

地勢から見た発生地震の予測規模

小 沢 泉 夫

TOPOGRAPHICAL ESTIMATIONS OF SEISMIC MAGNITUDE OF COMING EARTHQUAKES

By Izuo OZAWA

Synopsis

Estimations of the seismic magnitude of coming earthquakes in Japan, and especially in Kyoto Prefecture have been estimated using lengths of these faults, areas of these topographical blocks and so on.

One can find some seeds of earthquakes in Kyoto Prefecture in the distributions of the remarkable and local earthquakes, recently.

1. 序

ある地方で将来発生するかもしれない大地震の規模、頻度を予想する方法には、

(1) 歴史に残っている地震の規模と発生年代より頻度を計算したり、最大の規模を推定したりする。頻度の計算¹⁾では、周期のパワースペクトルを求めて棄却限界を適用する方法²⁾、小河原³⁾のように震後しばらくは発生の確率は高いが時がたつと確率は小さくなるという見方、宇津⁴⁾のように時がたつと確率は大きくなるという見方、河角⁵⁾のように発生の周期に巾を持たすという考え方などがある。

(2) それほど長い歴史はないが現在、顕著、小区域地震の資料が沢山あるとき、地震発生の頻度と最大振巾に関する石本—飯田公式あるいは地震発生頻度とマグニチュードとのいわゆるリヒターの関係式から大地震の場合に外挿する方法。

(3) 地殻変動領域の広さ、変動量、変動時間などより大地震の規模、危険度を推定する方法、例えば藤井⁶⁾はある地方の土地の最大隆起量 h cm と地震のマグニチュード M との間には

急性の場合: $\log h = -1.51 + 0.46M$,

慢性の場合: $\log h = -1.45 + 0.34M$,

の関係があると求めている。また、坪川⁷⁾は異常地殻変動の継続時間 T 年とマグニチュード M との関係は

$$\log T = 0.79M - 4.44,$$

と求めている。

(4) 断層の長さ l km とマグニチュード M との関係は D. Tocher⁸⁾、飯田汲事⁹⁾、Wiedeman¹⁰⁾ et. al. 等が求めており例えば飯田は日本の地震と世界中の地震とは相違がある、日本の場合には

$$M = 6.6 + 0.5 \log l,$$

と与えており、断層の長さのほかに断層両側のずれ R m を考慮した場合は

$$M = 6.2 + 0.4 \log Rl,$$

と求めている。

(5) 最近の無地震域の面積より予想される地震の規模を求める方法で、後藤¹¹⁾、酒井は1952年の十勝沖地震、1954年の房総沖地震についてこの研究をしており、この無地震域を地震の種子と呼んでいる。

まだ予知に直接使用されていないが次に述べるような使用可能な事柄がある。

- (6) 地殻変動領域の半径 r cm とマグニチュードとの関係として壇原毅¹²⁾ は水準測量の資料を使って、

$$\log r = 0.51M + 2.73,$$

を求めている。

- (7) 地震の際観測される strain step の大きさから震源の破壊領域の半径 r_0 cm が求められる。著者¹³⁾ は r_0 とマグニチュードとの関係として

$$\log r_0 = 0.45M + 3.00,$$

を求めている。

- (8) 津波波源域の面積 A cm² と地震のマグニチュードとの関係は飯田¹⁴⁾、羽鳥¹⁵⁾ によって求められている。飯田の求めた関係は

$$\log A = 1.04M + 5.98,$$

である。

- (9) 大地震の際の震度6の領域の面積 A cm² と地震のマグニチュードとの関係は Berckhemer¹⁶⁾、飯田¹⁷⁾、村松¹⁸⁾ によって研究されたものがあるが、例えば飯田は

