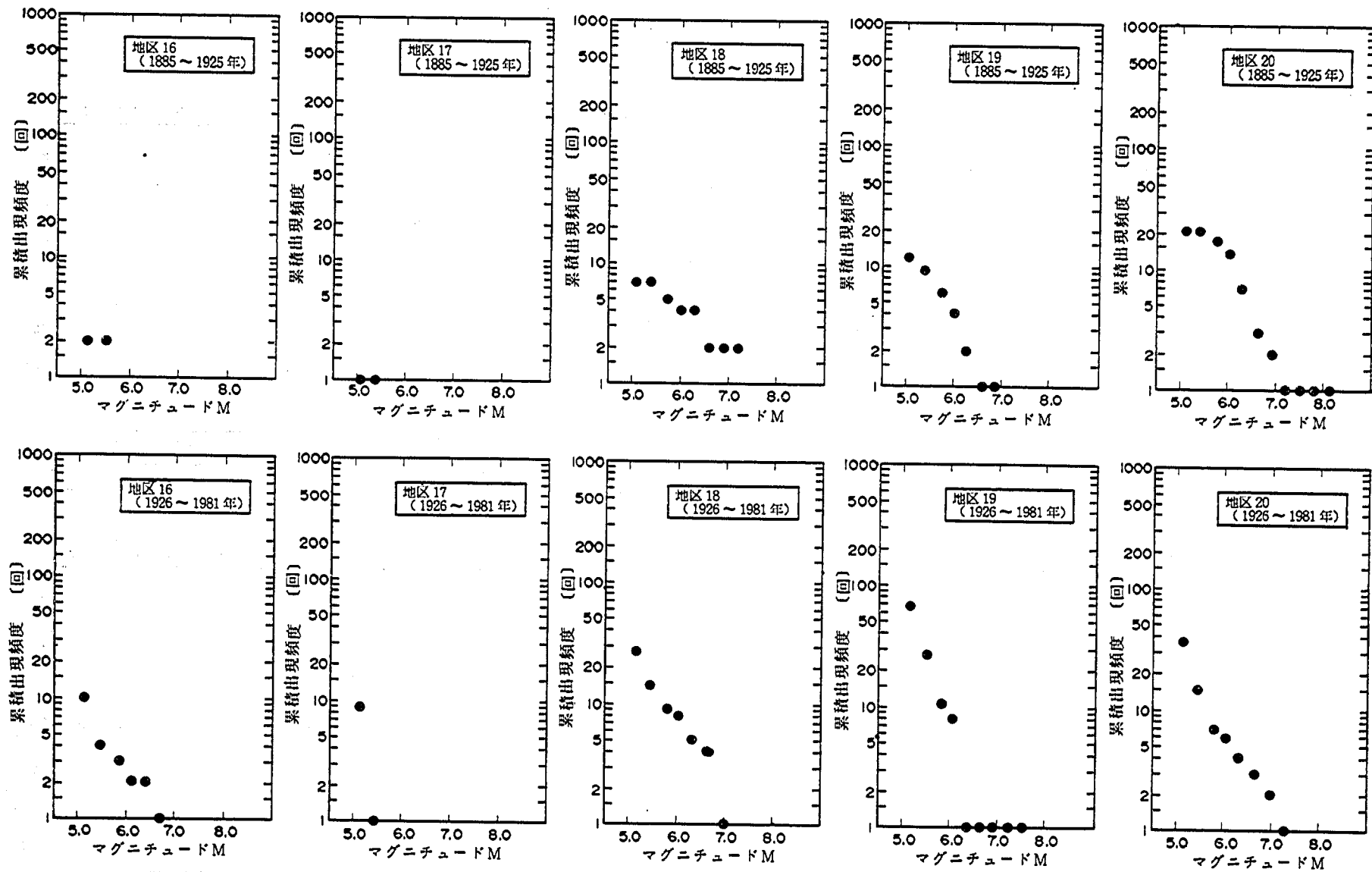


図 4 - 1 (4) 小活動区における $N(M) \sim M$ の関係

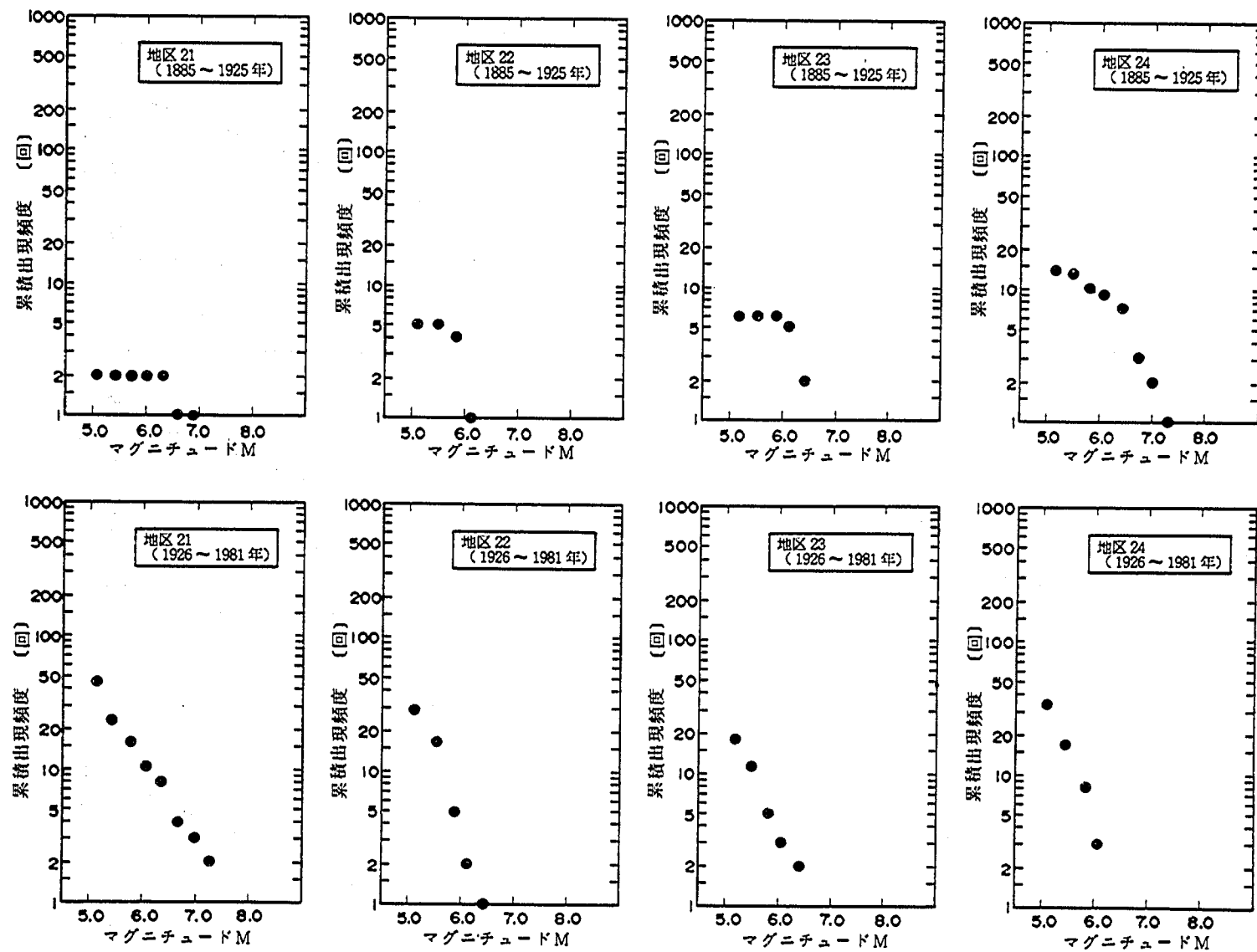


図 4 - 1 (5) 小活動区における $N(M) \sim M$ の関係

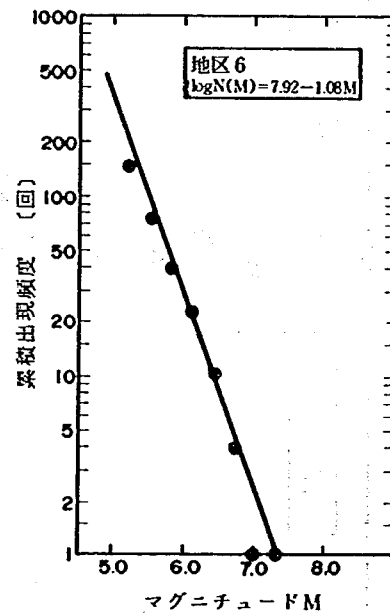
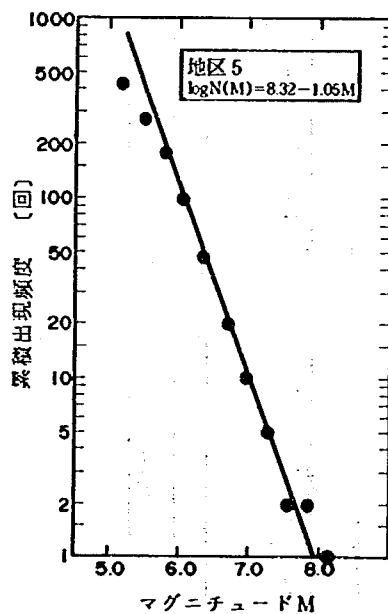
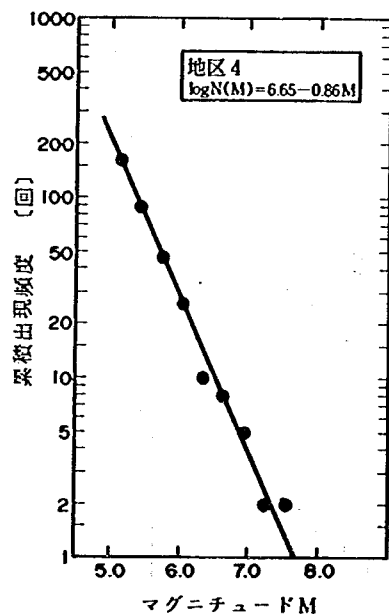
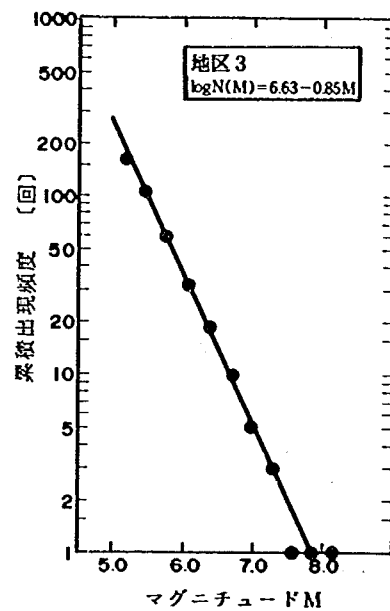
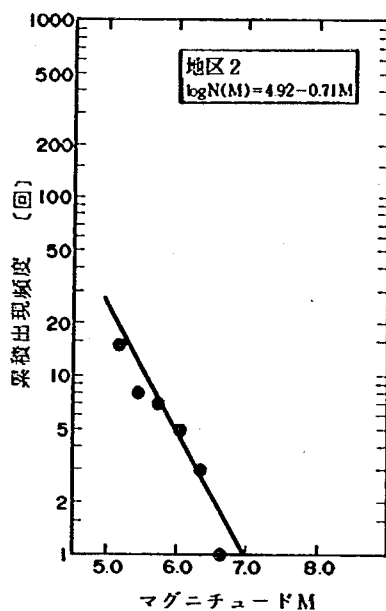
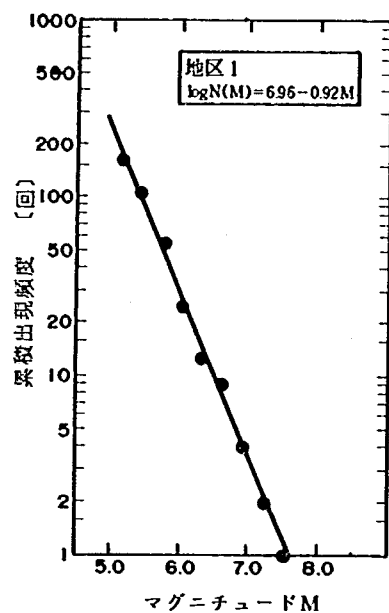


