

I 我が國における地震危険度の分布

河 角 廣

1 震災の防止について

日本は天災国 我が國はアジア大陸の東を縁どつて連なる列島上その温帯の主要部を占め、事実上大陸と太平洋の境界をなしている。この特殊な位置と地形地質により、世界に冠たる地震国であり、又赤道附近の海洋上に發生する熱帯性低氣圧（台風）の通路に当たるとともに、大陸に發生して東進する温帯性低氣圧（大陸旋風）の影響をも受けて風水害が著しく、又地震や風に伴う津浪高潮の來襲もあり、加うるにその風土と歴史に由来する木造家屋は火災を招き易いばかりでなく、温暖湿潤の氣候の爲に容易に腐朽して災害を甚だしからしめている。

防災の急務 これ等の災害を防止して物資の損耗を防ぐ事は目立たない事業であるが、資源の利用度を高める事とともにその開発に劣らぬ重要な意義を持つ筈であり、日本再建の爲の人的並びに物的の国力結集発揮の一環として忘れることの出来ない事である。然るに従来災害はしばしば不可抗力として看過されて來たが、刻下の厳しい国情においては特にたとえ多少の經濟的負担を忍んでも人智の限りを尽して災害防止に努めることは却つて經濟的にも有利なるべき事は次の一事を見ても明かであろう。即ち問題を住宅問題に限つても最近我が國では震、火、風、水の害が特に著しいのではあるが、戦後昭和 22 年 9 月までの建物の災害による消耗は 564 万坪に上り、同期間の新築坪数 1120 万坪の 50 %以上に当ると云う事實である。然も木造家屋には自然老朽の寿命があり、戦後の粗悪な建物の氾濫を考える時、その寿命の末期に天災の來襲があつたならば、戦災以上の住宅危機に見舞われないと何人が保証出来よう。住宅損耗の 45 %を占めると云われる火災による消耗率も明治大正時代に比べて消防法の發達等によつて昭和初期には半減しており、建築法の進歩により耐震、耐風の方策も進んでいるので、これを活用すれば天災の軽減は期して待つ事ができる筈である。この意味において世界に魁けて建築基準法の全国的実施を見た事は真に慶賀の至りであるが、これを単に新築の準則に限ることなく、更に既存建物の修理保全の方面の規正にまで拡張されることが望まれるのである。

このようにして、耐震、耐風、耐火、もしくは防火施設の向上は生命の危険を減じ、安寧を増進する厚生事業であるが、人的資源における結核対策と同じく、それは単に厚生事業たるに止らず、資源と、人力、時間を節約する大いなる經濟問題であり、その実行が特に緊急を要することは前述の通りである。

震災の防止 この対策の一環として、ここに震災防止の問題を考える。我が國では古來地震は怖いものの隨一に数えられており、實際その地震活動から見ても世界に冠たる地震国であり、

大正12年の関東大地震の如きにおいては全壊128,000戸、半壊126,000戸、焼失447,000戸の外、津浪による流失800余戸と云う如く、直接の倒壊に加えて火災水災も附随し、死者104,000人行方不明44,000人と言う我が国における天災の最高を示した。(中国の地震では1556年に死者830,000人の記録がある。)勿論これは京浜地方のような特別地区に起つたからではあるが、明治24年の濃尾地震でも全壊家屋140,000戸、死者7,000人に及び、昭和9年9月の室戸台風による全壊39,000戸、半壊49,000戸、流失4,000戸、死者2,700人に比べても、又昭和20年9月の枕崎台風による家屋全壊58,000戸、半壊55,000戸、死者2,000人に比較しても、地震の恐ろしさは知られるのである。統計的に見れば、建設省住宅局による昭和時代23年間で地震による建物の消耗は210,000戸で火災、風水災による消耗の約3分の1、全災害消耗量の14%であつたと言うが(この数字は明治大正の分も加えた平均では更に大きくなるであろう)、この期間の震災による死者は風、水災によるものの約1倍半、16,000人に上つている。

然もこのような大災害を何等の予告なしに地震は瞬時に齎らすのである。この原動力には原子爆弾十数万箇を同時に爆発させたのにも匹敵するものもあつて、到底この地震の発生を人力で阻止すべくもない事は致し方ないが、震災の或る程度の防止は必ずしも不可能ではない。明治以来我が国に発達した耐震工法の効果は最近数次の大地震毎にこの事実を立証している。故にこの知識を活用すればよいのであるが、全国一率に一律な耐震工法を実施することは刻下の我国の国情では不可能でもあり、又必ずしも必要ではない。地震来襲の可能性の少い所、地盤の強固な所は夫々実情に即して資材労力の節減を計ることが要請されているのである。

