

鳥取県西部地震で提起された地震の発生確率と規模の推定に関する課題

隈元 崇  
岡山大学理学部

Problems in estimating future earthquake probability and magnitude posed  
by the Tottori-ken Seibu earthquake

Takashi KUMAMOTO  
Okayama University

Abstract

The Tottorii-ken Seibu earthquake ( $M_{JMA}$  7.3) occurred on 6th October 2000 on the border between Tottori and Shimane prefectures, western Japan, an area that contains no significant active faults according to active fault catalogues. No distinct surface rupture became evident as a result of this earthquake, even though it is generally assumed that earthquakes of magnitude 7.0 or larger are almost associated with surface rupture along associated geomorphologically mapped active faults. This means that, despite its large magnitude, the Tottorii-ken Seibu earthquake was not a major intraplate earthquake that took place on geomorphologically mapped active faults, but one related to significant background seismicity. This might explain the minimal damage that it caused, as compared to damage from the Kobe earthquake ( $M_{JMA}$  7.2) by the Rokko and Nojima faults. If an occurrence probability of an M7.3 earthquake taking place in this region in 50 years had been calculated using the seismicity catalogue and the Gutenberg-Richter magnitude-frequency law, it would have been 7-12%, because several moderate size earthquakes took place in the previous decade. However, using the seismicity catalogue and the G-R law to evaluate maximum earthquake magnitude and earthquake probability clearly remains problematic for blind earthquakes.

## 1. 鳥取県西部地震の概要

2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震は、従来顕著な活断層が知られていなかった鳥取県と島根県との県境に近い地域で発生した。気象庁によると、震央は鎌倉山付近、震源の深さは約11kmの内陸直下型地震である。気象庁マグニチュード ( $M_{JMA}$ ) は7.3であるが、モーメントマグニチュード ( $M_w$ , Harvard) は6.6と求められている。本震の発震機構は、余震の分布からNW-SE走向の断層面に沿って左横ずれが起こったとされており、地震後のGPSによる測地変動もこれを支持する(国土地理院WWW)。今回の地震発生域は、1978年に改訂された地震予知のための特定観測地域(8ヶ所)のひとつである「島根県東部」に一部含まれる地域であった。

## 2. 鳥取県西部地震発生域での活断層分布

兵庫県南部地震以降、多数の調査機関により活断層の判読や記載が行なわれている(例えば科学技術庁の活断層成果報告書、国土地理院の都市圏活断層図)が、鳥取県西部地震発生域を含む地域で既に発表された活断層を主目的とするカタログは、日本全国を対象範囲とした東大出版会の「新編日本の活断層」(第1図)と活断層マップワーキンググループによる詳細活断層GISマップ(200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ, 2000, 第2図)である。前者は1:200,000の小縮尺であるが諸元データは全国を通して整備されている。一方後者は、基図を1:25,000とし個々の断層変位地形に対応できる大縮尺で地理情報(GIS)データベースとして構築されているが、未だ作成途中であり個々の断層の諸元データは十分ではなかった。

「新編日本の活断層」では、今回の鳥取県西部地震の震央近辺で認定された活断層として、その南方に確実度がⅢのリニアメントが登録されている(図幅「85高梁」、断層番号「⑥鎌倉山南方」)。しかし、このリニアメントには活動度の記載はなく、今回の地震の余震分布の走向(第3図)とは異なるENE-WSWを示している。実際、地震後に行なわれた空中写真の再判読でもこのリニアメントを変位地形として認定するにたる根拠は見当たらなかった。

一方、詳細活断層GISマップでは、鳥取県西部地震の震央の南西約5km(日南湖北東方)の位置に、余震分布に平行な走向の長さ約8kmの活断層が認定されていた。この断層線の認定の根拠は、河川の系統的な左屈曲が認められることであった。しかし、その多くがdown-hill方向の屈曲であり、印賀川の流路のずれを除いて屈曲量がいずれも数10m程度と変位の累積性がはっきりしないことから、確実度は「新編日本の活断層」でのⅡに該当すると判断されていた。詳細活断層GISマップの作成にあたっては、活断層の認定を国土地理院の「都市圏活断層図」と同様に特に後期更新世以降(おおむね20万年以降)の地形面

に現れた断層変位地形を重視しているため、「新編日本の活断層」と比較すると山地内のリニアメントなど変位地形を示す基準の少ないものが定義により記載されない。実際には今回の震央に近い鎌倉山の周辺で、より確実度の低いNW-SE走向のリニアメントが空中写真判読では認められる。

例えば、堤ほか(2000)は地震後の空中写真判読から、鎌倉山の北東方にNW-SE走向の長さ約3kmのリニアメントを認めた。このリニアメントに沿っては、数本の谷がdown-hill方向に左屈曲しているのが認められる。しかし、その屈曲量はリニアメントの長さに対して大きすぎる。また、鎌倉山北東方の東上付近に発達する同方向の長さ約2kmのリニアメントに沿ってもdown-hill方向に谷の左屈曲が認められるが、あまり明瞭ではないとされている。これらのリニアメントが活断層であるか否かの判断はより詳細な調査を必要とするが、詳細活断層GISマップに記載されていた日南湖北東方の推定活断層と比較して確実度はさらに低いと考えられる。同様に、この地域にはこれら以外にも空中写真判読よりNW-SE走向のリニアメント(ただし、長さ4km以下)を多数認めることはできるが、いずれのリニアメントも最近の地質時代における活動を示す地形学的証拠(地形面のずれなどの断層変位基準)を伴っておらず活断層として認定されるものではない。今回の地震に伴って、緑水湖へ北西方向に延びる谷に沿う西伯町笹畑周辺で地表地震断層の可能性のある地変が認められたとの報告がなされている(10月10日地震予知連絡会)が、これを顕著なりニアメントとして認めるだけの断層変位基準は認定できないとされている(堤ほか, 2000)。

詳細な空中写真判読によって、今回の地震より以前に、断層面と走向を同じくする変動地形(詳細活断層 GIS マップの日南湖北東方の推定活断層)を認定し記載できたことは、この地域のテクトニクスを考える上で活断層判読の大きな成果と考えても良い。しかし、地震危険度評価の立場で今回の地震を考えると、中国地方の山地内のように変動地形の変位基準の少ない地域のリニアメントをどのように評価するか、またこうしたリニアメントに沿って微小な地震活動が事前に起こっていたという地震活動との関連をどのように危険度評価に反映するかといった点で今後の課題を提起する地震であった。