図4-2(1) G-R式により近似した $N(M) \sim M$ 関係ともとの地震特性

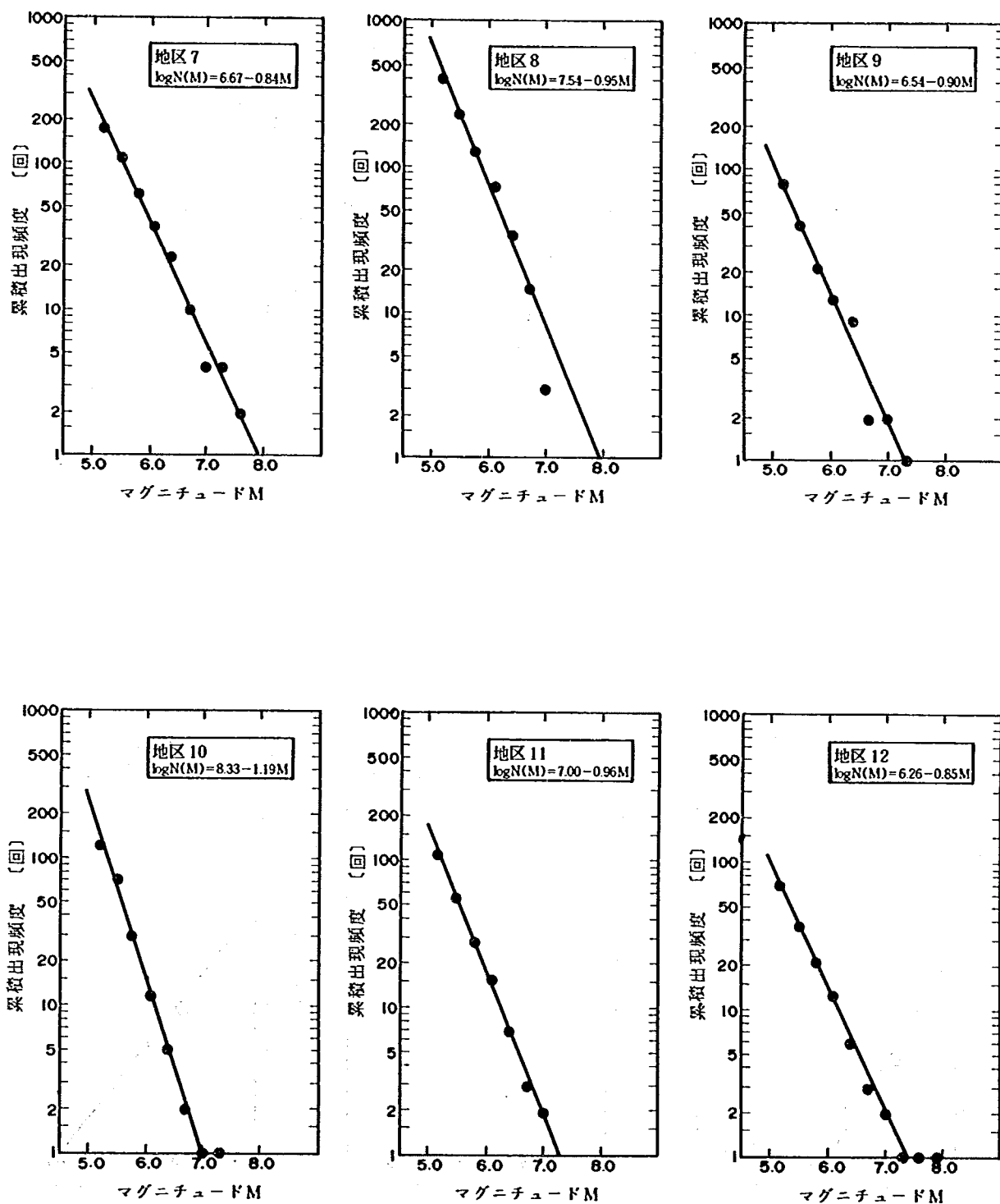


図4-2(2) G-R式により近似した $N(M) \sim M$ 関係ともの地震特性

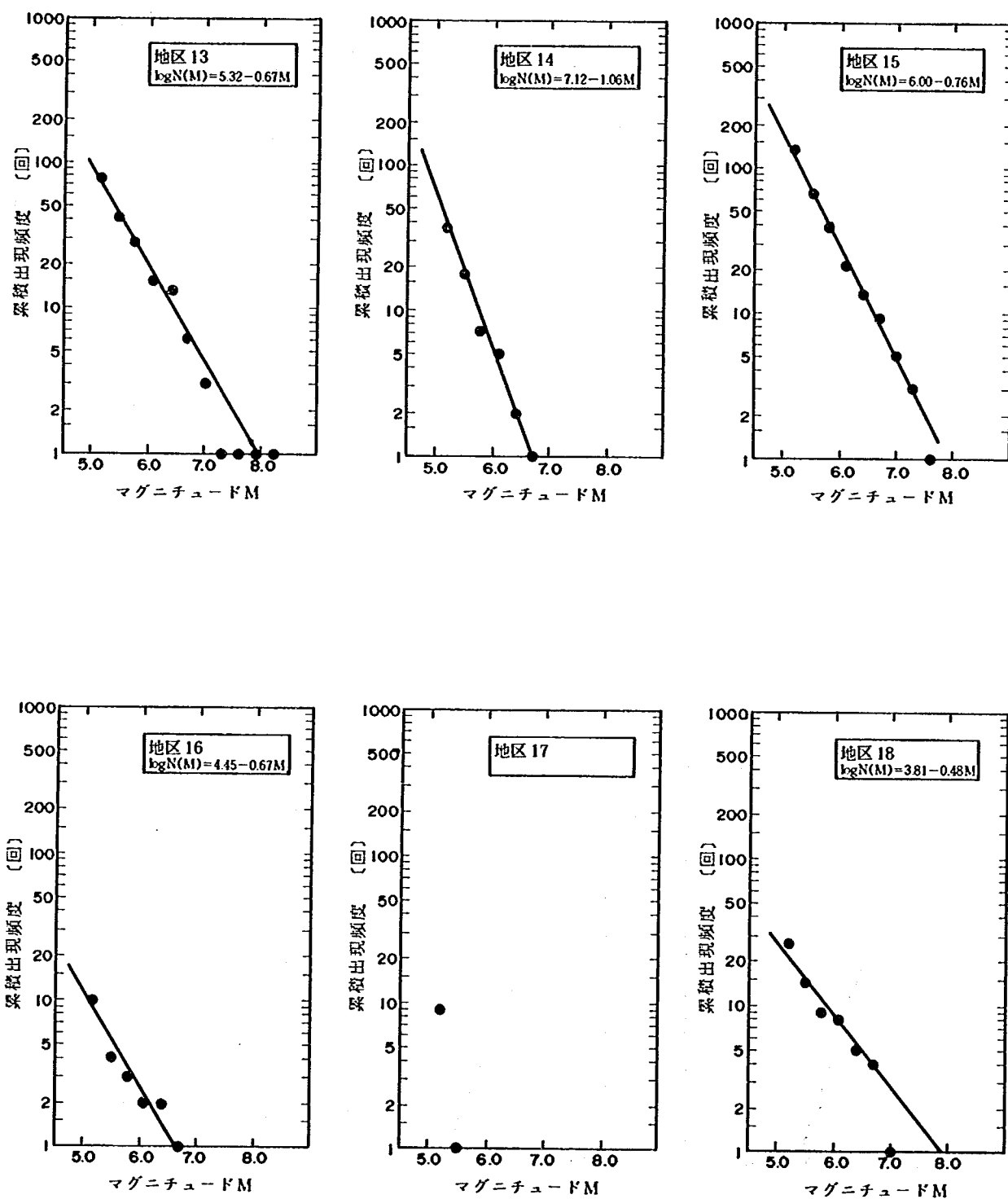


図 4 - 2 (3) G - R 式により近似した $N(M) \sim M$ 関係ともとの地震特性

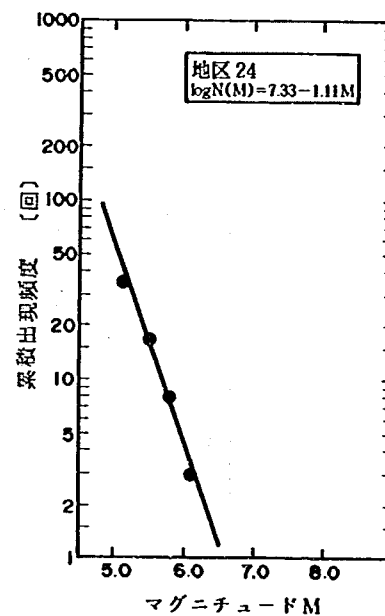
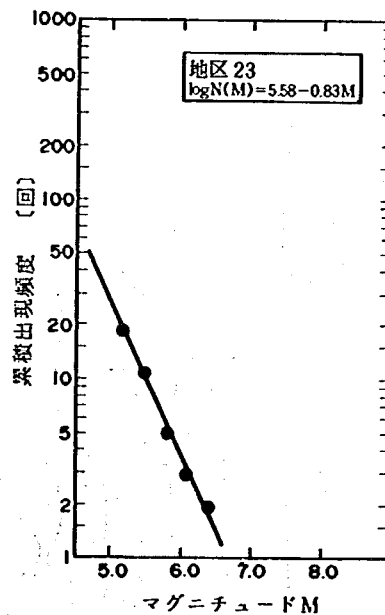
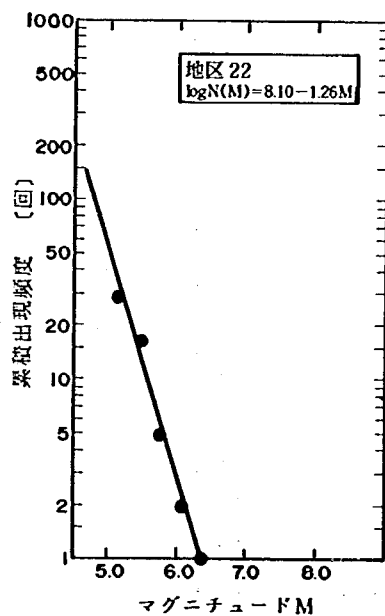
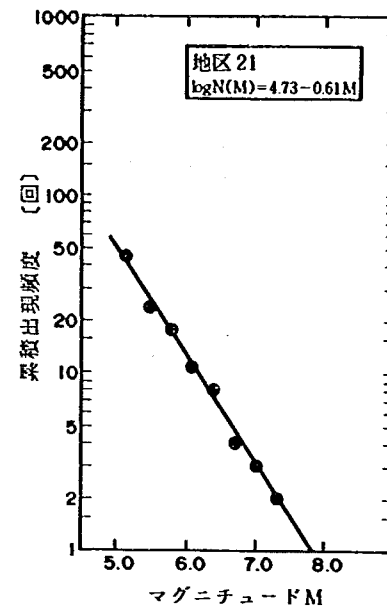
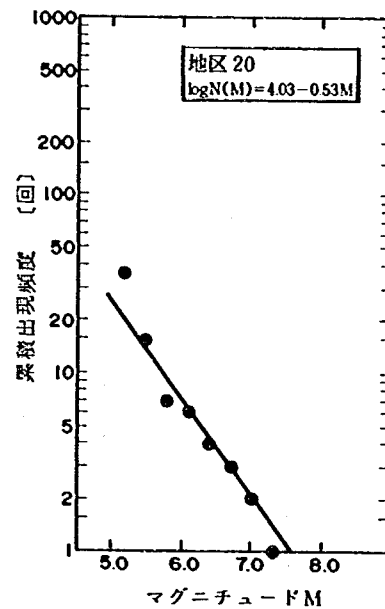
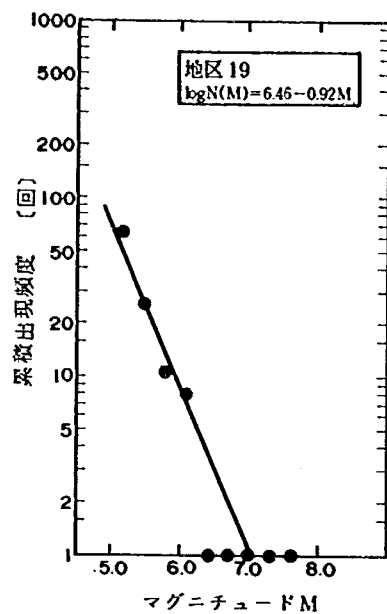
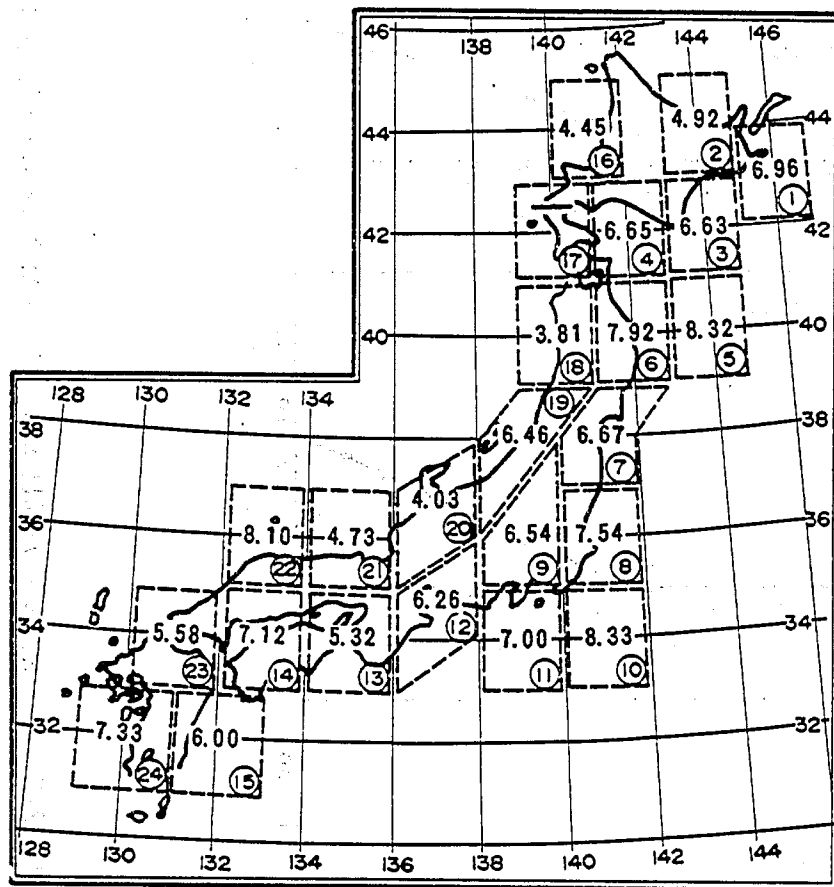
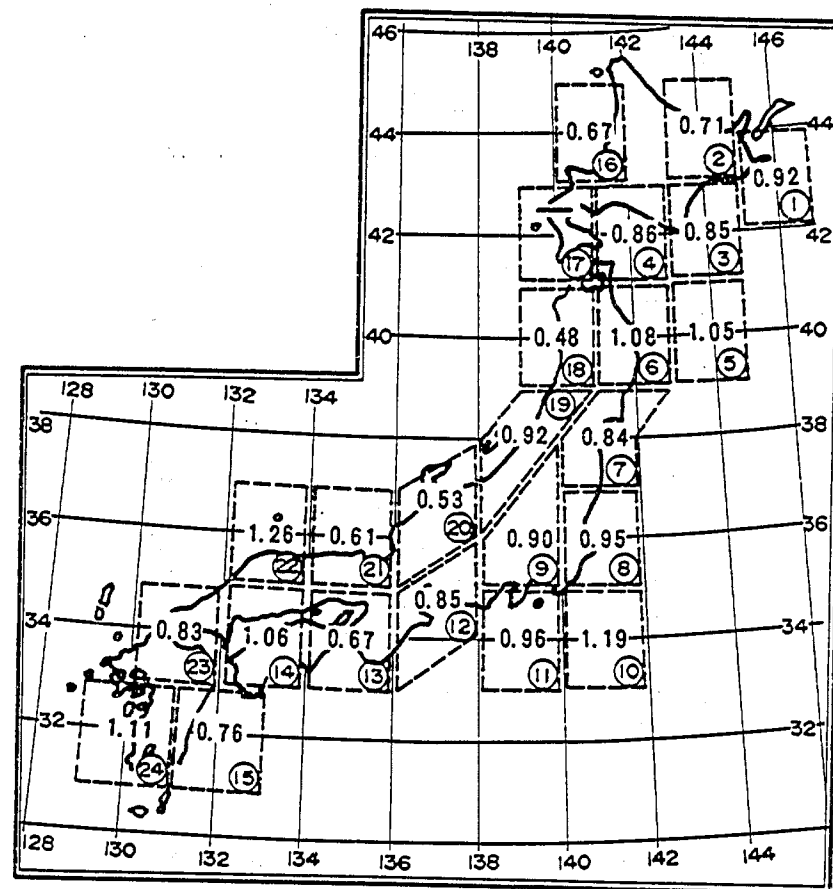


図 4 - 2 (4) G - R 式により近似した $N(M) \sim M$ 関係ともとの地震特性



(a) a 値の分布



(b) b 値の分布

図 4-3 小活動区ごとの a 値および b 値の分布 (1926~1981 年間の地震資料による)

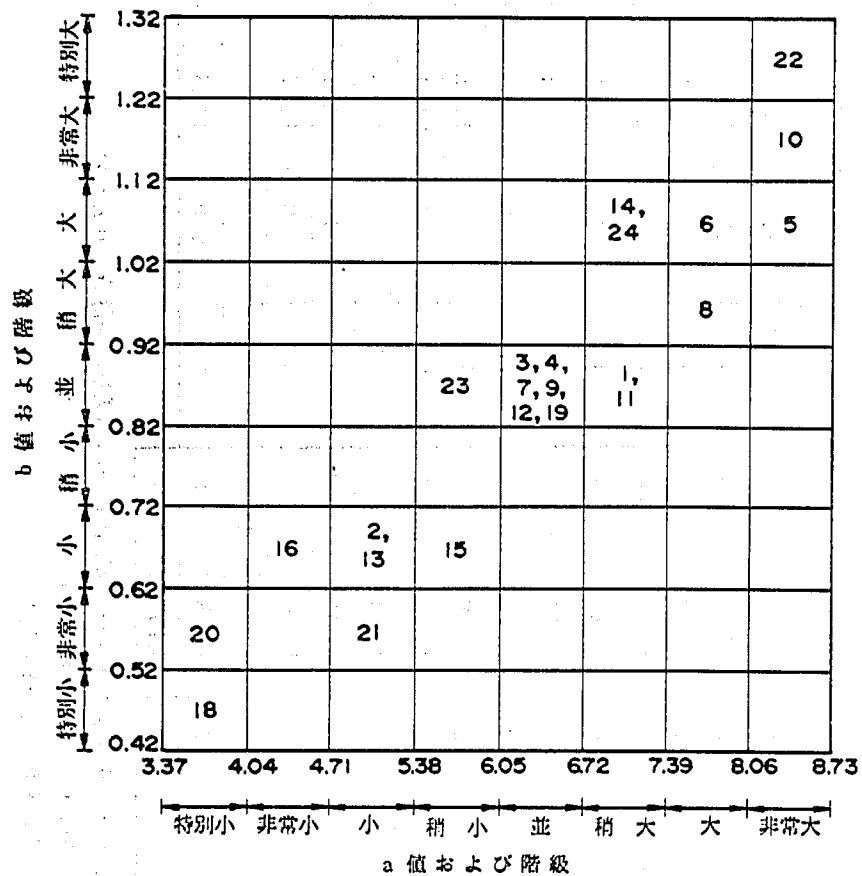


図 4-4 小活動区ごとにみた a 値と b 値の比較

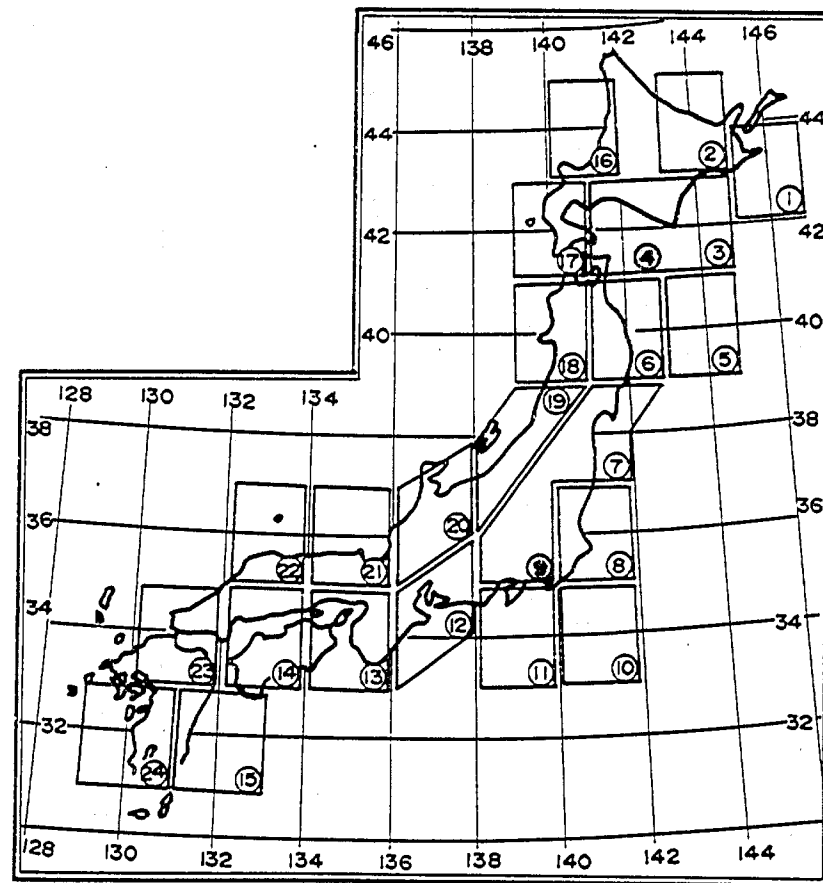


図 4-5 a 値と b 値の類似性から見直した小活動区

5. 可能最大地震のマグニチュードの推定

前章に示した小活動区ごとに起こり得る可能最大地震（maximum possible earthquake）を推定するために、それぞれの小活動区に対するマグニチュードの期待値を求める。指定された再現期間に対する地震のマグニチュードの期待値を求めるための確率的な取り扱い、結局のところ、マグニチュード～再現期間の関係を経験域で決定し、次にこれを未経験域までどのように合理的に外挿するかという問題に帰結する。