この見地から地震の場合にはその危険度と地盤調査が問題になり私達はこの資料でも先ずこの2つの面を考えているのである。但し現下の事情ではこの地盤調査を、必要な程度に詳しく全国的規模で行う事は容易な事ではなく、重要な都市から始めているので、私はここには東京及び大阪に関する調査だけを報告する(本データブック第Ⅲ章)。これらの調査は長年の文部省の科学研究費による研究結果に基づき、昭和24年度には経済安定本部の要望課題として文部省科学研究費により、又昭和25年度には建築基準法の実施に伴う設計基準震度決定の参考資料として建築研究所よりの依頼によつて行つたものである。ここに銘記して謝意を表する次第である。

2 我が国における地震危険度の分布

§1 地震の危険度

我々の地震に対する危険感には色々な面がある。一地点の住民として考えれば、先ず第一に来るべき地震の強さ、即ち震度が問題になる。震災は震度と共に激増するからである。一地点の震度を支配するものは、その地震の大きさとその震央からの距離、及び地盤である。地盤の影響は極めて著しいものであるが、それは地盤調査によつて個々の地点で決定できるので(私もその1,2例を第Ⅲ章に述べている)、ここには一応除外して、地盤は一応標準地盤の場合として考えておく。次

の問題はそのような震度の地震の来襲頻度であるが、その他に更にその来襲の時間的緊迫感の差やその確実性の問題も我々の危険感の中には含まれている。従つてこれらすべての面を決定するには地震の予知が必要である。従来それは(1)過去の地震活動の歴史により、地域的に如何なる規模の地震が起つたかを調べ、(2)それによつて、各地域毎にそれ等地震の規模別頻度、及びその発生に見られる時間的規則を闡明し、(3)次にはこれ等地震の地理的分布に見られる規則性を見出し、例えば従来論じられたように地震帯を想定し、その中における未活動地域を探したり、或いはその活動の過期性から活動期の再来を推定する。この際一地域のみならず他地域との相互活動の習性、即ち地震活動の時間、空間的規則をも考慮に入れる。(4)次にはそれぞれの地域において地震発生と関連のある各種の地球物理学的現象に注目して地震発生の転機をつかむ、と言うような方法が考えられて来たが、このような古典地震学の王道が果して見出されるか否かは最近漸く疑惑が持たれるに至つた。それはその前提たる地震発生の地理的、時間的規則の存在が疑われて来たからである。現在我々の知り得た所では地震発生は偶発的であると見做さるべき点が多々あるのである。或いは人智の進歩に伴い何等かの複雑な規則の発見に至るかも知れないが、大地の悠久性から見れば我々人類の歴史は極めて短いものであり、過去の地震史の調査から大森博士は地震は同一地点には再び起らないとされ、大森博士より更に長期間に亘り精しい調査を行われた今村博士は同一地域にも地震は再び起るがその輪廻は800年乃至1000年であると言われている程で、果して然らば我々の過去の歴史より、よし時間的規則を帰納したとしても、その規則の真実性は我々の現在有する一輪廻余りの歴史では確かめ得ない所であり、科学的にその法則性を実証し、それにより将来を予知し得るに至る日は極めて遠い将来であると言わざるを得ない。従つて現存資料を以てしては上述の如き古典地震学の王道による地震危険度の決定は不可能であると言ふべきである。即ち地震来襲の緊迫性とか確実性の数量的議論は現在の我々には問題外とせざるを得ない。

然しながら地震の発生は偶発的であるからと言つて、そこに何等の秩序も存在しないと言ふのではない。例えば人間の死亡とか火災発生とかは決して個々に見れば法則に従つていないと思われないうが、生命保険も火災保険も現実に成立しているのである。即ち統計的法則は地震発生にも存在することは疑う余地がない。例えば南海地方の大地震は個々に見れば百年未満、或いは百数十年の間隔をもつて起り、決定論的には法則性は定めることができないが、此の地方全域を平均的に見れば約100年毎に大地震が繰返えされていると言ふ如きである。この意味においては地震の輪廻は1000年であつても、我が国の大部分に見るが如く1000余年間の地震史から見た平均の活動状況は確率的には或る程度の有意性を持つと言えよう。この事は金井博士の調査せられた最近約80年間の我が国地震活動の趨勢が後述1350年間のそれと少くともその地域性においてはかなりの相似性を示すことから知られる所である。

即ち一地点において歴史時代に経験した地震の震度別頻度 $n(I)$ を求め、それをこの歴史時代の長さ T で割つた平均震度別頻度はその地点の地震危険度を示す最も基本的な量と考えられる。これによつて我々は一定期間中に起る可能性のある倒壊家屋、死傷者等の総数も、或いは必要ならば現