### 3. Gutenberg-Richter の関係からみた鳥取県西部地震の確率評価と問題点

鳥取県西部地震発生周辺域での気象庁による1926-1998年の間の地震活動と、日本被害地震総覧(宇佐美, 1996)にまとめられた歴史時代の被害地震をあわせて第4図に示す。これをみると、鳥取県西部地震の発生域周辺は、880年出雲の国地震(M7.0)、1943年の鳥取地震(M7.2)、1930年および1978年の鳥根県中部地震(いずれもM6.1)の地震活動には含まれた地域であったことがわかる。また、震央の鎌倉山付近では1989年以降 $M_{JMA}$ で4~5の地震が7つ発生するなど最近地震活動が高まっていた(第5図)。

このような顕著な活断層によらない地震について地震危険度評価を行なうために、地域

的に見た地震活動から統計的に地震発生確率を計算することが行なわれている（例えば WGCEP, 1995）。その根拠としてこれまで多く用いられているのは、地震の（累積）個数の対数  $N$  とマグニチュード  $M$  との間に線形性を認めるという Gutenberg-Richter の関係（式 (1)）である。

$$\log N = a - b M \quad (1)$$

対象とする地震を含む領域の設定や、大地震による余震の取り扱いなどこの式をより正確に使用するためには検討すべきことも多いが、ここでは速報として今回の震央の周辺 20 km, より広範囲の 100 km, および地震地体構造を考える際に適用される範囲を想定した中国地方全体に付いて、気象庁の 1926-1998 の地震カタログで  $M$  が 3.0 以上および 4.0 以上、震源の深さが 30km 以浅のデータセットを作成した。次いで、それぞれ宇津 (1978) の式により  $a$  と  $b$  の値を求め、領域に含まれる最大地震のマグニチュードとともに示した（第 1 表）。 $b$  値は、一般に言われる 1.0 よりも小さく 0.6 から 0.7 程度と求められる。さらに、これらの値を外挿して  $M7.3$  の地震の 1 年あたりの発生率  $f$  を求めた後、(2) 式に示すポワソン過程のもとでの 50 年 ( $\Delta t$ ) 発生確率を求めた。

$$P = 1 - \exp(-f \Delta t) \quad (2)$$

結果をみると、1989 年以降活発化した地震活動を含む震央近傍（周辺 20 km）のデータを用いて Gutenberg-Richter の関係より求めた  $M7.3$  の地震の 50 年発生確率は 7~12% 程度となる。参考までに、これら最近の活発化した地震を除いた場合の  $M7.3$  の地震の 50 年発生確率は 3~8% と約半分となった。また、多数の地震データを含むより広い範囲（周辺 100 km）でみた  $M7.3$  の地震の 50 年発生確率は 45% 程度となりこの値は全国的に見ても決して低くない。対象領域はやや異なるが、20 万分の 1 地勢図の単位で発生確率の比較を行なうと、今回の震央を含む「高梁」図幅は、123 図幅の中で上位 30 番目に位置付けられる (Kumamoto, 2000)。中国地方全体を対象とすると、 $M7.3$  の地震の 50 年発生確率は 90% を超えている。

しかし、こうした手法で地震の確率評価を考えるあるいは数字を解釈する際には、使用する地震データの精度に加えて地震データを取得する範囲と地震自体の意味も考慮する必要がある。まず精度の問題を例に挙げると、気象庁でカタログ化されている 1926 年以降でも、検知されている最低のマグニチュードや震源の深さの精度は一様ではない。一方、最近の高精度のものだけを使用するのでは対象となる地震の数が少なくなるため、 $b$  値の計算で信頼区間が大きくなるという問題が発生する。

また、地震データの取得範囲の広さや形状、そこに含まれる大地震の取り扱いは、地震

の発生以前に  $b$  値や発生確率を計算するためにどのような領域を設定するのが良いかはまだ十分議論されていない。例えば、日本全体を対象に今回の地震を起こした断層の長さと同じ 20km を 1 辺とする範囲を設定すると、地震の数が少ないために実際的な確率計算が行えない領域が多数生ずる。一方、100km 四方といった広範囲の領域を考えると、過去の大地震やそれらの余震活動がデータに混入するためにみかけの地震活動が高く表現されてしまう。今回の計算では、カタログの観測期間（1926-1998 の 73 年間）に 1000 年以上の活動間隔をもつ鹿野断層による 1943 年の鳥取地震（M7.2）が含まれており、ポワソン過程を用いる場合の平均的な事象の起こり具合を示す頻度  $f$  がこの期間の平均的な活動を示すものであるかの妥当性に問題を残す。こうした場合には、あらかじめ領域から大地震とその近傍で発生する特定の期間（余震を想定する場合は 1 年間が多い）の地震活動を除外するといった規定が用いられることもあるが、その定量的な妥当性の検討も今後の課題である。データ取得範囲の形状についても、地震地体構造の考えにのっとり広い範囲を設定する場合には構造線や地質境界が考慮されることもある（例えば、WGCEP, 1995；損害保険料率算定会, 2000）が、その領域内での地震活動は時空間的に決して一様ではないので、マグニチュードが 7.0 前後の地震の震源域にみあった範囲をデータ取得領域として地質や地形との関係を論じるといった観点からはまだ十分ではない。

さらに、地震の規模と頻度の関係を示す Gutenberg-Richter の関係を規模の小さな地震から求めた場合、マグニチュードの大きなほうへどこまで外挿して良いかについても今回の地震は課題を提起している。これまで、マグニチュードが 6.8~7.2 を超えると震源断層の幅が上部地殻の脆性領域の大きさと同じ程度（15~20km）になるために既存の活断層にそって地表変位が現れると考えることが多かった。過去 100 年程度の期間に日本で起こった地震で地表に現れた変位の長さ地震のマグニチュードの間には、

$$\log L = 0.6 M - 2.9 \quad (3)$$

の関係が回帰されている（松田, 1975）。先に述べた詳細活断層 GIS マップに事前に認定されていた鎌倉山南西の推定活断層の長さは約 8km であるので、(3)式を用いても予想されるマグニチュードは 6.3 にしかならない。このような状況で、もし事前に鳥取県西部地震の震央を含む領域（例えば 20km 四方）で地震活動の推移から Gutenberg-Richter の関係を求めたとしても、確率評価として M7.3 の地震を想定しえたであろうか？