この際、基礎資料の種類およびこれらの分布関数形により、いろいろな解析法をとることができる。ここでは、各小活動区内で1926～1981年の56年間に起こった $M \geq 5.0$ の全地震を非毎年特定値以上値として扱い、前章に示したようにこれが指数分布に従うものと仮定して、次式により経験的再現期間 T_E を求める。

$$T_E = \frac{56}{m} \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

ここで、 m は各小活動区ごとにマグニチュードの大きい地震から順に並べた場合の順位である。いま、マグニチュード M と式（5-1）による経験的再現期間 T_E の関係を求めると図5-1のようになる。これを最小2乗法により、次式で近似する。

$$M = A \log T_E + B \quad \dots\dots\dots (5-2)$$

ここで、 A 、 B は最小2乗法により定める係数であり、各小活動区ごとに定めると、表5-1のよう

表5-1 小活動区ごとに求めた式（5-2）の係数 A 、 B

小活動区	資料数	A	B	小活動区	資料数	A	B
1	162	1.092	5.520	15	133	1.263	5.385
2	7	0.990	4.879	16	10	(1.766)	(3.531)
3	164	1.198	5.580	17	9	(0.346)	(4.709)
4	165	1.149	5.478	18	26	1.597	4.385
5	168	1.014	6.061	19	65	1.041	4.948
6	40	0.881	5.500	20	36	1.433	4.549
7	172	1.238	5.608	21	44	1.538	4.787
8	382	1.019	5.863	22	28	0.831	4.780
9	78	1.183	5.100	23	17	1.203	4.386
10	122	0.881	5.318	24	15	0.657	5.002
11	110	1.056	5.265	3・4	329	1.277	5.969
12	68	1.327	4.998	7・9	250	1.268	5.869
13	77	1.458	5.118	全区	1,059	1.043	7.001
14	17	1.132	4.602				