在の物価水準における被害の総額を推定する事も不可能ではない。何となればこれ等の損害は何れも震度の函数であるからである。それ等被害の推定値、即ち数学的用語で云えば期待値はそれによつて各地の危険度を表わす或る意味の実用指数と見る事ができる。又 $n(I)/T$ の函数形を定めるパラメーターがあるならば、それも又一種の危険度の物理的指数となる筈である。筆者が我国の最近の地震活動より得た結果によれば一地点における $n(I)$ は、

$$n(I) = C \times 10^{-\alpha I} \dots\dots\dots (1)$$

の形で表わされ、 α は場所によらない常数であるらしい。従つて $n(I_0)/T$ 、或いは、

$$S(I_0)/T = \sum_{I=I_0}^{\infty} n(I)/T \dots\dots\dots (2)$$

も又地震の危険度の物理的指数と見られるであろう。尙又、上の平均頻度の逆数、

$$T/n(I_0)$$

は一地点において震度 I なる地震再来の平均年数を示し、

$$T/S(I_0)$$

は I 以上の強い地震の再来週期とも呼ぶ事ができよう。

§ 2 耐震設計の基準震度

次に震災防止対策の実施上重要な一要素たる耐震設計の基準震度について考えて見る。過去の地震活動を将来の鑑みと見る我々の立場が許されるとすれば、一地点において嘗て経験した最高震度を基準震度と採ることが可能な場合には地震の頻度の関係など顧慮する必要がなくなり、その建物の強度の持続する限り我々の安全感は 100% 充たされる筈であるが、地震の最大加速度は時に重力以上に達すると見なければならず、又よしそれ程でないにしても我々の耐震工法実施の経済的可能な範囲を超える場合も相当ある筈である。従つて可能な範囲でその耐震設計強度を軽減することは当然考えざるを得ない。この際若し建物の寿命が短い場合には、(統計的に前述の如く大地震程発生回数が少いと言う事実から見て、強い地震程将来も来襲の可能性は少い筈であるから) その建物が強い地震に見舞われる可能性は少くなる。それ故建物の寿命中で遭遇の可能性のある最高震度に耐え得るように設計すれば最も理想的である。こゝに言う最高震度も決定論的のものでなく確率論的の期待値によらざるを得ないことは言う迄もない。即ち問題の期間 t 年の間にそれ以下の震度の地震には遭遇する可能性があるが、それ以上の震度の地震の来襲回数の期待値は 1 に達しないと言う限界震度 I_0 を以て上の最高震度の期待値とすることが許されるであろう。換言すれば上述の意味で再来週期が t 年問題の年数 t になるような I_0 を考えるのである。故に、

$$S(I_0) t / T = 1 \dots\dots\dots (3)$$

と言う関係によつてこの限界震度 I_0 が定まる。但しこれが確率論的の期待値である以上、現実にはその期間中にその期待値以上の震度の地震に見舞われることも或る程度は覚悟しなければならない事は言う迄もない。従つて基準震度の決定には安全率を考慮する必要があるが、とも角この限界震

度の期待値も又一種の危険度の指数と見なし得ると思う。

§ 3 実際の計算

我が国の歴史時代の地震資料は関谷、大森両博士について今村博士及び武者金吉氏によつて蒐集され、増訂地震資料として震災予防評議会により第 3 巻まで出版され、最後の第 4 巻も毎日新聞社の研究助成金で最近刊行され、その龐大なる事世界に類例を見ない程であるが、その記録のみによつて全国各地の震度別頻度 $n(I)$ を定めることの不可能であることは言うを要しない。従つて存在する限りの地点の記録により、地震の震央と規模とを推定し、それによつて記録の存しない地点の震度を推定せざるを得ない。これ等 1350 年に亘る龐大な資料の調査に晩年を捧げられた今村博士により一応の震央と規模は定められているが、最近武者氏は今村博士の研究結果を増補し、強震程度だつたものまで含む日本大地震年表を編纂し、震災予防協会から刊行しておられるが、筆者はそれの校訂を担当し、日本各地の震度推定に役立つと思われる資料を出来るだけ補つたので、この材料によりこれ等地震の震央及び地震の大きさの再決定を行うことができた。それ等の結果、震央及び大きさの定まつた 343 個の地震を第 1 図に示す。こゝに筆者の用いた地震の大きさ M_k とは地震の規模指数で、震央距離 100 km における震度である。但し震度は気象台の震度階を用い、5 は強震で土壁、煉瓦塀等に亀裂、屋根瓦の移動を生じ、平地に小亀裂、小山崩れ等を見る程度で、6 とは烈震、即ち木造家屋にも 1% 以上の倒壊を生じ、大地変を伴う程度、7 は激震で更に強く、木造家屋は全面的に倒壊を生ずる程度を表わし、この震度と最大加速度との関係は東京において石本式加速度計による観測結果と比較すると、