既存の最大地震規模による地震地帯分布図（例えば松田, 1990）では中国地方の広い範囲を一括することで想定される最大地震規模を 7.5 と示している。しかし、このような広範囲を対象した地震活動のデータから G-R の関係を用いて M7.3 の地震の 50 年発生確率を求めると 90%を超えてしまい（第 1 表）実用的な評価とは言い難い。地震活動と活断層から最大規模地震の推定発生確率、地体構造を議論する場合の課題の一つである。

#### 4. 活断層・地表変位の長さとのマグニチュードの関係

今回の鳥取県西部地震の気象庁マグニチュード ( $M_{JMA}$ ) は 7.3 であったが、被害の程度は兵庫県南部地震 ( $M_{JMA}$  7.2) と比較して小さく、また野島断層のように地表に顕著な変位が現れなかった。今回の地震の規模をより正確に表すためには  $M_{JMA}$  ではなくモーメントマグニチュード  $M_w$  を使用するべきであるとの議論もあることから、最近約 100 年間に起こった日本の内陸地震のパラメータを文献より第 2 表にまとめた。ここで、 $L_{surface}$  は地表で認められた変位の長さ、 $D_{max\_surface}$  は地表で認められた最大変位量、また  $L_{seismo}$ 、 $W_{seismo}$ 、 $D_{ave\_seismo}$  は地震学的に求められた断層の長さ、幅、平均変位量である。これをみると、今回の鳥取県西部地震の  $M_w$  は震度 7 を広範囲に記録した福井地震や兵庫県南部地震に比べて 0.3 小さく、1945 年の三河地震に対比される大きさであった。

ここで、第 2 表 から  $M_w$  と  $L_{surface}$  の分布を示す(第 6 図)。鳥取県西部地震の  $L_{surface}$  としては、地表に変位が見られたとされる長さ (600m, 10 月 10 日地震予知連絡会) を使用した(この変位については、そもそも地表にみられた地変が地下の震源断層そのものか、地震動により表層に生じた見掛けのものか、または単なる地すべりに伴うものか現状では見解が分かれている)。図から明らかなように、この 600m の長さが震源断層が地表に現れたものであるとすると、これまでの被害地震の傾向からは大きく外れる。一方、 $M_w$  と地震学的に求められた断層の長さ  $L_{seismo}$  のプロットでは、今回の地震も含めて一連の右上がりの傾向が認められる(第 7 図)。

このことは、鳥取県西部地震を  $M_w$  というより厳密な尺度で比較すると、地震学的な観点からはこれまでのスケーリング則に調和する地震であるが、歴史地震と地表に現れた変位の長さの関係で見ると例外的なものであったことを示しており、活断層データから地震の場所と規模を事前に想定しうる内陸の大地震と考えるよりも、background seismicity の中で最大規模あるいは例外的に大きな地震と考えるほうが合理的であることを示していると考えられる。

#### 5. まとめ

今回の鳥取県西部地震では  $M_{JMA}$  が 7.3 という規模に比して被害は小さく、顕著な変位を示す地表地震断層も出現しなかった。また、地変が認められたとする報告に従って地震の規模と地変の認められた長さを過去の地震と比較しても、これまでの被害地震の傾向から外れる例外的な地震となる。一方、地震学的にはスケーリング則にのっとった地震であった。これらのことより、今回の地震は、活断層データから震源断層をあらかじめ想定すること

のできないbackground seismicityの一つと考えたほうが合理的である。こうしたbackground seismicityを評価するためにこれまで広く用いられているGutenberg-Richterの関係を今回の震源域に適用すると、その発生確率は7~12%と決して小さな値ではなかった。しかし、このような評価手法にも、扱うデータの精度や設定する領域、想定する地震の規模に今後の課題を残している。

今後はより大縮尺な地震地体構造を明らかとし、最大地震規模の推定とその確率評価手法を構築するために、これまで以上に地質・地形のデータを取り込む必要がある。一方、活断層の評価といった点からも、グループ化・セグメント化に任意性を残す活断層の長さを用いた規模・頻度推定の手法以外に新たな手法を検討する必要がある。詳細活断層GISマップに登録がすすめられている平均変位速度相当の分布データや確実度のデータを統計的に取り込むことは一つの手段かもしれない。同時に、詳細活断層GISマップのように明瞭な断層変位地形ばかりに着目するのではなく、変位基準のないリニアメントも地下の震源断層に関連する可能性を考慮して評価する必要がある、その手法の構築も課題である。

## 文献

- 200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ, 2000, 200 万分の 1 日本列島活断層図 (添付地図), 活断層研究, **19**, 3-12.
- 活断層研究会, 1991, 新編日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会, 448pp.
- Kumamoto, T., 2000, Comparison of the estimated maximum earthquake/intensity inland Japan by the use of JMA seismicity catalogue, historical earthquake record and active fault data, Geographical Report of Tokyo Metropolitan University, **35**, 71-82.
- 松田時彦, 1975, 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 **2**, **28**, 369-383.
- 松田時彦, 1990, 最大地震規模による日本列島の地震分帯図, 地震研究所彙報, **65**, 289-319.
- 佐藤良輔 編著, 1989, 日本の地震断層パラメータハンドブック, 鹿島出版会, 390pp.
- (財)地震予知総合研究振興会サイスマテクトニクス研究会強震動予測部会 編, 1999, 日本の不均質断層パラメータ・カタログ (1980-1995), (財)地震予知総合研究振興会, 111pp.
- 損害保険料率算定会, 2000, 活断層と歴史地震とを考慮した地震危険度評価の研究—地震ハザードマップの提案—, 損害保険料率算定会, 91p.
- 堤 浩之・隈元 崇・奥村晃史・中田 高, 2000, 鳥取県西部地震震源域の活断層, 月間地球, 号外 **31**, 81-86.
- 宇佐美龍夫, 1996, 新編日本被害地震総覧[増補改訂版 416-1995], 東京大学出版会, 493pp.
- 宇津徳治, 1978, 地震のマグニチュード分布式のパラメータの推定-最大地震のマグニチュード  $c$  を含む場合-, 地震 **2**, **31**, 367-382.
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995, Seismic hazard in southern California: probable earthquake, 1994 to 2024, Bull. Seismol. Soc. Amer., **85**, 379-439.