注) 最小地震のマグニチュード M_0 は以下の小活動区を除き5.0とした
 小活動区2, 5, 6 : 5.6
 小活動区14, 24 : 5.3

になる。前出の図5-1には、表5-1の係数A、Bを用いて求めた式(5-2)の関係式も示している。

式(5-2)により再現期間 $T_E = 100$ 年、150年、200年、300年、500年に対する地震マグニチュードの期待値を各小活動区ごとに求めると表5-2のようになる。また、これを小活動区ごとに図示すると図5-2のようになる。なお、前章では地震活動度が同じ階級に属し、相互に隣接した小活動区であるNa3とNa4、およびNa7とNa9を統合した。そこで、これらの統合区に対して上記再現期間に対する地震マグニチュードの期待値を求めると、表5-3のようになる。これによれば、対象とする地震発生域を2倍とすれば、同一マグニチュードに対する再現期間は当然ながら統合前の各活動区に比較して、短くなっている。

なお、参考のため24の全小活動区をひとまとめにし、マグニチュードの期待値を求めると表5-4のようになり、特定のマグニチュードに対する再現期間は上記よりもさらに短くなる。

さて、図5-2によれば、再現期間を長くと

表5-2 小活動区ごとの再現期間別のマグニチュードの期待値 M_E

再現期間 小活動区	100	150	200	300	500年
1	7.7	7.9	8.0	8.2	8.5
2	6.9	7.0	7.2	7.3	7.6
3	8.0	8.2	8.3	8.6	8.8
4	7.8	8.0	8.1	8.3	8.6
5	8.1	8.3	8.4	8.6	8.8
6	7.3	7.4	7.5	7.7	7.9
7	8.1	8.3	8.5	8.7	9.0
8	7.9	8.1	8.2	8.4	8.6
9	7.5	7.7	7.8	8.0	8.3
10	7.1	7.2	7.3	7.5	7.7
11	7.4	7.6	7.7	7.9	8.1
12	7.7	7.9	8.1	8.3	8.6
13	8.0	8.3	8.5	8.7	9.1
14	6.9	7.1	7.2	7.4	7.7
15	7.9	8.1	8.3	8.5	8.8
16	(7.1)	(7.4)	(7.6)	(7.9)	(8.3)
17	(5.4)	(5.5)	(5.5)	(5.6)	(5.6)
18	7.6	7.9	8.1	8.3	8.7
19	7.0	7.2	7.3	7.5	7.8
20	7.4	7.7	7.8	8.1	8.4
21	7.9	8.1	8.3	8.6	8.9
22	6.4	6.6	6.7	6.8	7.0
23	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6
24	6.3	6.4	6.5	6.6	6.8

表5-3 統合した活動区に対する再現期間別のマグニチュードの期待値 M_E

再現期間 小活動区	25	50	100	150	200	300	500年
3・4	7.8	8.1	8.5	8.8	8.9	9.1	9.4
7・9	7.6	8.0	8.4	8.6	8.8	9.0	9.3

表5-4 全活動区をまとめ日本全域を対象とした場合の再現期間別のマグニチュードの期待値 M_E

再現期間 小活動区	1	5	10	25	50	100	150年
日本全域	7.0	7.7	8.0	8.5	8.8	9.1	9.3

ればとる程マグニチュードの期待値Mは大きく求められることになる。しかしながら、地球物理学的な見地や既往に経験した最大地震などから考えると、無限に大きなマグニチュードの地震が発生することは考えられない。いま、坪井〔1967〕によれば、地球物理学的にみて、地震のマグニチュードに関して以下のような限界があるとされている。

- (a) 地震活動の地域的関連性の認められる範囲は 150～200 km までで、限度がある。
- (b) 山地の重力の値とその分布を整理した結果によると、その幅が 150 km 以上ある山は一般にアイソスタシー的均衡になっている。すなわち、地殻がそれ自身で支えうる山の広がりには 150 km が限度である。
- (c) 地殻が耐えられるひずみの割合は 10^{-4} の程度である。
- (d) 地殻変形の範囲、余震の起こる面積A(cm^2)と本震のマグニチュードMとの間には、次式の関係がある。

$$\log A = M + 6 \quad \dots\dots\dots (5-3)$$

また、余震の起こる面積Aには限度がある。

- (e) 地震のエネルギーEとマグニチュードMとの間には次式の関係がある。

$$\log E = 1.5 M + 11.8 \quad \dots\dots\dots (5-4)$$

したがって、当然地震のエネルギーEにも限度がある。

以上の知見を総合して、坪井は起こり得る地震には限度があり、そのマグニチュードは8.6程度になるとしている。また、このような考え方は世界に生じた最大地震のマグニチュードともおおむね一致するとされている。

このような結果を表5-2と比較すると、再現期間を200年とした場合に、同一再現期間に対するマグニチュードの期待値が小活動区の中で最も大きいNa 7 およびNa13の両小活動区においていずれもマグニチュードの期待値は8.5となり、上述の限界地震のマグニチュードとおおむね同程度となる。また、再現期間を200年以上ととると、マグニチュードの期待値は、8.6を起し、上述した地球物理学的な知見や既往の最大地震のマグニチュードから考えられる限界地震のマグニチュードを上廻ることになる。こうした点から、ここでは、再現期間200年に対応するマグニチュードの期待値 M_1 を一応最大地震のマグニチュードと考えることとする。

一方、有史以来に各小活動区に発生した最大地震を宇佐美による日本被害地震総覧および気象庁地震資料から抽出すると表5-5のようになる。表中には、式(5-2)から逆算した当該地震の再現期間も示している。これによれば、小活動区Na 1, Na 6, Na 9, Na10, Na11, Na12, Na13, Na14, Na19, Na 20, Na22, Na24の12区においては、式(5-2)から逆算した既往最大地震の再現期間は200年以上となるが、これ以外の小活動区においてはいずれも式(5-2)による再現期間は200年以下となっている。表5-5による既往最大地震のマグニチュードと再現期間200年に対応するマグニチュードの期待値

表5-5 各小活動区ごとの既往最大地震のマグニチュードM₂ (599~1983年)

小活動区	発震時 年. 月. 日, 時:分	震央 東経 北緯	震源の 深さ(km)	M ₂	再現期間 (年)	備 考
1	1843. 4. 25,	146°00' 42°00'	—	8.4	435	
2	1967. 11. 4, 23:30	144°16' 43°29'	20	6.5	45	
3	1952. 3. 4, 10:23	143°54' 42°12'	45	8.1	125	十勝沖地震
4	1931. 3. 9, 12:49	142°30' 41°12'	0	7.6	70	
5	1933. 3. 3, 02:31	144°42' 39°06'	0~20	8.3	160	三陸津波地震
6	1901. 8. 10, 03:34	141°30' 40°30'	—	7.8	410	
7	1897. 2. 20, 05:50	141°30' 38°06'	—	7.8	60	
8	1923. 6. 2, 02:24	142°00' 35°54'	浅	7.8	85	
9	1923. 9. 1, 11:58	139°18' 35°12'		7.9	235	関東大地震
10	1605. 2. 3,	140°24' 34°18' 134°54' 33°00'	—	7.9	855	慶長地震 (2つの地震が発生)
11	1498. 9. 20,	138°12' 34°06'	—	8.6	1000<	
12	1854. 12. 23,	137°48' 34°06'	—	8.4	365	安政東海地震
13	887. 8. 26,	135°18' 33°00'	—	8.6	245	
14	1905. 6. 2, 14:39	132°18' 34°12'	—	7.6	445	芸予地震
15	1899. 11. 25, 03:43	131°24' 31°54'	—	7.6	60	
16	1947. 11. 4, 09:09	141°00' 43°48'	極 浅	7.0	(90)	
17	1741. 8. 28,	139°34' 41°30'	—	6.9	—	
18	1983. 5. 26, 12:00	139°05' 40°21'	14	7.7	120	昭和58年(1983年) 日本海中部地震
19	1964. 6. 16, 13:01	139°12' 38°24'	40	7.5	285	新潟地震
20	1891. 10. 28, 06:38	136°36' 35°36'	—	8.4	490	濃尾地震
21	1662. 6. 16,	136°00' 35°18'	—	7.6	65	
22	880. 11. 23,	132°48' 35°24'	—	7.4	1000<	
23	1872. 3. 14, 17:	132°00' 34°48'	—	7.1	180	浜田地震
24	1898. 12. 4, 01:45	131°—' 33°—'	—	7.1	1000<	

を比較すると表5-6および図5-3のようになる。これによれば、再現期間200年に相当するマグニチュード M_1 と既往最大地震のマグニチュード M_2 との差 $\Delta M = M_1 - M_2$ は、小活動区17における -1.4を除けば±0.8の範囲におさまっている。ただし、マグニチュードの差 ΔM がどのような場合に大きいかを検討するために ΔM と M_1 の関係を示したのが図5-4である。これによればマグニチュード M_1 が大きくなるにつれて一般にマグニチュード差 ΔM が大きくなる傾向が認められる。すなわち、 M_1 が8程度以下の場合には $\Delta M < 0$ となる小活動区が多く、 M_1 が8程度以上の場合には $\Delta M > 0$ となる小活動区が多い。これは、マグニチュード M が8程度以上の場合には再現期間200年に相当するマグニチュードは既往最大地震のマグニチュードに比較してやや大きめの値を与えるのに対し、マグニチュード M_1 が8程度以下の場合には、この反対になっていることがわかる。

表5-6 再現期間200年のマグニチュード M_1 と既往最大地震のマグニチュード M_2 の比較

小活動区	再現期間200年の マグニチュード M_1	既往最大地震の マグニチュード M_2	$M_1 - M_2$	総合判断した 可能最大地震
1	8	8.4	-0.4	8 ½
2	7.2	6.5	0.7	7
3	8.3	8.1	0.2	8 ¼
4	8.1	7.6	0.5	8
5	8.4	8.3	0.1	8 ½
6	7.5	7.8	-0.3	7 ¾
7	8.5	7.8	0.7	8 ¼
8	8.2	7.8	0.4	8
9	7.8	7.9	-0.1	8
10	7.3	7.9	-0.6	7 ¾
11	7.7	8.6	-0.9	8 ½
12	8.1	8.4	-0.3	8 ½
13	8.5	8.6	-0.1	8 ½
14	7.2	7.6	-0.4	7 ½
15	8.3	7.6	0.7	8
16	7.6	7.0	0.6	7 ½
17	5.5	6.9	-1.4	7
18	8.1	7.7	0.4	8
19	7.3	7.5	-0.2	7 ½
20	7.8	8.4	-0.6	8 ½
21	8.3	7.6	0.7	8
22	6.7	7.4	-0.7	7 ½
23	7.2	7.1	0.1	7 ¼
24	6.5	7.1	-0.6	7 ¼