$$\bar{a} = 0.45 \times 10^{\frac{1}{2} I} \text{ (gals)} \dots\dots\dots (4)$$

なる美しい関係を持つものである。但し \bar{a} は人体感覚から震度 I と定められた地震の最大加速度の幾何平均値である。従つてこの式の I は I と $I+1$ との中間値だと見るべきで、震度そのまゝに対する加速度を知るには係数 0.45 の代りに 0.253 を採ればよいと考えられる。この関係を表示すれば第 1 表の通りである。

第 1 表 震度と最大加速度

震 度	0	1	2	3	4	5	6	7
	無感	微震	軽震	弱震	中震	強震	烈震	激震
最大加速度 (gals)	0.8	2.5	8	25	80	253	800	
		1.4	4.5	14	45	142	450	

言う迄もなく震度は震央距離と共に減少しその減少の仕方は震源の深さによつて変わるが、被害を伴うような地震は 20~30 km 以浅で、その間では余り大差がないので筆者は昭和時代の地震を調べて平均として次のよう

な関係を得た。

$$e^t = \left(\frac{100}{\Delta} \right)^2 e^{M_k - 0.00183(\Delta - 100)} \dots\dots\dots (5)$$

ここに Δ は震央距離でその単位は km であり、この式は Δ が 100 km 以上にあてはまる。それ以内の所は東京において観測された震源距離 r と震度別頻度 $n(I, r)$ の研究から求めた関係、

$$I = M_k + 2 \log_{10} \frac{r_0}{r} - 2k (\log_{10} e) (r - r_0) \dots \dots \dots (6)$$

(ここに k は主要動横波に対し $0.0192/\text{km}$) で計算できる。この範囲では震源の深さにより相当 I は変化するが、ここでは歴史時代の地震の震源の深さを決定することはできないので、仮りにそれを 18 km と仮定して震度 I と震央距離との関係を求めておき、それと (5) の関係とを用いて上述の資料から歴史地震の震央及びその大きさ M_k を定めた。従つてこの M_k により、その震央からの距離 Δ を知れば任意の地点の震度 I は、

$$I = M_k + I'$$

によつて計算できる。但し、 I' は (5)、(6) 式から定めたもので次表の如きものである。

第 2 表

Δ (km)	14	34	63	100	156	239	355	509	702	935
I'	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6

而して M_k の決定には I を示した観測所の平均距離を Δ に用いたので、この I も (4) の \bar{a} の式におけると同じものと考えられる。

このようにして日本全国の陸地、及びその近海の経度緯度各半度毎の網目点 345 点における西暦 599 年以來、昭和 24 年の今市地震に至るまで 1350 年間の 343 個の地震による強震以上の回数 $n(I)$ を定めた。それから $S(I)$ を計算し、第 2 図、第 3 図、及び第 4 図に図示してある。この図には歴史年数 T は考慮してないので、東海以西は 1350 年間の数であるが北部は 1120 年、北海道は僅かに 160 年間の数であることを注意しなくてはならない。この点を考慮してこれ等の図上に 50 年、100 年、200 年、及び 400 年の等再来年数の線が引いてある。

次に期間を 75 年、100 年、及び 200 年にとつて (3) 式によつて限界震度 I_0 の期待値を計算し、それを \bar{a} の式 (4) によつて最大加速度に換算したものを第 5 図、第 6 図、及び第 7 図にそれぞれ等値線で示した。但しこの計算には地震の少ない地方に就いては仮りに近年の地震の統計から定めた、