第1表 気象庁の地震カタログ(1926-1998)を用いた鳥取県西部地震震央周辺のM7.3の地震の発生確率  
Table1 G-R parameters and estimated probability around the Tottori-seibu earthquake from JMA 1926-1998 seismicity catalogue

	number(M>3, depth<30km)	max_magnitude	b	a	A	freq(M7.3)-1yr	prob(M7.3)-50yr
within 20km radius	113	5.5	0.745	4.486	4.252	0.002	0.073
within 100km radius	224	6.2	0.577	4.175	4.051	0.013	0.468
Chugoku area	1167	7.4	0.569	4.865	4.747	0.070	0.970

	number(M>4, depth<30km)	max_magnitude	b	a	A	freq(M7.3)-1yr	prob(M7.3)-50yr
within 20km radius	25	5.5	0.698	4.362	4.156	0.003	0.118
within 100km radius	68	6.2	0.613	4.402	4.253	0.012	0.441
Chugoku area	355	7.4	0.645	5.268	5.097	0.050	0.918

第2表 濃尾地震以降地表にずれを生じさせた日本の内陸地震のパラメータ  
Table2 Parameters for historical large intraplate earthquakes in Japan

Earthquake	Year	Mjma	L_surface(km)	Dmax_surface(m)	Mo(dyne-cm)	L_seismo(km)	W_seismo(km)	Dave_seismo(m)	Mw	Reference
Nobi	1891	8.0	80	7.4	1.5E+27	119	15	7.0	7.4	1, 2
Kita-Tango	1927	7.3	22	3.8	4.6E+26	35	13	3.0	7.0	1, 2
Kita-Izu	1930	7.3	32	3.8	2.7E+26	22	12	3.0	6.9	1, 2
Tottori	1943	7.2	12	1.7	3.6E+26	33	13	2.5	7.0	1, 2
Mikawa	1945	6.8	20	2.4	8.7E+25	12	11	2.3	6.6	1, 2
Fukui	1948	7.1			3.3E+26	30	13	2.0	6.9	1, 2
Izu-oki	1974	6.9	5.5	0.5	5.9E+25	18	8	1.2	6.4	1, 2
Hyogo-nanbu	1995	7.2	9	2.5	2.4E+26	60	20	3.4	6.9	3
Shizukuishi	1998	6.1	0.9	0.4	3.7E+24	6	6	0.5	5.6	4
Tottori-seibu	2000	7.3	0.6	0.3	9.2E+25	20	10	1.4	6.6	4

Reference 1: Matsuda (1975)  
2: Satou (1989)  
3: Association for the development of earthquake prediction (1999)  
4: Prompt report on Web (Iwate Univ., Tokyo Univ, Kyoto Univ)

## 図の Caption

### 第 1 図

「新編日本の活断層」(活断層研究会, 1991) による中国四国地方の活断層分布

### 第 2 図

詳細活断層 GIS マップ (隈元ほか, 2000) による中国四国地方の活断層分布

### 第 3 図

防災科学技術研究所の Hi-net による余震分布データ (2000.10.17-24)

### 第 4 図

気象庁カタログから 1926-1998 の浅い地震の活動と, 宇佐美(1996)による被害地震の分布.

### 第 5 図

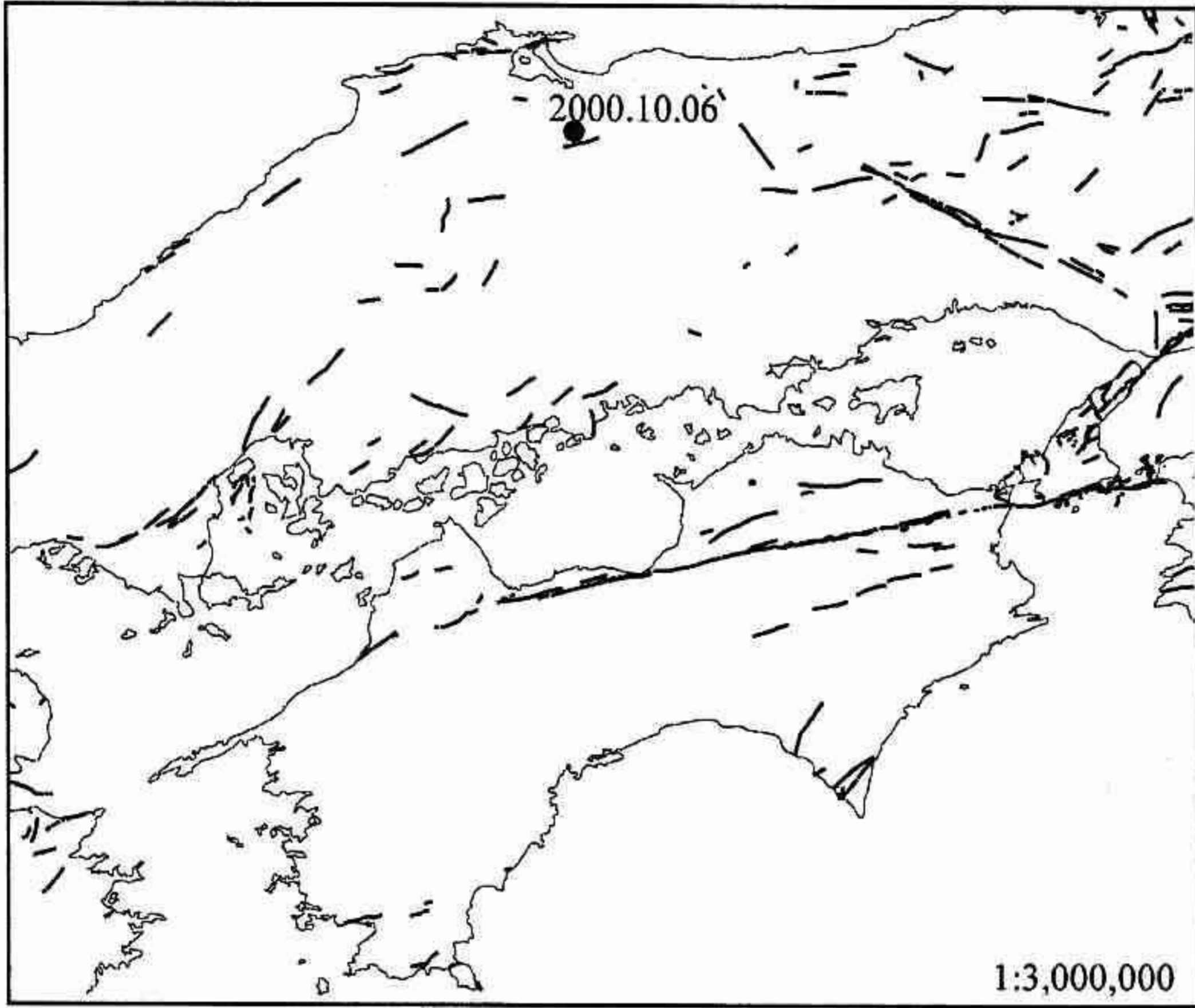
鎌倉山周辺での 1926-1998 の間の浅い地震の活動. 地震活動は, 詳細活断層 GIS マップに記載の推定活断層に平行してその震源域にのみ認められる.