そこで、以上の結果を総合判断し、既往最大地震のマグニチュード M_2 の方が再現期間 200 年に相当するマグニチュード M_1 よりも大きい場合には M_2 の値を、また再現期間 200 年に相当するマグニチュード M_1 の方が既往最大地震のマグニチュード M_2 よりも大きい場合には両者の平均、すなわち $1/2 (M_1 + M_2)$ の値をとり、これらを 1/4 単位の値に丸めた結果が図 5—5 である。これは、 M_1 および M_2 の中間的な性格を持つもので、ここでは、一応、図 5—5 の結果を可能最大地震のマグニチュードと考えることにする。これによれば、No 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 18, 20, 21 の 14 小活動区において可能最大地震が M8 以上となっている。

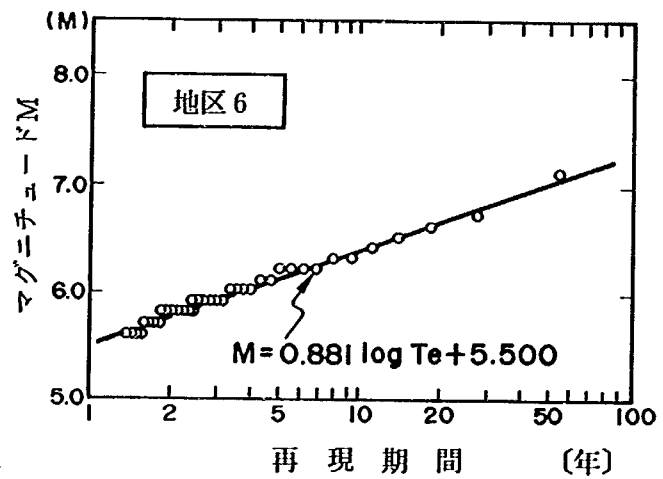
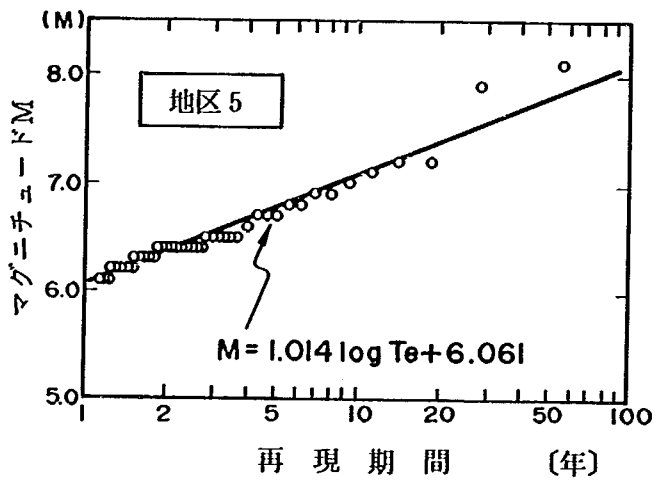
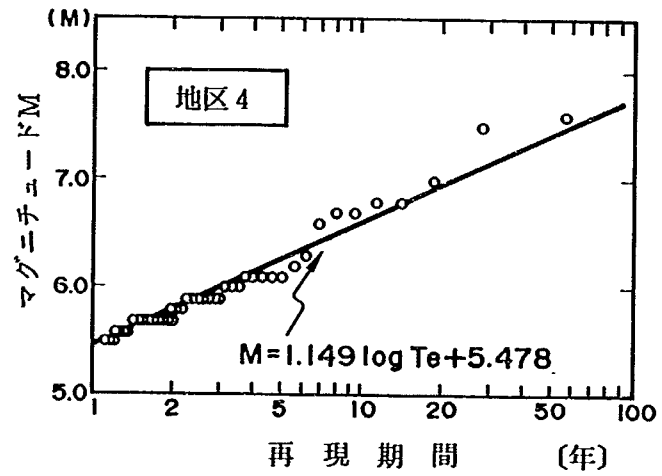
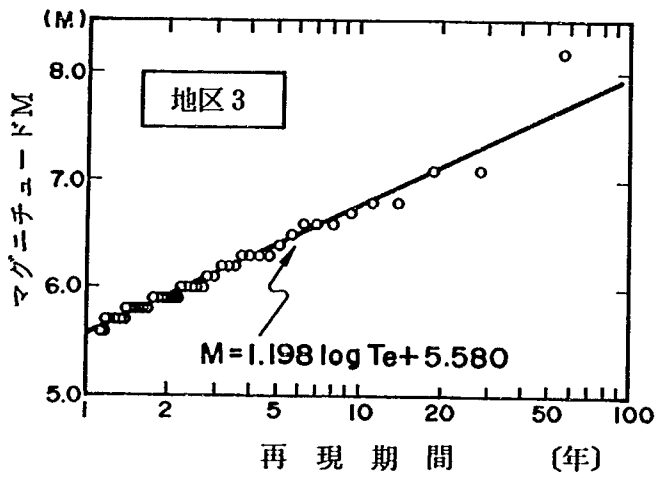
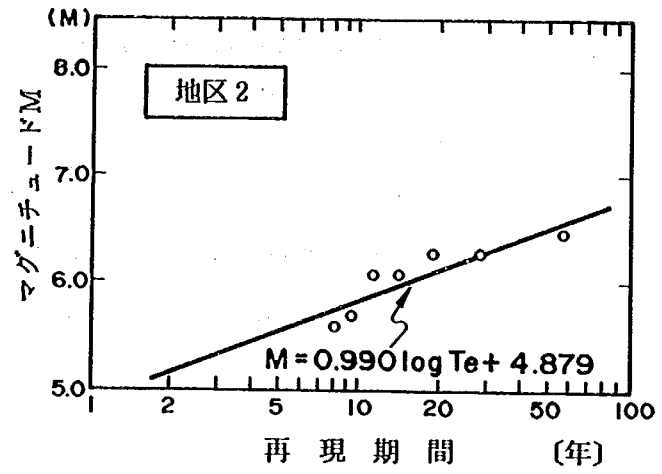
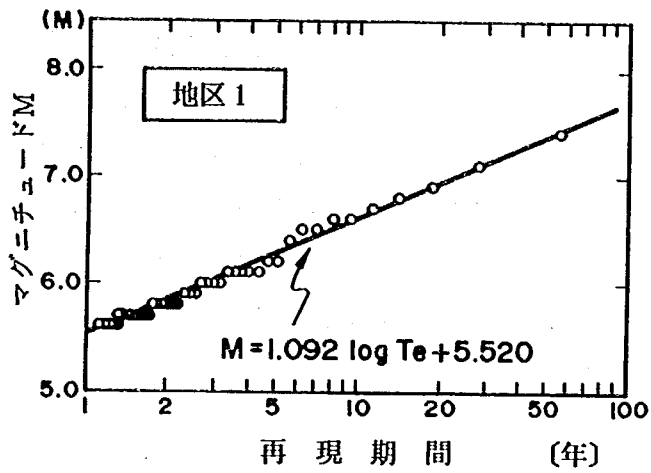


図5-1(1) マグニチュードM～再現期間 T_e の関係

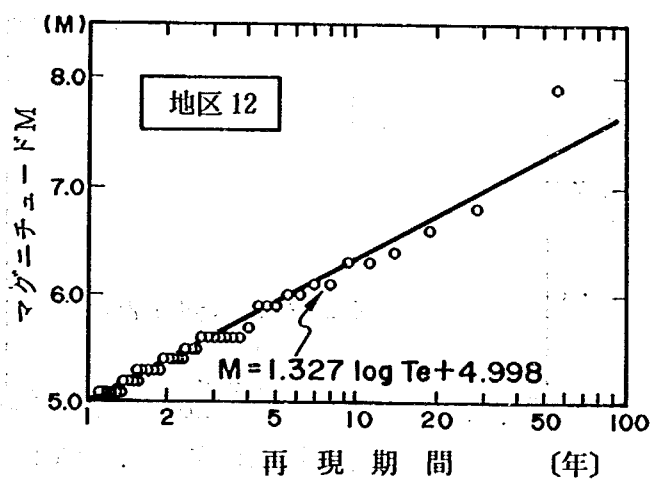
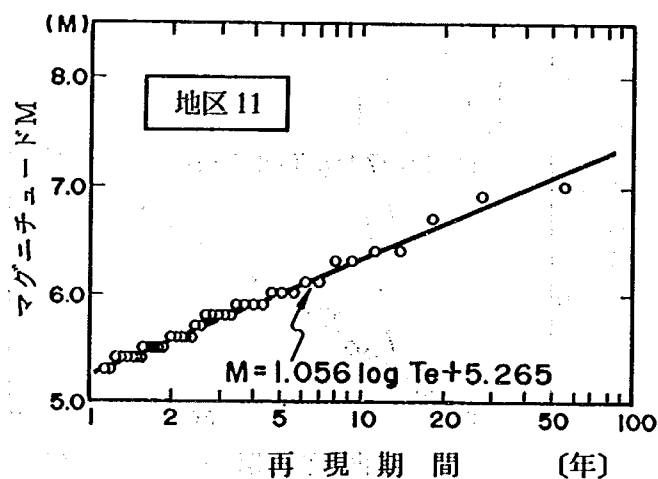
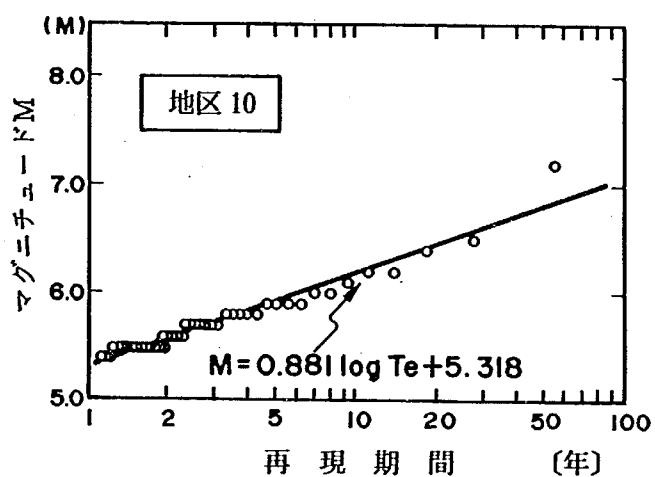
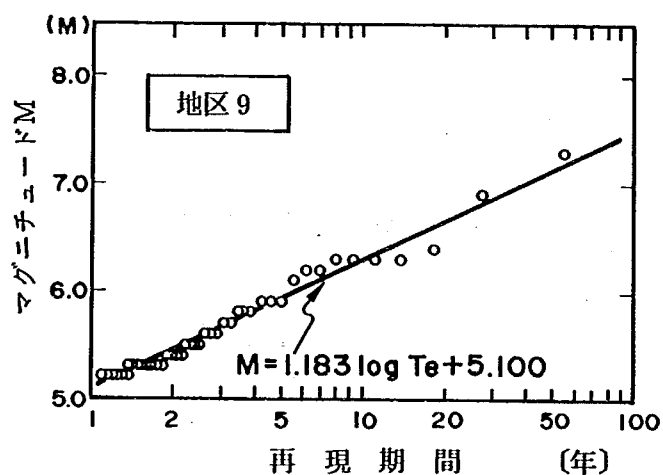
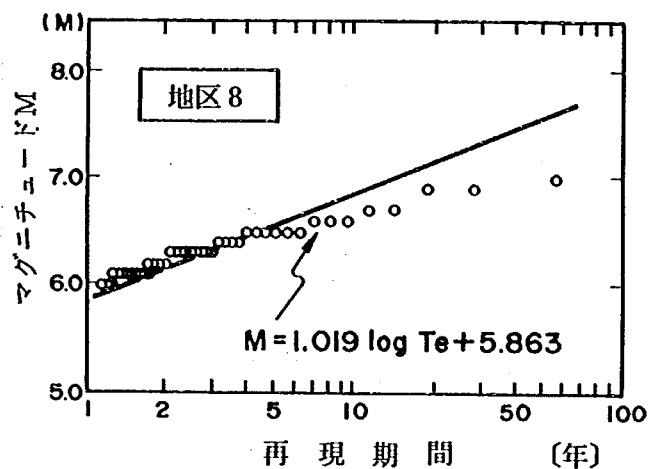
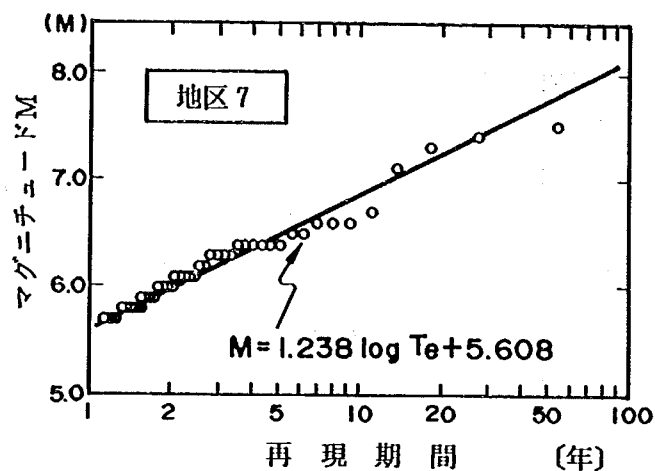