$$n(I) = C \times 10^{-\frac{1}{2}I}$$

と云う関係式で推定した $n(I)$ をも参考した。

§ 4 結果の吟味

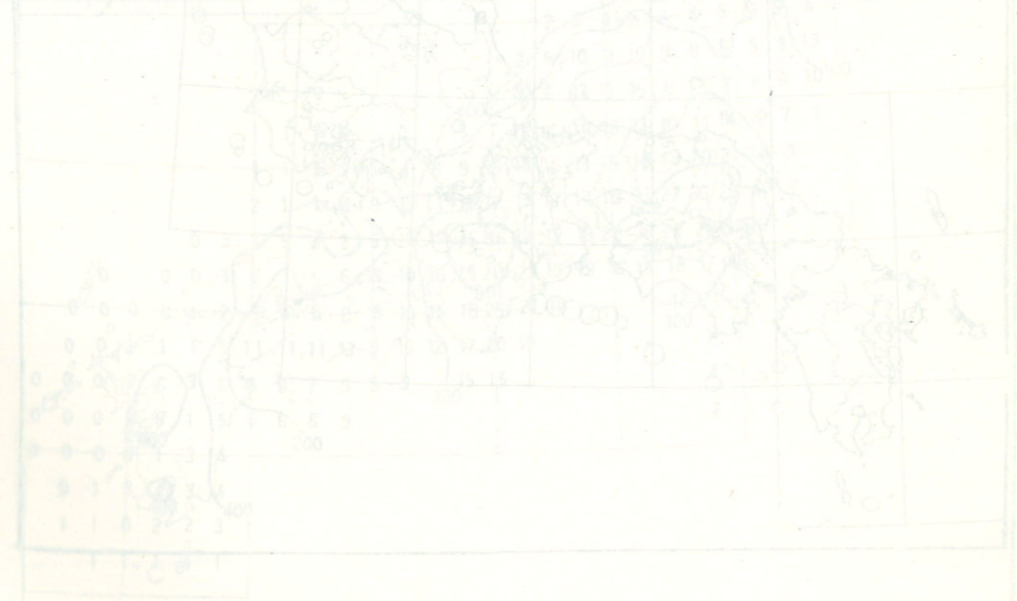
これ等の図を綜合することによつて日本における地震危険度の分布は一応推定出来るであろう。即ち大地震の頻度も限界最大加速度の期待値も近畿、中部、関東地方は著しく大きいが、これは一面古代文化の中心に一致し、三陸沖の地震のように陸地で被害の少ない地震は記録の欠けているであろうことは否めないが、しかし陸地で大被害を生じたような大地震の記録は恐らくさほどの記録もれないと考えられる。従つてこれで一応各地の危険度の大勢はうかがわれるものと思う。尙一言すべきは最近の福井地震の如く内陸の地震は小規模でも局所的には高い震度を示すことがあり得るので、その為には大被害を生ずることは一応注意すべき事であろう。そのような高震度を経験した所は一応 $S(7)$ の分布図 (第 4 図) から知られる筈である。

最後に述べておきたいことは、上述の議論は地震が各地固有の不変の確率で起つており、それが現存 1000 余年間の史料によつて統計的に定め得るといふ仮定に立つてゐることで、それは今日の地震学において可能な限りの根本仮定であるが、若し記録の不完全さとか大地震再帰の輪廻が 1000 年を著しく上廻るとか云う場合を考えると、上述の結果に見られる危険地帯以外にも大地震が起ることも勿論可能である事と、上の統計的結果を決定論的に解してはならないといふ事である。

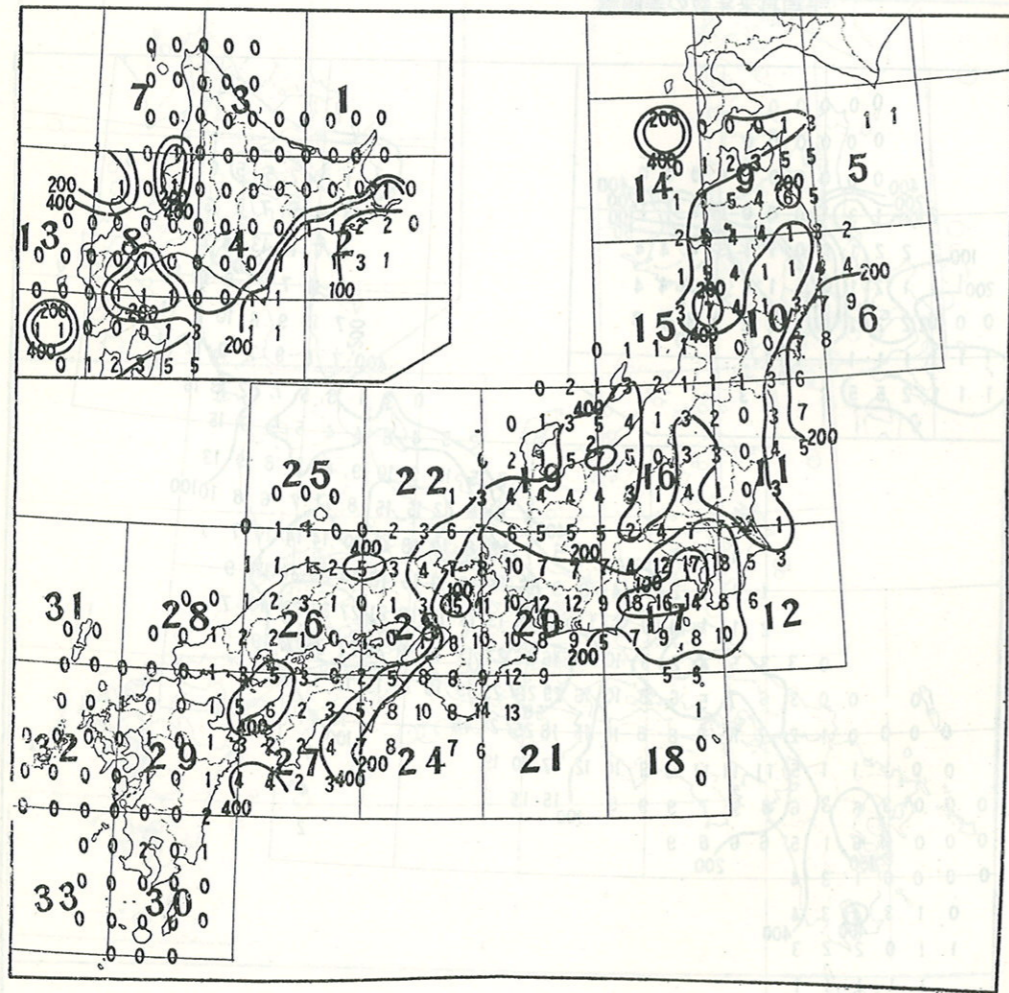
殊に 100 年に 1 回と言ふような確率が正しいとしても、どの 100 年をとつて見ても必ずそのような地震が 1 回起ると言ふ事でないことは忘れてはならない。数学的には 100 年間に 1 回も起らない事が 36.6%、1 回あることが 37.0%、2 回の事が 18.5%、3 回起ることが 6.1%、4 回起ることが 1.5%、5 回以上起ることが 0.3% 余りも期待され、唯その平均が 100 年間に 1 回となる言ふに過ぎないのである。