### 第 6 図

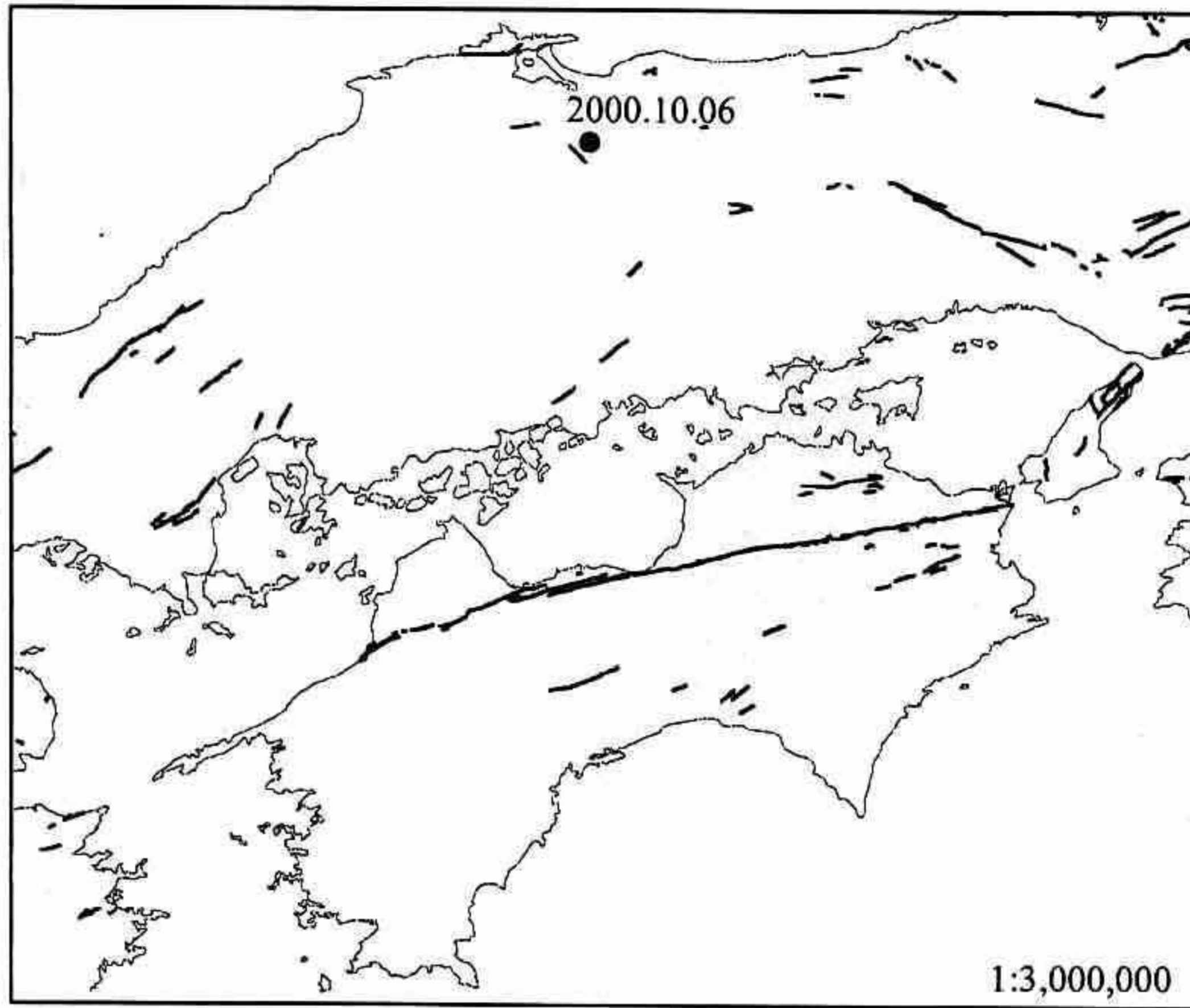
過去 100 年程度に日本の内陸に起こった地震の  $M_w$  と地表で認められた変位の長さ  $L_{\text{surface}}$  との関係(第 2 表).