$$\log A = 1.30M + 3.71,$$

の関係を求めている。

2. 構造線、地殻運動ブロック

前節で述べたようにその地方に過去の地震の資料が乏しいとき、その地方の大地震の活動は現状から推定せざるをえない。また、現在の(小)地震の活動が顕著でないときは地勢などによらざるを得ない。もし、その地方に断層があれば多くの場合その地方には古くても数万年以内に大きな地震のあったことを示すものである。また、構造谷があれば恐らく新しい生代に地震活動があったと考えてよい。また、山脈、山塊、盆地、構造的な湖沼、湾、半島についても同様である。恐らく古い生代の構造でない限りその構造ができて行く運動は現在も継続していると考えてよい。従って、これらの構造の規模からその地方の最大の地震の規模を推定することに大過はないであろう。いま、これらの構造の決定、作図に当って、地殻の弾性的な支持力などからその地方の地震の規模と直接関係のあるブロックの最大の規模を考えるのが好都合であろう。例えば、坪井忠二¹⁹⁾ は最大のブロックの直径を地殻の厚さ約 50 km の約 3 倍としている。また、茂木²⁰⁾、南雲²¹⁾ は太平洋沿岸に並ぶ大地震のブロックを考えている。茂木は約 50 年の短い期間を考えると一つの大地震があつて次の大地震の起こるのは今迄活動してないブロックに起こる特徴が見出されると述べ、南雲は海底大地震の余震域を用いて同じようなブロックを書いている。

著者は日本の活断層図^{22), 23)} を参照して断層の分布と長さを求め、それに対応する地震の規模と合うように、飯田の関係式を少し修正した関係式、 $M = 0.76 \log l(\text{cm}) + 6.35$ を用いて、それぞれの断層に規模を記入して、Fig. 1 に示した。Fig. 2 は日本全国を、上に述べた事柄を考えて約 200 個のブロックに分け、それぞれのブロックで発生する地震の最大予想規模を付記した、マグニチュードの計算には $\log A(\text{cm}^2) = 0.90M + 6.50$ の関係を用いた。

3. 京都府付近の予想地震の規模の推算

京都市周辺に被害を及ぼした地震は西暦599年以降約50個が分かっており、宇佐美、久本¹⁾ は38.5年の周期があると述べている。一方、著者²⁴⁾ は多少違った資料で約500年の周期が少々大きく100年、200年、300年がこれについているがいずれにしても周期性は弱いものであることを示した。また、最大のマグニチュードは慶長(伏見)の地震の7.0、びわ湖西岸をも含めると寛文の地震の7.6という予想資料がある。しかし、京都府北部は史実の明らかなもの僅かに3個、不確実なものを入れても5個を超えない。さらに京都府中部にいたってはマグニチュード5.5を超えるものは皆無である。しかし、京都府の日本海岸近くには数10の断層²⁵⁾ があるので、恐らく過去10万年間にはマグニチュード7以上の地震が数10回あったのであろう。Fig.