即ち設計基準震度を定めるに當つては上述の如き確率論的の期待値を参考にするのであるから、構造物の寿命の外にその重要性和、その破損の及ぼす他への影響の輕重に従つてその採り方は加減すべきであろう。例えば、土木工事への基準は住宅建築のそれに較べて高く採るべきであり、殊に大堰堤の場合の如きは下流への影響の重大性に鑑み特別の考慮が必要であろう。

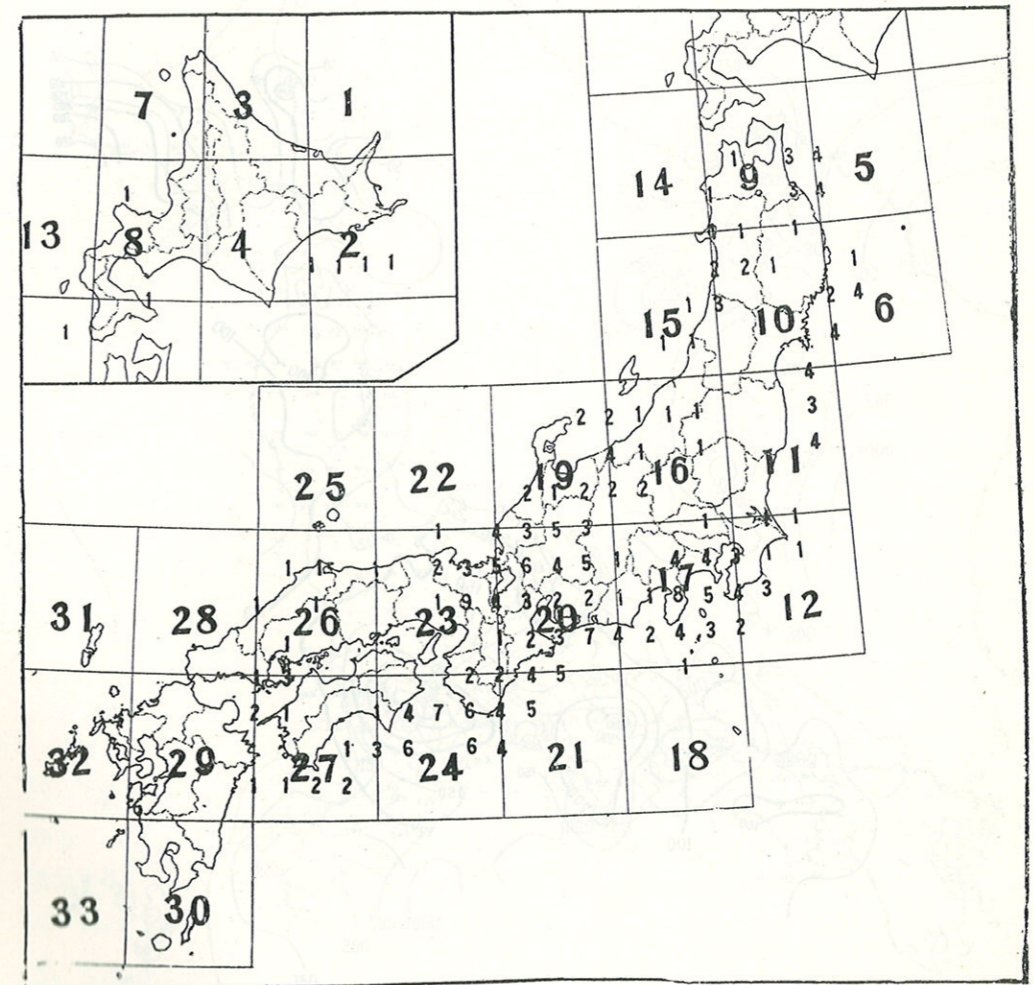
なお本調査は沖積層と洪積層の中間程度の地盤を基準にしたものであり、実際には考える地盤によつて上の数値は変化すべきであるが、その点については第 III 章に述べる事にする。