### 第 7 図

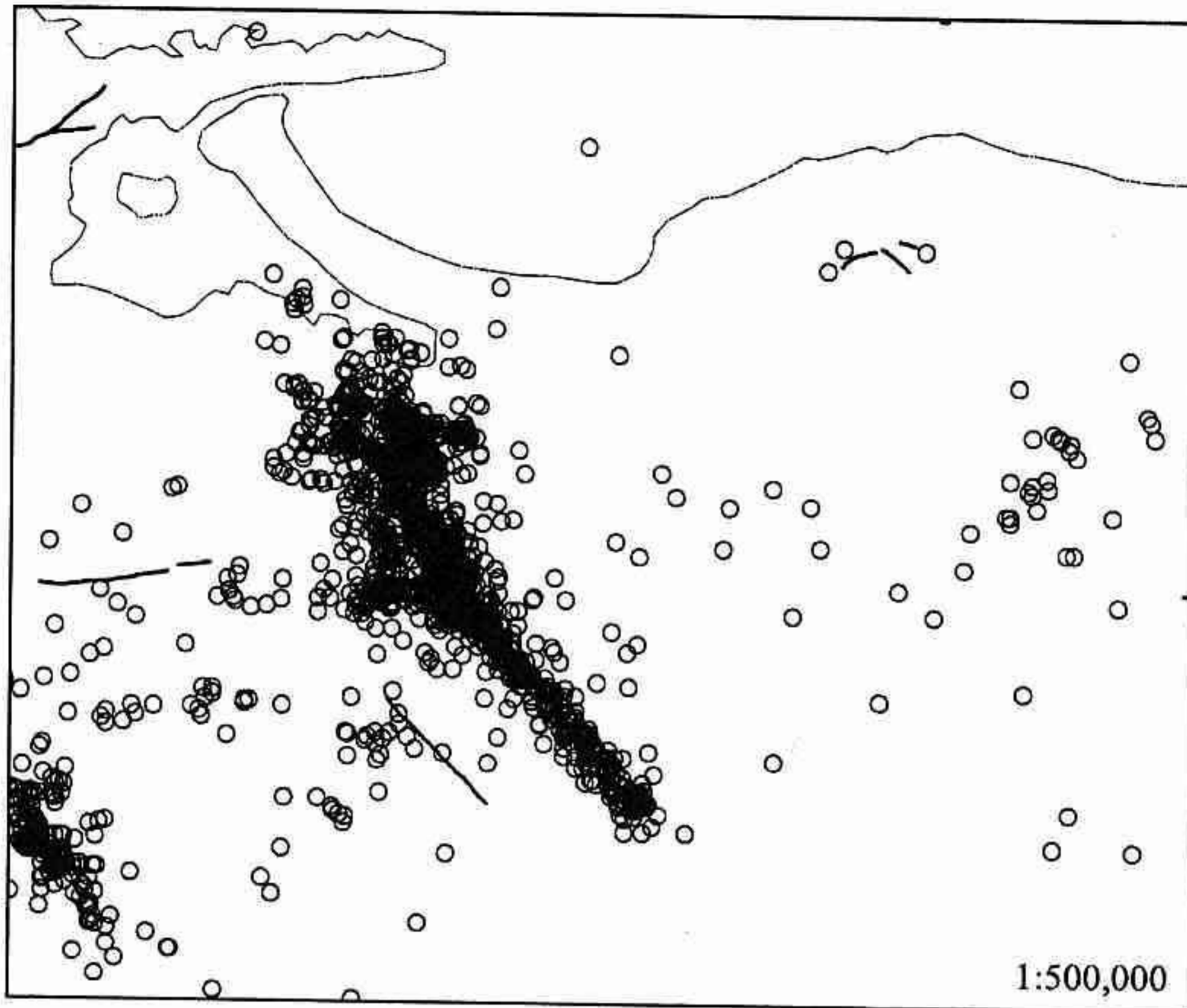
過去 100 年程度に日本の内陸に起こった地震の  $M_w$  と地震学的に求められた断層の長さ  $L_{\text{seismo}}$  との関係(第 2 表).