図5-1(2) マグニチュードM～再現期間 T_e の関係

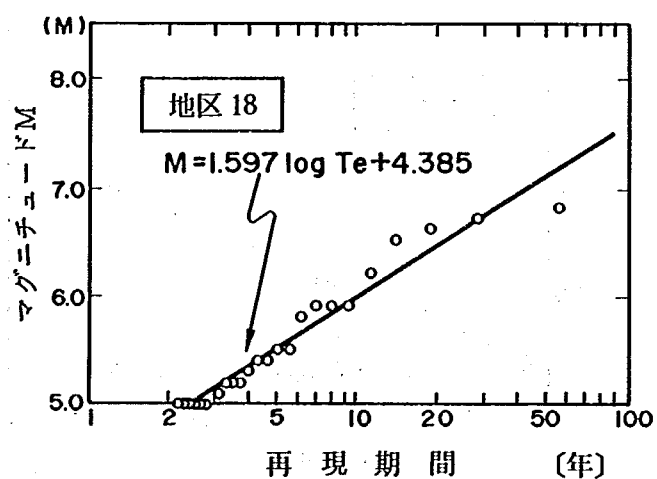
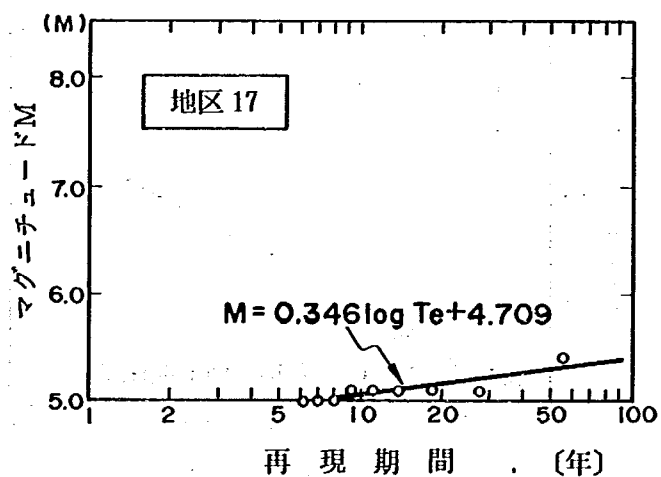
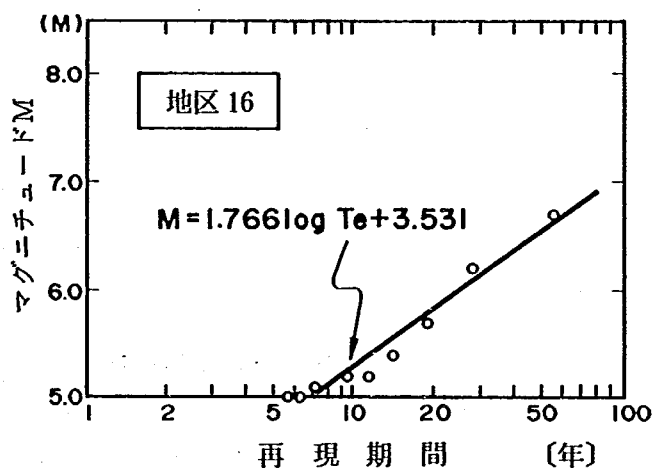
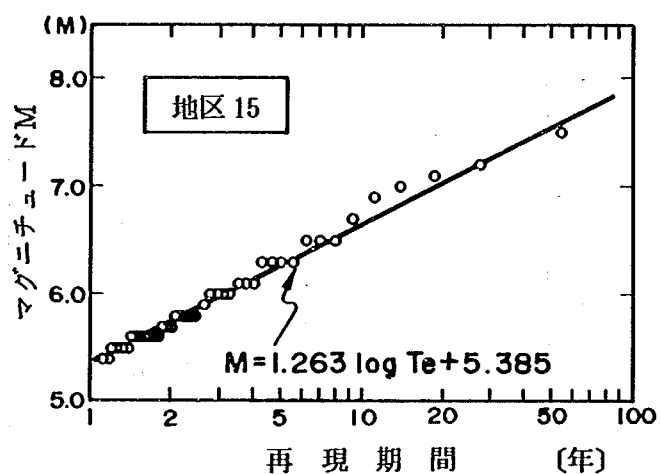
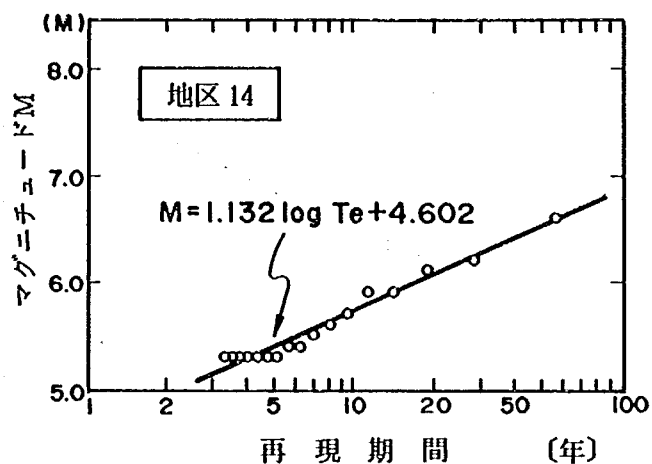
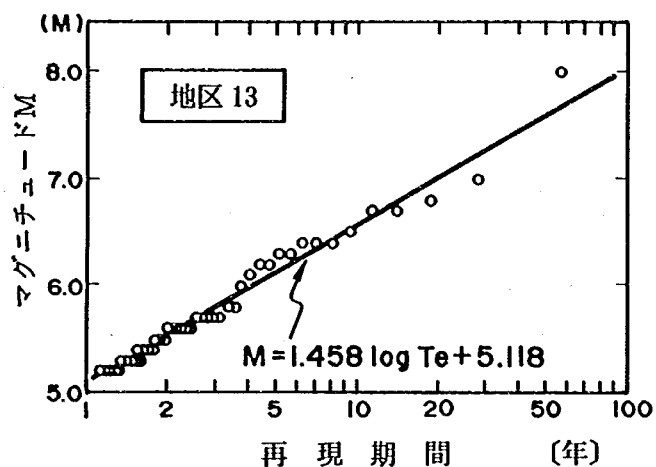