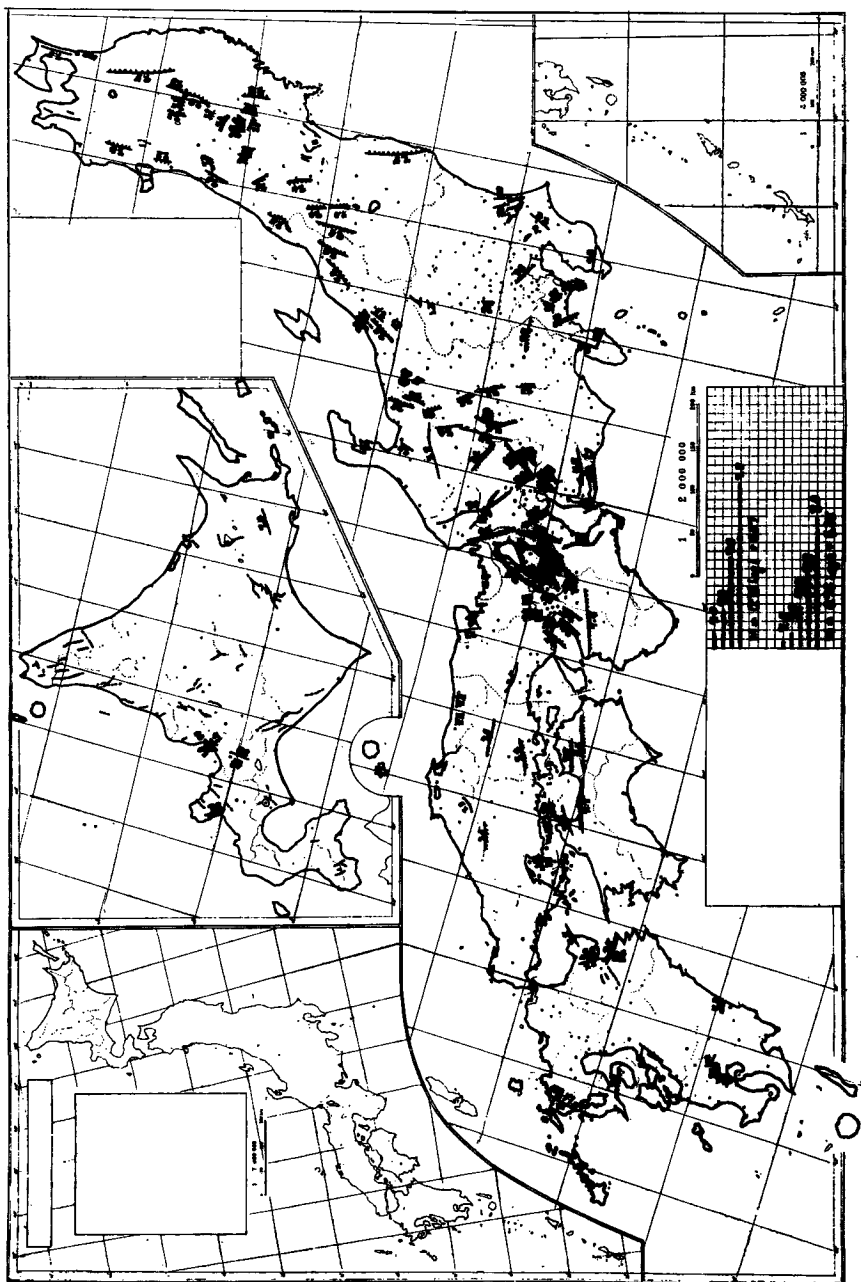


Fig. 1 Magnitudes on the faults.