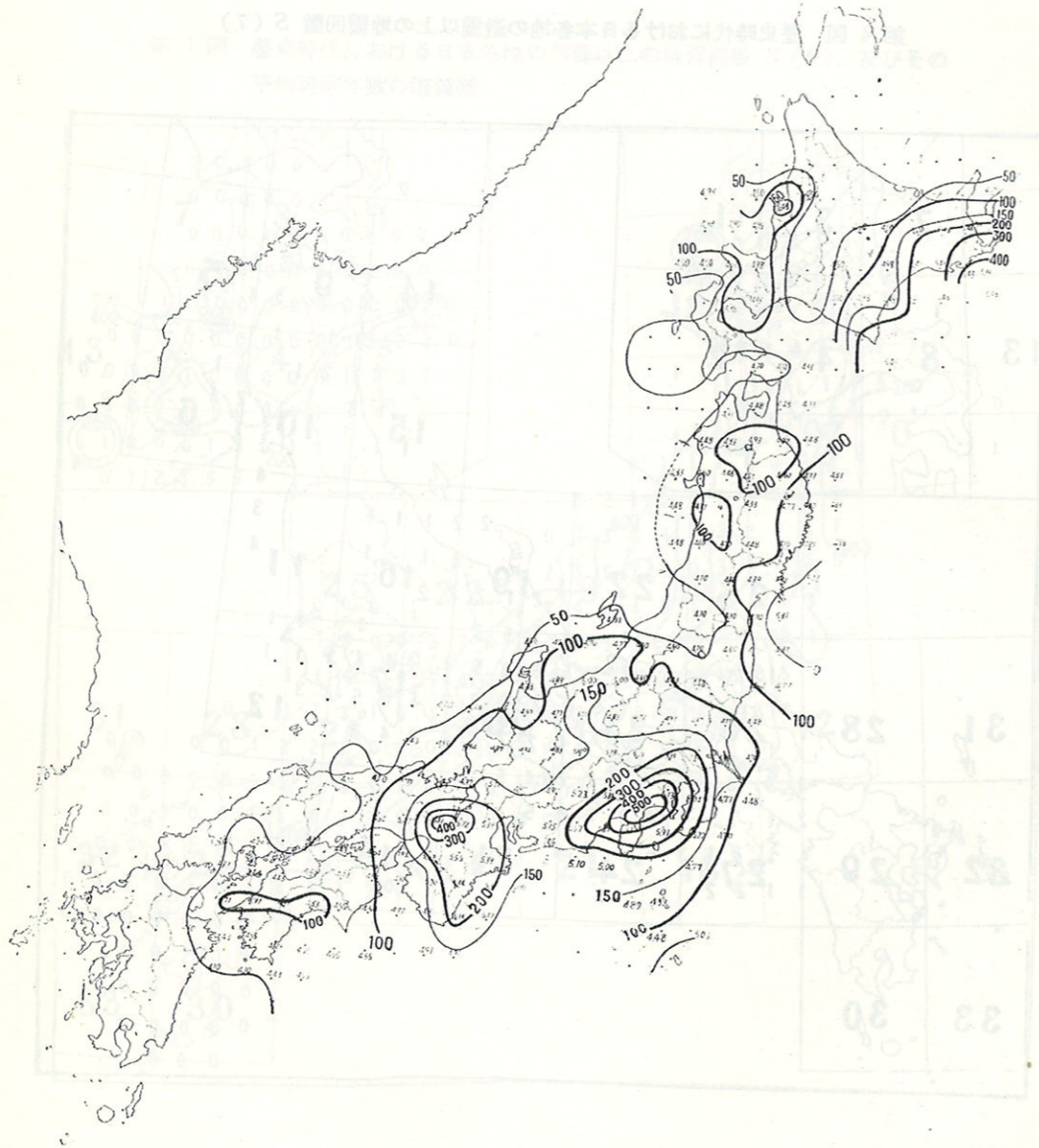
第3図 歴史時代における日本各地の烈震以上の地震回数 $S(6)$ 、及びその平均再来年数の等値線