図5-1(3) マグニチュードM～再現期間 T_e の関係

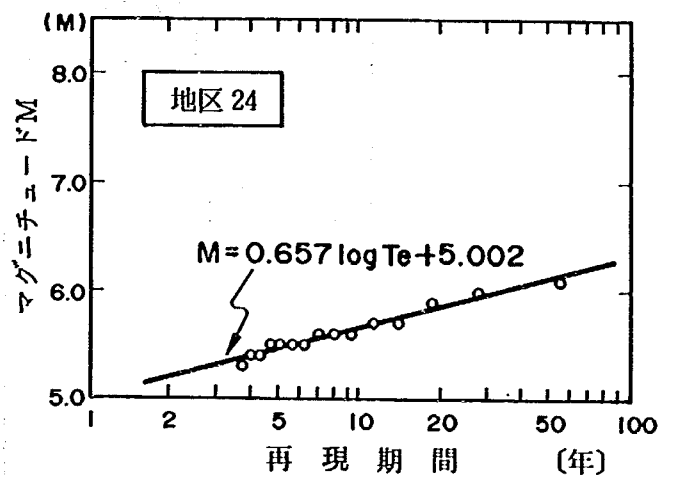
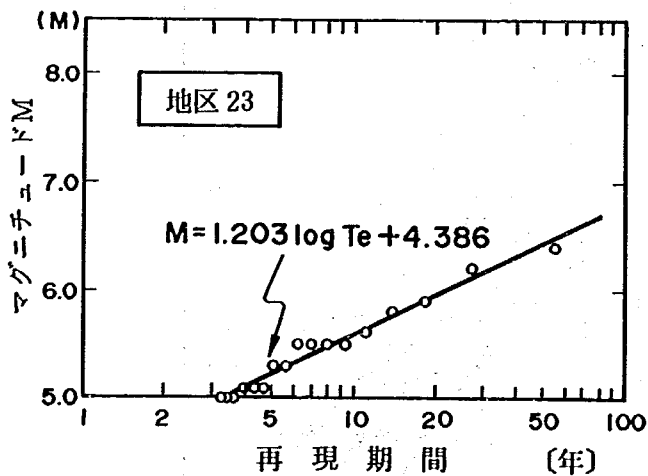
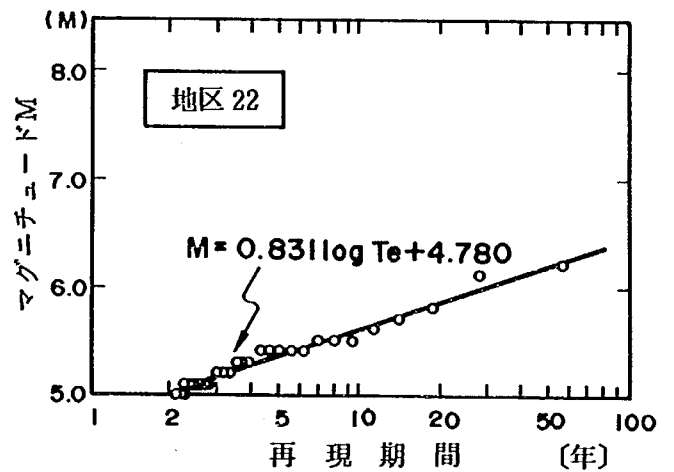
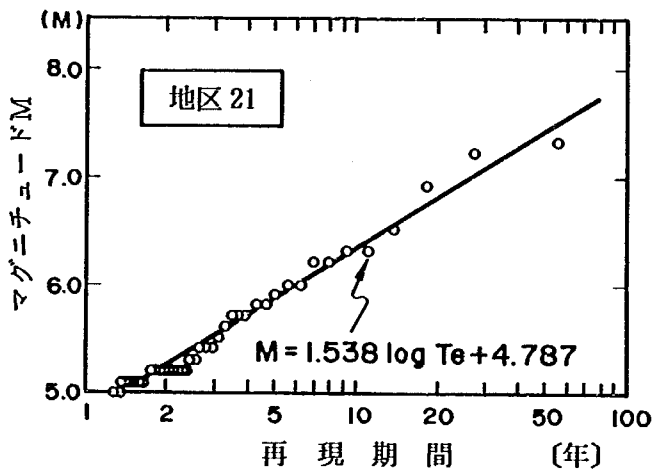
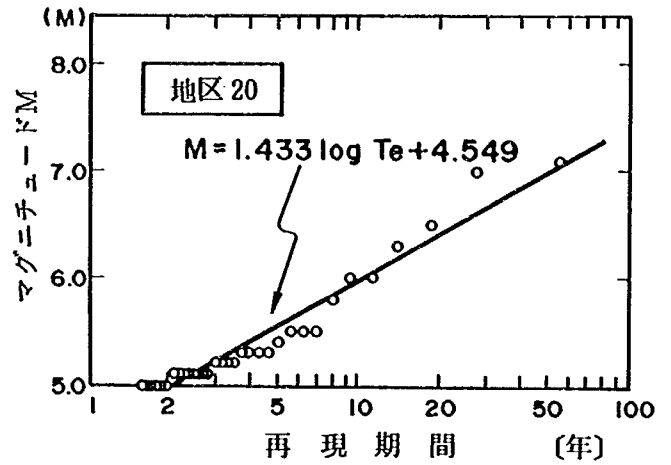
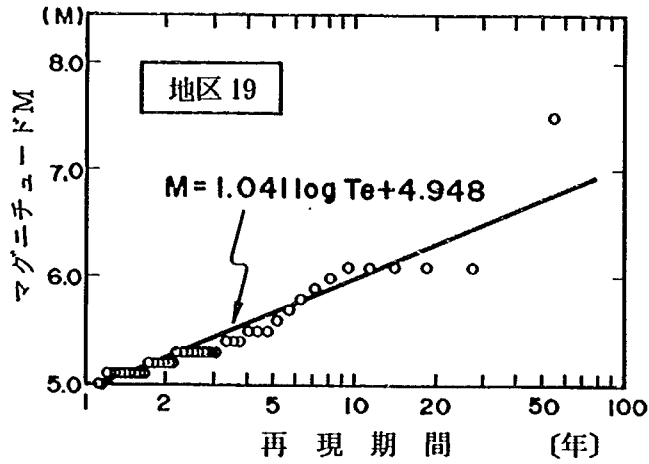
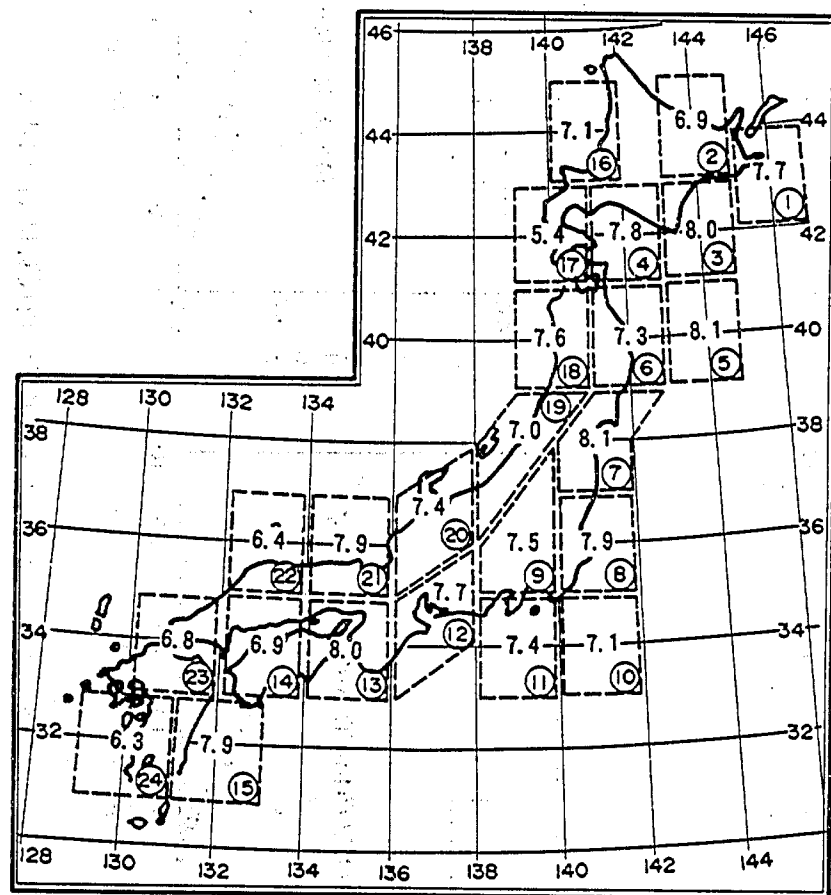
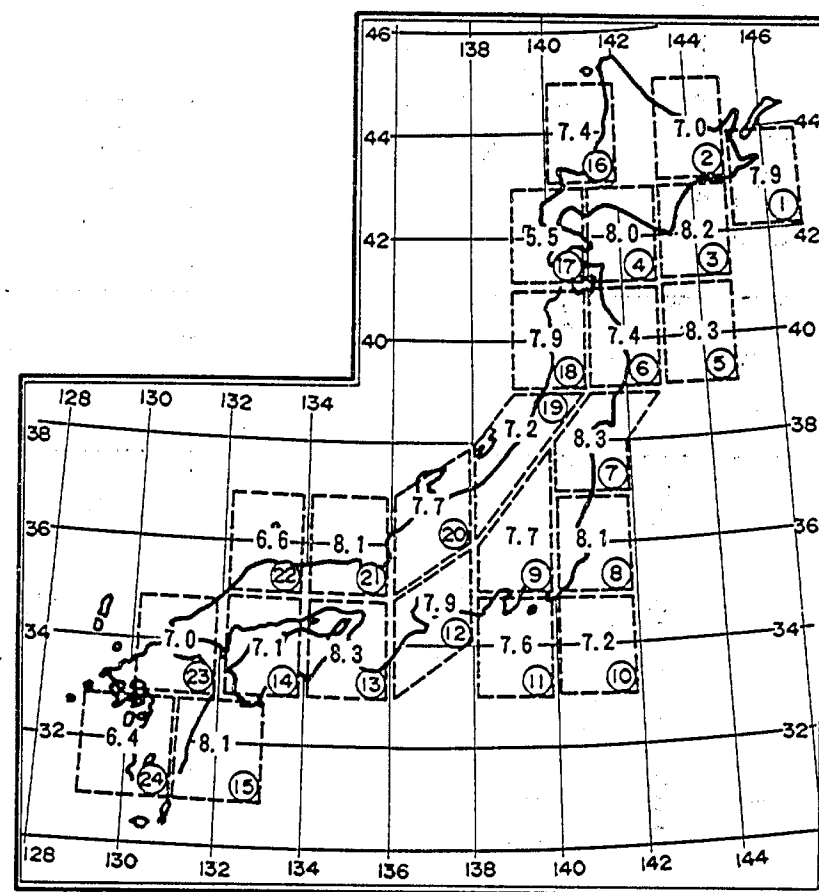