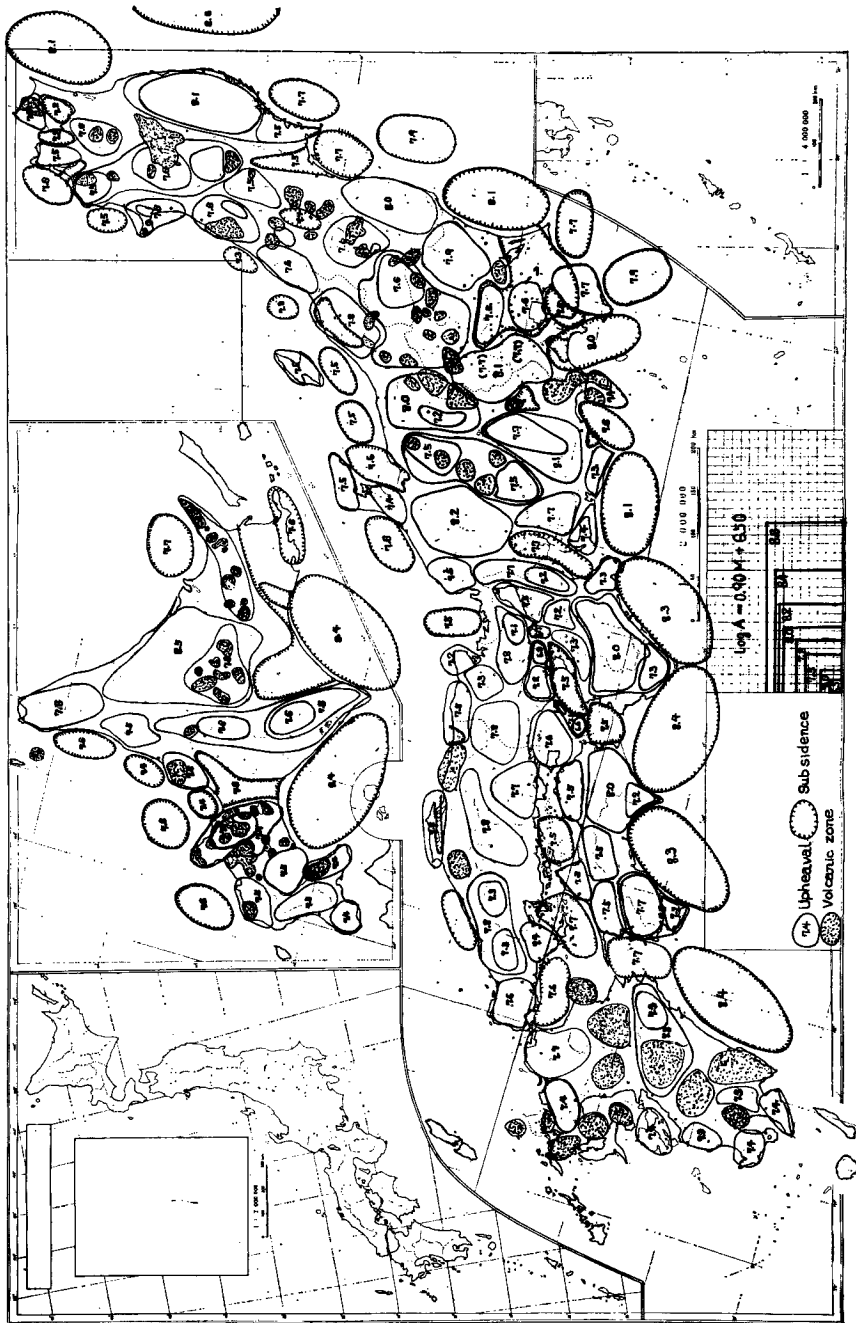


Fig. 2 Magniuds in the blocks in Japan.

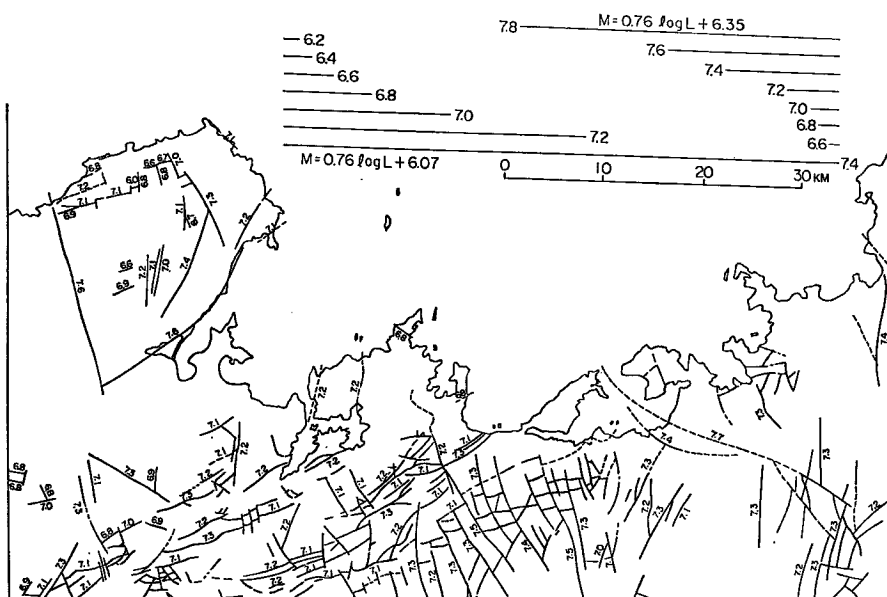


Fig. 3 Magnitudes on the faults in the northern part of Kinki district.