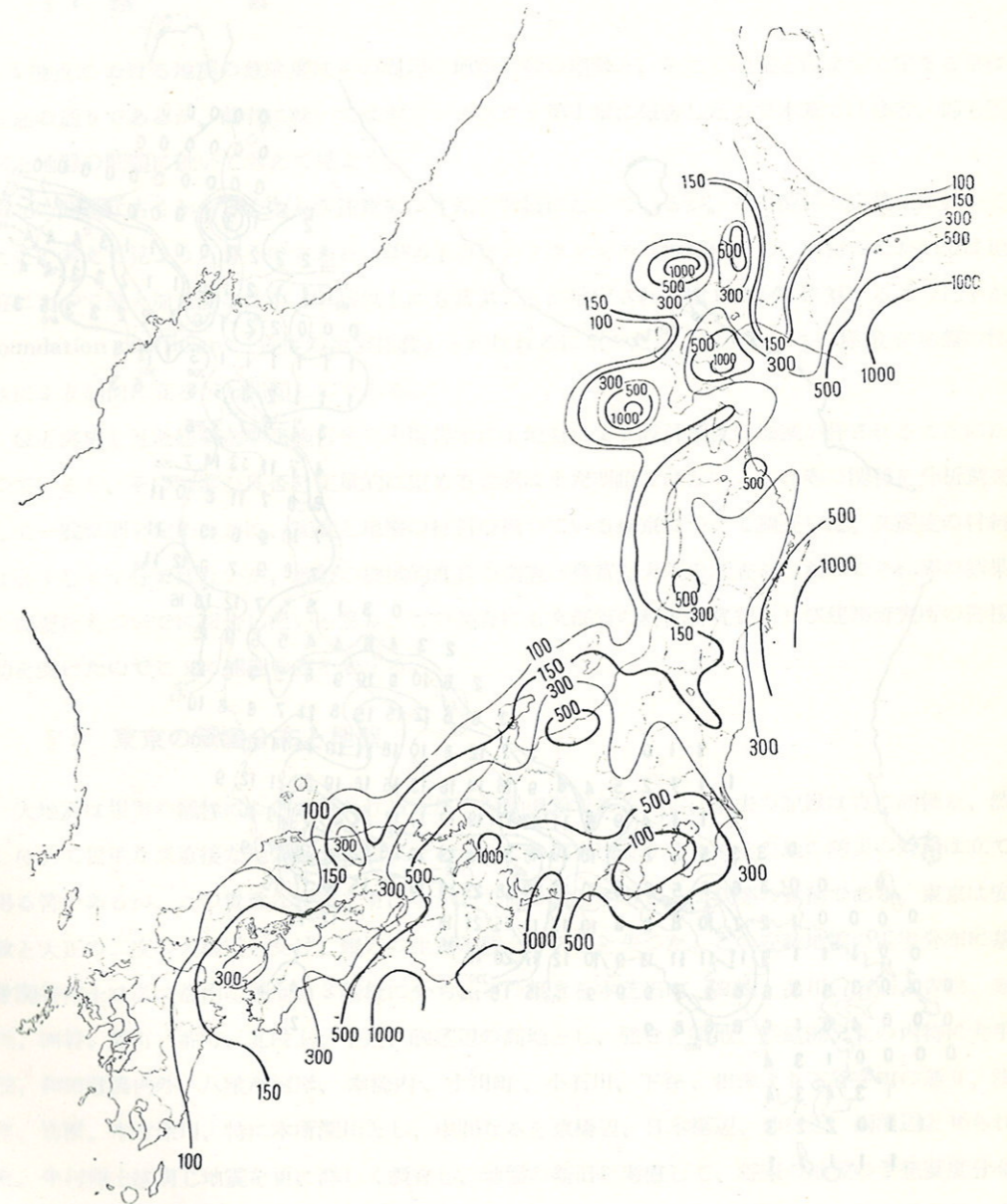
第4図 歴史時代における日本各地の激震以上の地震回数 $S(7)$



第5図 75年間に来襲の可能性のある地震の最高震度期待値の分布 (単位 gal)



第6図 100年間に来襲の可能性のある地震の最高震度期待値の分布 (単位 gal)



第 7 図 200年間に来襲の可能性のある地震の最高震度期待値の分布 (単位 gal)