第1図

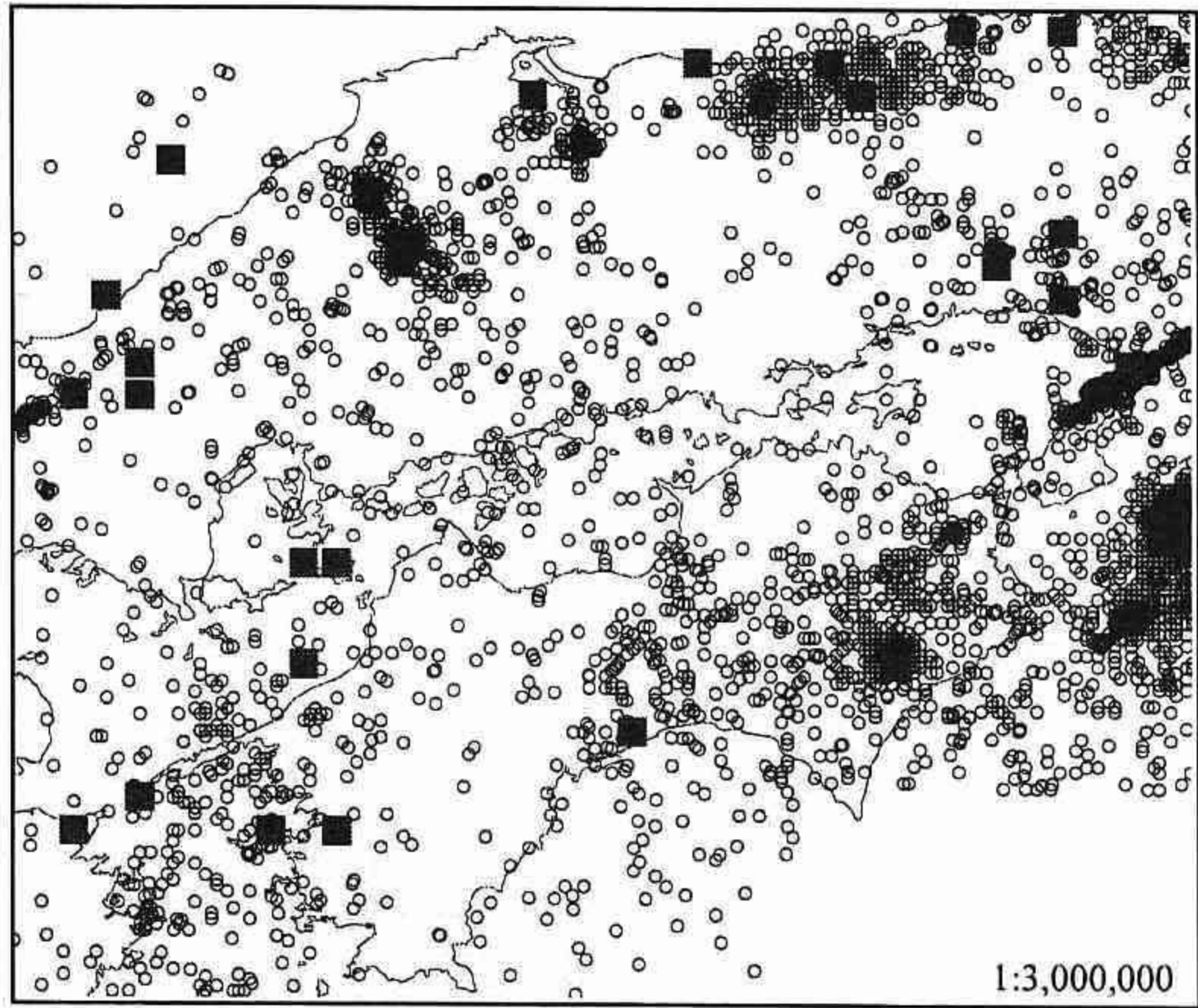


第2図



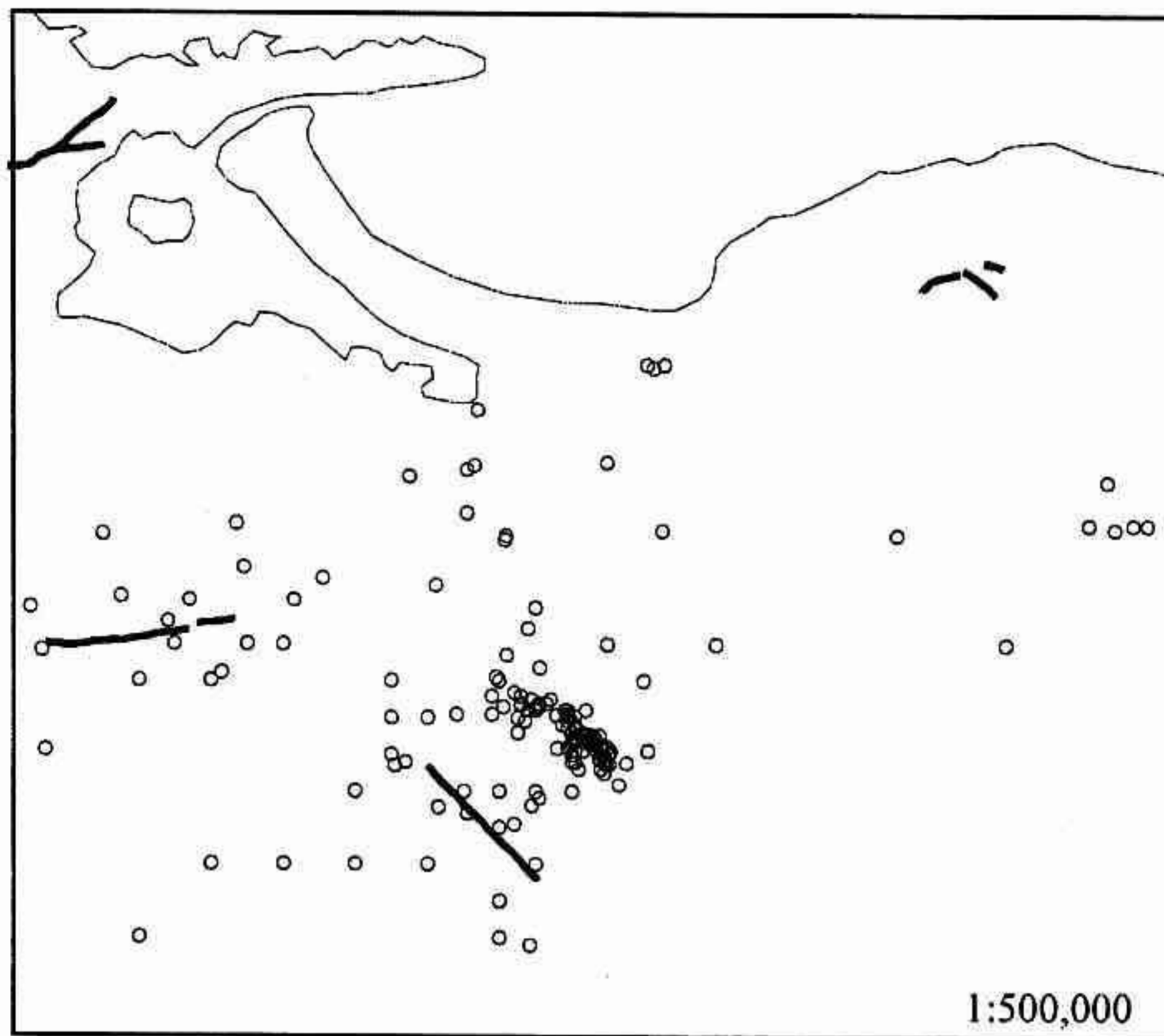
防災科学技術研究所の高感度地震観測網のデータ (2000. 10. 17-24)