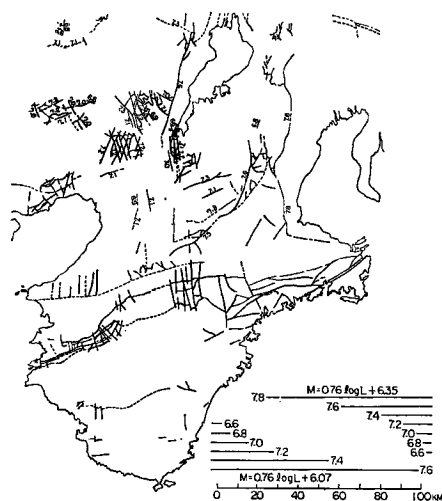


Fig. 4 Magnitudes on the faults in the middle part of Kinki district.

3, Fig. 4 に Fig. 1 と同じ方法でマグニチュードを記入したものを示す。Fig. 4 で明らかなように京都市周辺には数多い断層がある。しかし、京都府中部、丹波地方、には断層がほとんど記入されていない。しかし、この地方には深く大きい構造谷や、比較的けわしい山が多いので造山作用が活発であることは明らかである。1927年～1965年の国土地理院による和田山—京都市間の水準測量は相対的には夜久野、福知山に対して丹波町は約 8 cm、亀岡は 10～15 cm 京都市は 15 cm 以上所によっては 60 cm の沈下を示していること。また木津市は大津市に対し 1948年—1934年の間に約 8 cm の沈下を、また、1948年—1968年の大津—今津間

の測量では今津は大阪に対し約 8 cm の隆起を示しているので、京都市周辺は沈下しているともいえるが京都府中部、びわ湖の西北側の山地が著しい隆起をしているともいえると思われる。また、坪井、実川、田島²⁶⁾ はウォルドン型重力計による測量の結果、びわ湖東北部でブーゲー異常の勾配の著しいこと、宮津、夜久野に重力異常の目のあること、また、田島²⁷⁾ は京都府北部で地磁気の経年変化が 3 ガンマ/年以上に達することを示している。また、1968年には京都府中部でも小区域、顕著地震(深さ 20 km 程度のものが多い)が稍稍活発であったことなどを考え、尤もらしい構造谷、地塊ブロックを作図し、Fig. 2 と同じ方法で、マグニチュードを記入して Fig. 5, Fig. 6 に示した。京都府は約 20 個のブロックでカバーされた。また、ブロックのあるものは 2 重あるいは 3 重のブロックに細分された。最も大きいブロックは丹波山塊の 7.8、びわ湖と比良山脈を含めた 7.6 である。丹波山塊は大部分古生層で覆われているので地震発生の頻度は小さいけれども、古生層でもある程度大地震も起きているので、地震発生の予想は皆無とは云えない。

Fig. 7 は 1926 年より 1971 年迄の間にあった京都府とその周辺の有感地震³²⁾ の震央を記入したものである。この、約 50 年の短期間内では地震後 2 年ぐらいうると前に地震のあったのと全く同じ所で再び地震が起こるということは全くといってよい程ない。また、加佐郡、宮津市、舞鶴市を含む地域と京都府南部の千頭山、鷲峯山、三ヶ岳を含む地域とに 1. の (3) で述べた地震の種子と見做されるものがある。この 2 つの地区の広さからマグニチュードを推算するとそれぞれ 7.6, 7.4 と求められる。

4. 地震活動のブロック別の相違

地震のブロックを作図したとき、このブロック間の発生頻度の相違は大部分の場所ではリヒターあるいは石本一飯田の式で求めるほど十分な資料は得られないので地勢などによる定性的な推定によらざるを得ない。