図5-1(4) マグニチュードM～再現期間 T_e の関係

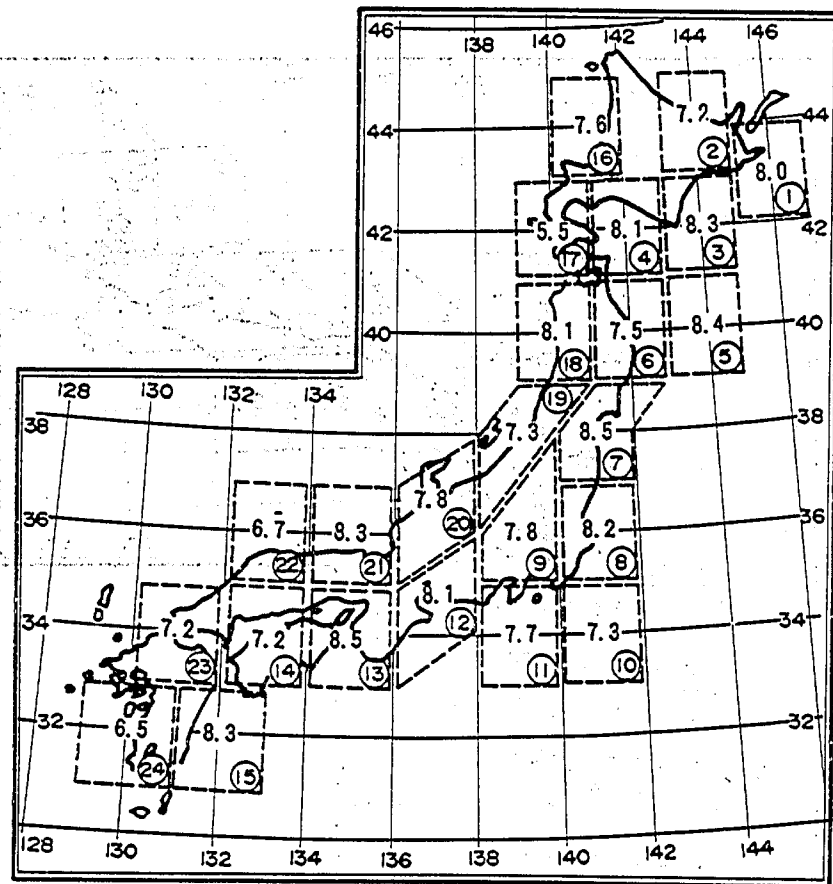


(a) $T_R = 100$ 年

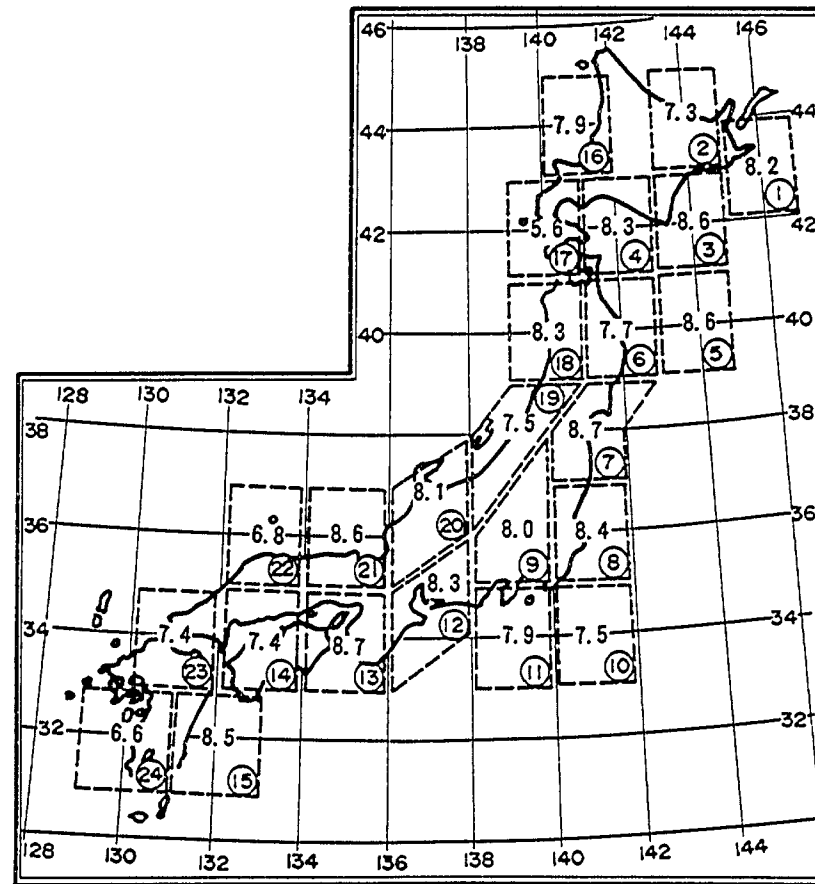


(b) $T_R = 150$ 年

図 5 - 2 (1) 再現期間別のマグニチュードの期待値 M_e

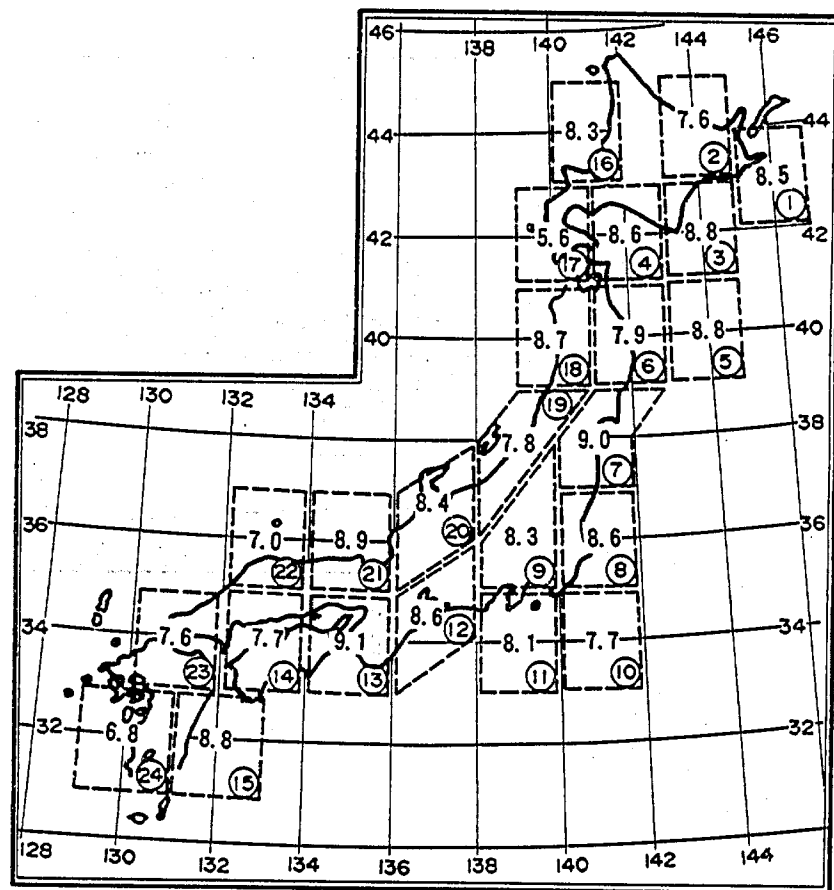


(c) $T_R = 200$ 年



(d) $T_R = 300$ 年

図 5 - 2 (2) 再現期間別のマグニチュードの期待値 M_e



(e) $T_R = 500$ 年

図 5 - 2(3) 再現期間別のマグニチュードの期待値 M_E

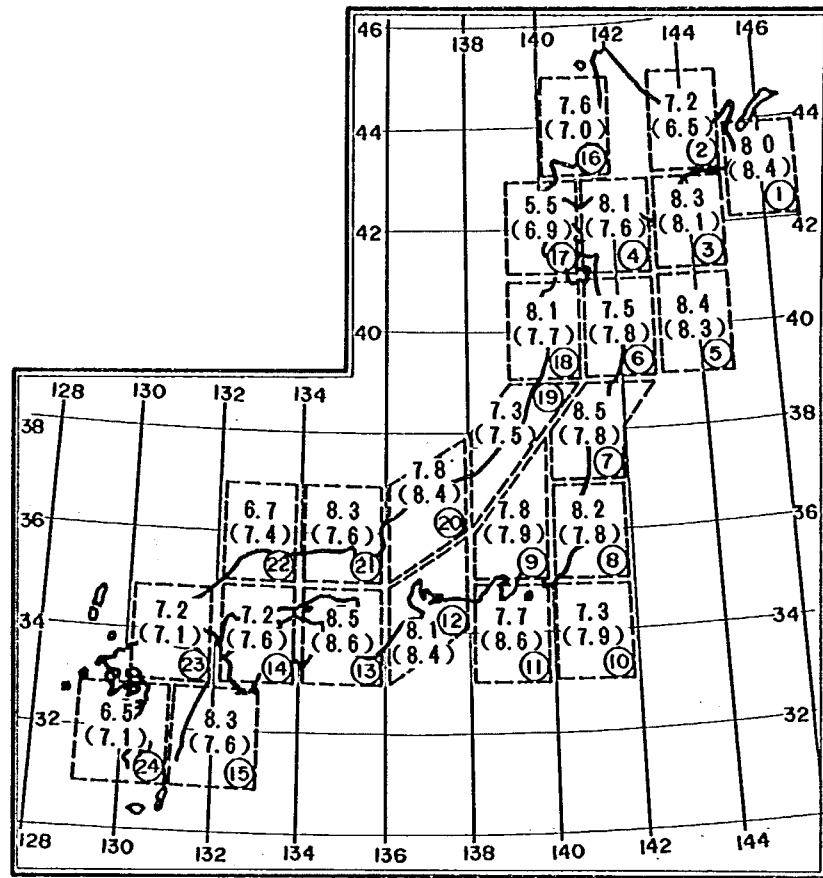


図5-3 再現期間200年に対応するマグニチュードと
既往最大地震のマグニチュード () 内の数字) の比較

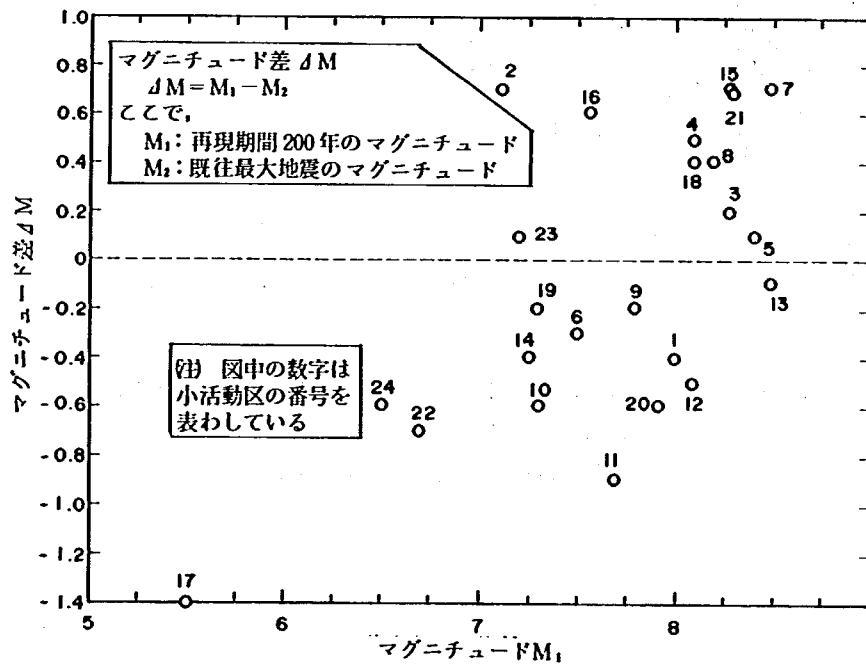


図5-4 マグニチュード差 ΔM ～ マグニチュード M_1 の関係

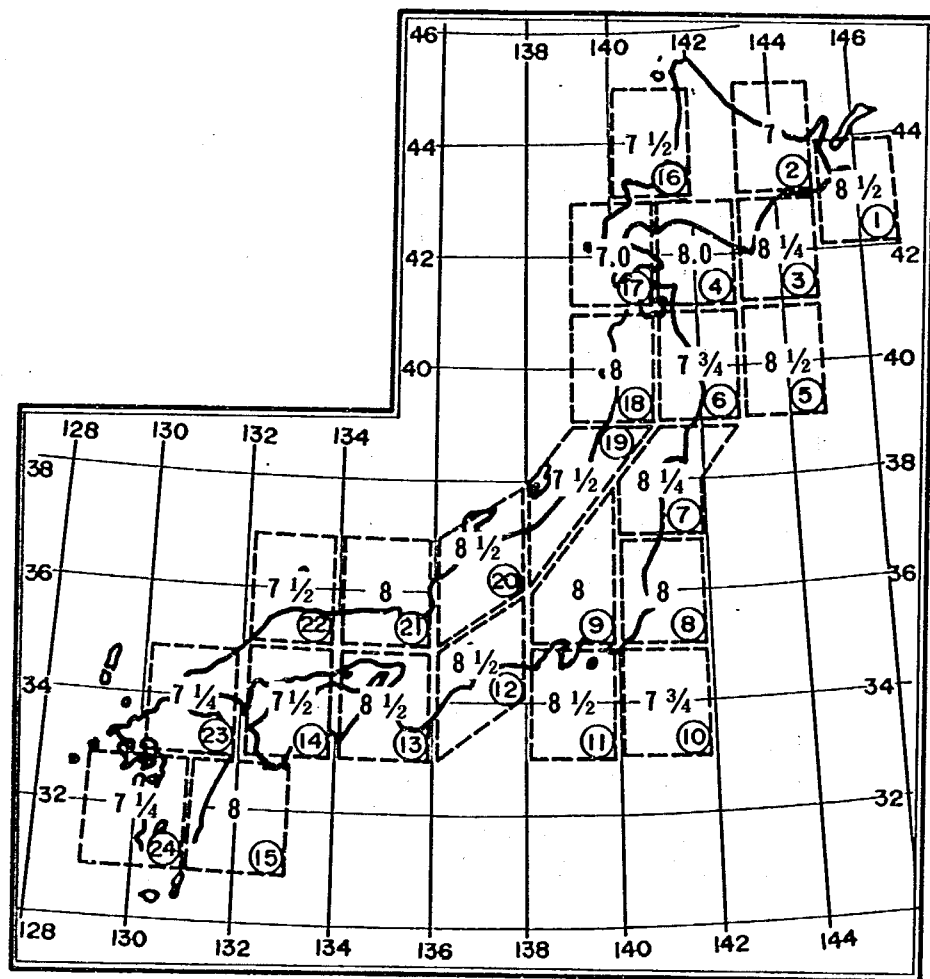


図 5 - 5 再現期間 200 年に対応するマグニチュードと既往
最大地震のマグニチュードを総合して求めた可能
最大地震のマグニチュード（暫定提案値）

6. ま と め

1926～1981年間に我が国周辺で発生した合計2,469個の地震資料をもとに、地震活動度の地域区分および可能最大地震のマグニチュードを検討し、それぞれ図4—5および図5—5の結果を得た。ただし、図5—5については、既往の巨大地震に関する資料が少ないこと、過去の地震規模の推定の精度等から必ずしも十分な結果ではなく、今後さらに検討を加えることが必要とされる。

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，第54号，1979.
- 2) 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.
- 3) 杉村新：弧状列島，地球の物理 — 現代の地球観，8，日本物理学会編，丸善，1982.
- 4) Mogi, K. : Some Discussions on Aftershocks, Foreshocks and Earthquake Swarms — The Fracture of a Semi-infinite Body Caused by an Inner Stress Origin and Its Relation to the Earthquake Phenomena, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 41, 1963, pp. 615～658.
- 5) Mogi, K. : Regional Variation of Aftershocks Activity, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 45, 1967, pp. 711～726.
- 6) 宇佐美龍夫：資料日本被害地震総覧，東京大学出版会，1975.
- 7) 坪井忠二：新・地震の話，岩波新書，1967.
- 8) 気象庁地震課：被害地震表（1974～1983年）.

地震災害危険度解析に用いる我が国
周辺の地震活動の地域区分および可
能最大地震の規模

ISSN 0386-5878
土研資料 第2098号
昭和59年3月

荒川直土, 川島一彦

キーワード 耐震設計, 地震動, 応答スペクトル

要 旨

本報告は、地震災害危険度の解析に重要な我が国周辺の地震活動の
地域特性を検討するとともに、各種構造物の耐震設計で考慮すべき地
震荷重の上限を与える巨大地震について、その発生が可能な最大規模
(マグニチュード)を調査した結果をとりまとめたものである。



郵便はがき

40円切手
をはって
下さい。

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. 185

No. 185

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第2098号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名



土木研究所資料第2098号
地震災害危険度解析に用いる我が国周辺の地震活動の地域
区分および可能最大地震の規模