第3図



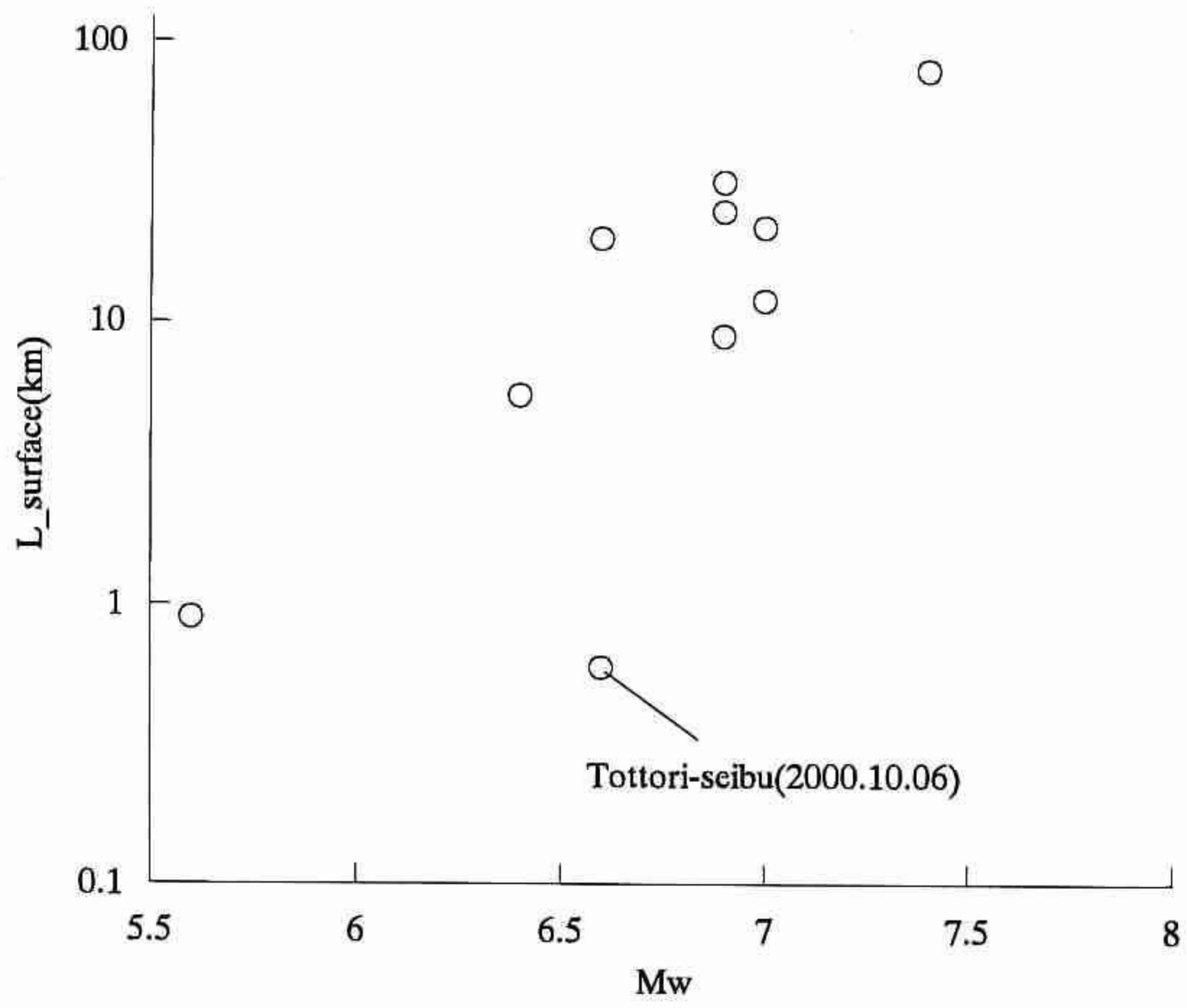
- Historical destructive earthquakes after Usami (1996)
- JMA seismicity catalogue 1926-1998 (>M3, <depth30km)

第4図



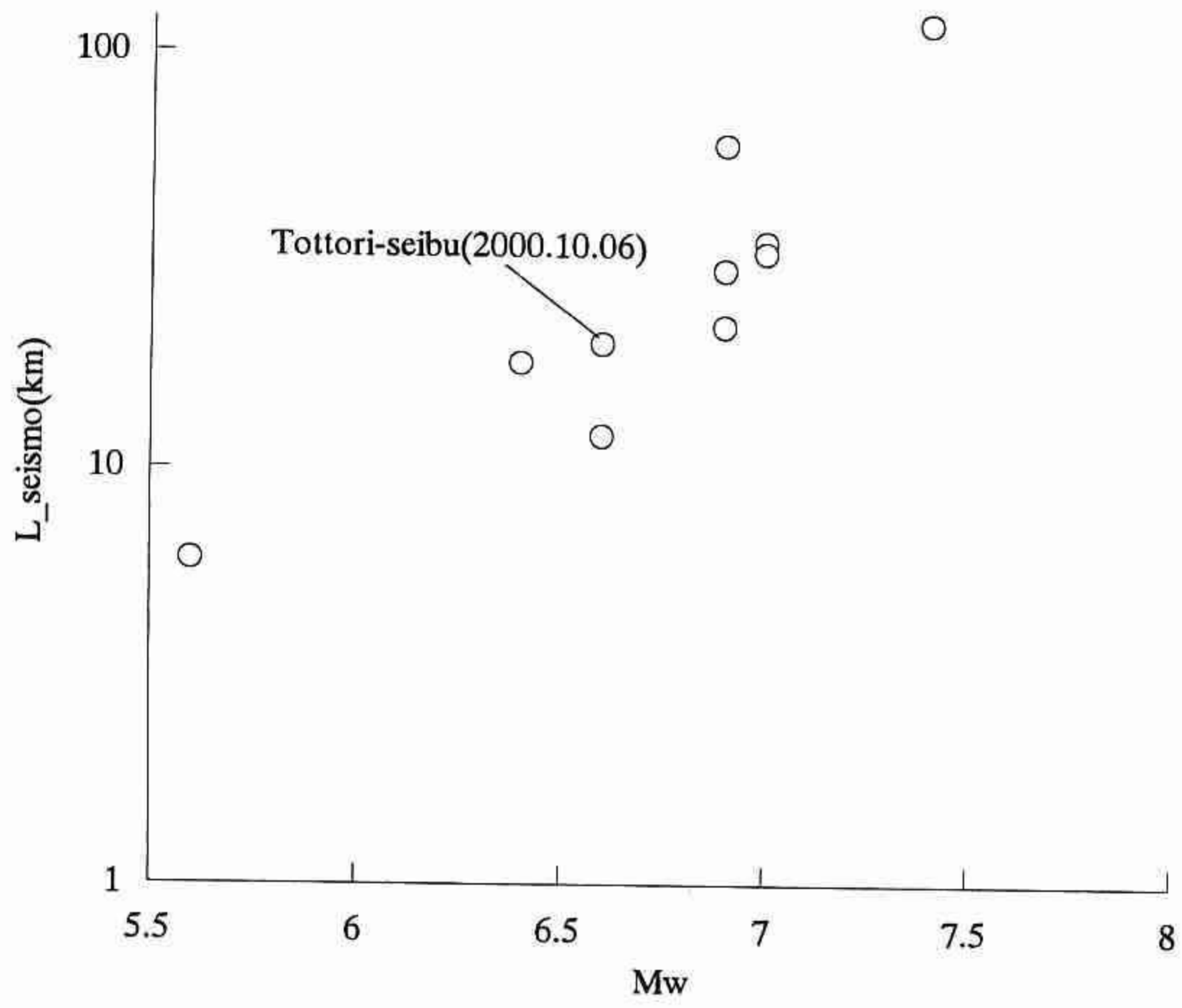
○ JMA seismicity catalogue 1926-1998 (>M3, <depth30km)

第5図



第6図





第7図