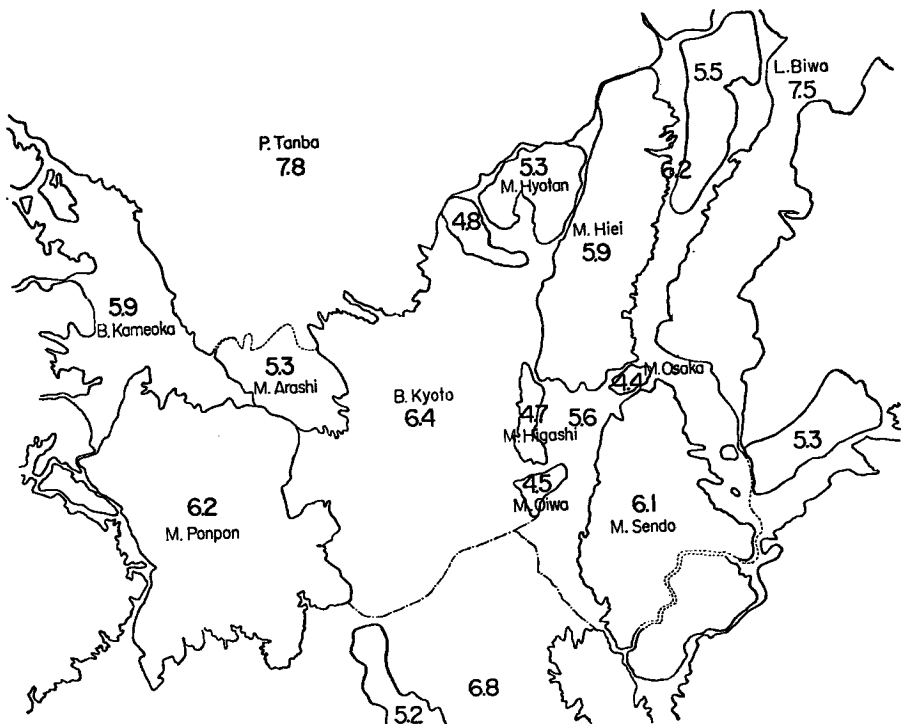
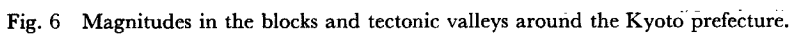


Fig. 5 Magnitudes in the blocks around Kyoto City.



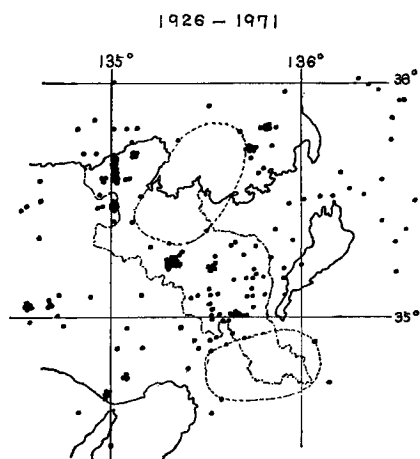


Fig. 7 Distribution of the epicenters, and nests of the earthquakes.

て、新しい地層の所に圧倒的に多い。ことに沖積地あるいはその境で多い、恐らく地震による沈降と沖積原の発達が因果関係にあるのであろう、成程、陥没地震と見られるものも多いけれども陥没を起こす運動が原

1923年関東地震, 1927年丹後地震, 1930年頃の伊豆地震群, 1966年松代地震等では余震あるいは群発地震は隆起部に集中したことが明らかにされている。また、浅野²⁸⁾, 其の他の研究によれば, Fig. 8 に示されるように第三紀の花崗岩が浅い所まで盛り上っている所に集中している。しかし、活火山のある所では大地震は起らないというのが通説である。太田²⁹⁾, 其の他は大きなエネルギーの地震の震央は隆起部の中心には少なく、沈降部ないしは隆起部と沈降部の境界部あるいは等値線の間かくが密な所に多い。といっている。このことは松沢³⁰⁾ が大地震の主震はその余震領域の一方の端にあると述べていることと一致する。

大地震の頻度と地層との関係は、例えば、1616年以降の日本の大地震312個³¹⁾のうち現世層で起きたもの36~37, 第4紀火山岩地帯8, 新世界(第三紀)51~53, 酸性深成岩地帯13~15, 中生界5~6, 領家花崗岩及び変成岩地帯3~4, 結晶片岩地帯3, 古生界9~11, 他は海底下であっ

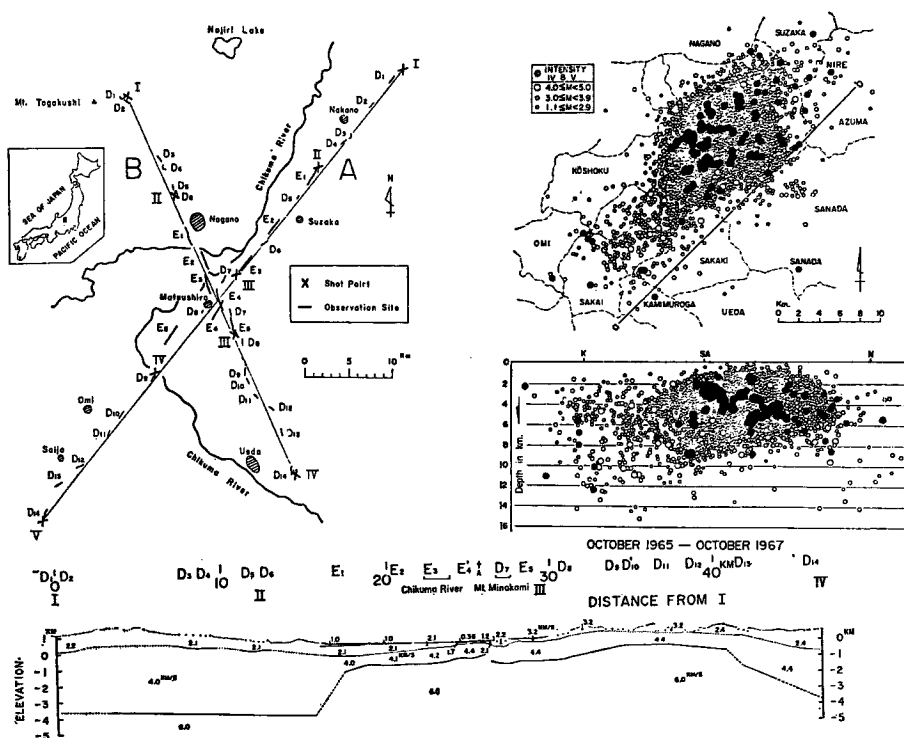


Fig. 8 Hypocentral distributions of the earthquakes at Matsushiro (a), the underground structure (b), and the observing spread (c). (After Asano et. al.)

因というよりは地震の結果周辺が隆起あるいは分裂したために陥没したり、また、沖積原に被害が集中したということであろう。また、古生層でも地震は皆無ではなく約4%を占めている。これらの多くは古生層の周辺部に多いのであろう。

以上、ある地方の震災の予想をする必要からブロック別の地震のマグニチュードを決めることを試してみた。ブロックの決め方には今後更に尤もらしいものに修正を加えて行きたいと思う。また、大方の御叱正を賜りたいと思う。

謝 辞

この報告をまとめるに当って国土地理院、地質調査所の資料を参照させて頂いた。ここに御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 宇佐美龍夫・久本莊一：京都が震度 V 以上の地震に襲われる確率，地震研究所集報，第 49 卷，1971，pp. 115-125.
- 2) 島崎邦彦：異常地震活動の統計的検出法，科学，第 41 卷，1971，No. 12 pp. 67-68.
- 3) 小河原正己：東京における次の有感地震の確率，験震時報，第 20 卷，pp. 81-92.
- 4) 宇津徳治：地震の時間的分布に関連する問題（その 1）——地震の回数と時間間隔の分布について，北海道大学地球物理学研究報告，第 22 号，pp. 73-93.
- 5) 河角 広：関東南部地震 69 年周期の証明とその緊迫度ならびに対策の緊急性と問題点，地学雑誌，第 78 卷，1970，pp. 115-138.
- 6) Fujii, Y.: Relation between maximum vertical displacements of the crust and magnitudes of earthquakes and its application to the problem of earthquake prediction, Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. 15, 1969, pp. 69-92.
- 7) 坪川家恒：地殻変動の継続時間と地震の規模との関係について，測地学会誌，第 15 卷，1969，pp. 75-88.
- 8) Tocher, D.: Earthquake energy and ground breakage, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 48, 1958, pp. 147-153.
- 9) Iida, K.: Earthquake energy and earthquake fault, Journal of the Earth Science, Nagoya University, No. 7, 1959, pp. 98-107.
- 10) Wideman, C., J. and M.W. Major: Strain step associated with earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 57, 1967, pp. 1427-1444.
- 11) 後藤賢一・酒井嘉子：地震の弾性反撥説模型と予知について，第 3 回災害科学総合シンポジウムに発表，同論文集，1966，pp. 202-204.
- 12) 壇原 毅：松代地震に関連した地殻の上下変動，測地学会誌，第 12 卷，1966，pp. 18-45.
- 13) Ozawa, I.: Observations of abrupt changes of crustal strains during earthquakes, Special Contributions of the Geophysical Institute, Kyoto University, 1970, pp. 127-136.
- 14) Iida, K.: The Niigata tsunami of June 16, 1964, in General Report on the Niigata Earthquake of 1964, Tokyo, Japan, Tokyo Electrical Engineering College Press, 1968, pp. 97-127.
- 15) Hatori, T. Vertical crustal deformation and tsunami energy, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Vol. 48, 1970, pp. 171-188.
- 16) Berckhemer, H.: Die Ausdehnung der Bruchfläche im Erdbebenherd und ihr Einfluß auf das seismische Wellenspektrum, Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. 71, 1962, pp. 5-26.
- 17) 飯田汲事：中部地方の被害を伴った地震とその災害ならびに震度とマグニチュードの関係，中部地区における災害の地域的特性に関する総合的研究研究報告，昭和 44 年，pp. 105-124.
- 18) 村松郁栄：震度分布と地震のマグニチュードとの関係，岐阜大学，教育学部研究報告，第 4 卷，1969，

- pp. 168-176.
- 19) Tsuboi C.: Earthquake energy, earthquake volume, aftershock area, and strength of the earth's crust, *Journal of Physics of the Earth*, Vol. 4, 1956, pp. 63-66.
 - 20) Mogi, K.: Sequential occurrences of recent great earthquakes, *Journal of Physics of the Earth*, Vol. 16, 1968, pp. 30-36.
 - 21) 南雲昭三郎: 海底地震研究最近の進歩, *海洋の科学*, 第 2 巻, 1970, pp. 585-590.
 - 22) 羽鳥謙三・貝塚爽平・成瀬 洋・太田陽子・杉村 新・吉川虎雄: 日本の第四紀地殻変動図 (予報), *測地学会誌*, 第 10 巻, 1964, pp. 111-115.
 - 23) 国立防災科学センター: 第四紀地殻変動図, 断層分布図, 昭和 44 年 8 月.
 - 24) 小沢泉夫: 京都府震災対策基礎調査報告, 1971., 小沢泉夫, 震災対策からみた京都の地盤, 京都市防災会議報告, 1970, pp. 1-6.
 - 25) 工業技術院地質調査所地質図, 宮津, 1968.
 - 29) 太田陽子・貝塚爽平・杉村 新・吉川虎雄・高橋 博・羽鳥謙三・成瀬 洋: 日本の第四紀地殻変動について, 第 3 回災害科学総合シンポジウム論文集, 1966, 205-207.
 - 30) Matuzawa, T.: Study of earthquake, 宇野書店, 1964.
 - 31) 理科年表による.
 - 26) Tsuboi, C., A. Jitsukawa and M. Tajima: Gravity survey along the lines of precise levels throughout Japan by means of a Worden gravimeter. Part V, Kinki District. *Bulletin of Earthquake Research Institute, Tokyo University supplementary volume IV, Part VI*, 1954, pp. 129-198.
 - 27) Tajima, M.: Accuracy of recent magnetic survey and a locally anomalous behaviour of geomagnetic secular variation in Japan, *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, Vol. 13, 1968, Part 2, pp. 1~78.
 - 28) Asano, S. et. al.: Explosion seismic studies of the underground structure in the Matsushiro earthquake swarm area. *Journal of Physics of the Earth*, Vol. 17, 1969, pp. 77-90.
 - 32) 気象要覧, 地震月報による.