

# 1923 年関東大地震における震度と 震源距離・方向性・地形の関係

## RELATIONSHIPS AMONG HYPOCENTRAL DISTANCE・RADIATION PATTERN・LANDFORM AND SEISMIC INTENSITY ON THE 1923 GREAT KANTO EARTHQUAKE

宮 野 道 雄\*

By Michio MIYANO

### 1. ま え が き

近年の地震学の著しい発展により、地震学的にあるいは測地学的に既往の大地震の断層モデルが明らかにされてきた。また、それらの断層モデルから生成伝播する地震波に関する研究の進展にも目覚ましいものがある。

ところで、設計用入力地震動、あるいはある地域の地震危険度に関する従来の研究は平均的地震像をとらえ、それを人工地震波として表現するか、既往の地震資料を統計的に処理し、return period により期待される最大加速度などを示す等々の方法が一般的であったように思われる。

しかしながら、南関東といったある地域を対象として考える場合、最も影響力の大きい地震は相模トラフ沿いの活断層、すなわち関東大地震型の断層活動によるものであり、その他はたかだか  $M7$  ないしそれ以下の内陸型のもので推測され、影響圏もかなり限定されよう。いずれにしろ、ある地方の地震危険度を考える場合、対象となる地震はある個性をもったいくつかに限定され、ある程度決定論的に議論ができるのではないかと考えられる。

ところで、一般に海洋型巨大地震とよばれるプレート間地震は return period も短く、そのため常に監視の対象になっている。地震はそれぞれ特性 (dip angle, 破壊の始点と進行方向, 高い stress drop をもつ部分の分布など) をもつと考えられるが、再来する地震がほぼそれに近い特性をもつものとすれば、それが活動したときの被害分布、いかえれば地震動の強さの分布を可能な限り詳細に明らかにしておくことは重要な課題である。

このような立場から、本論文では 1923 年関東大地震

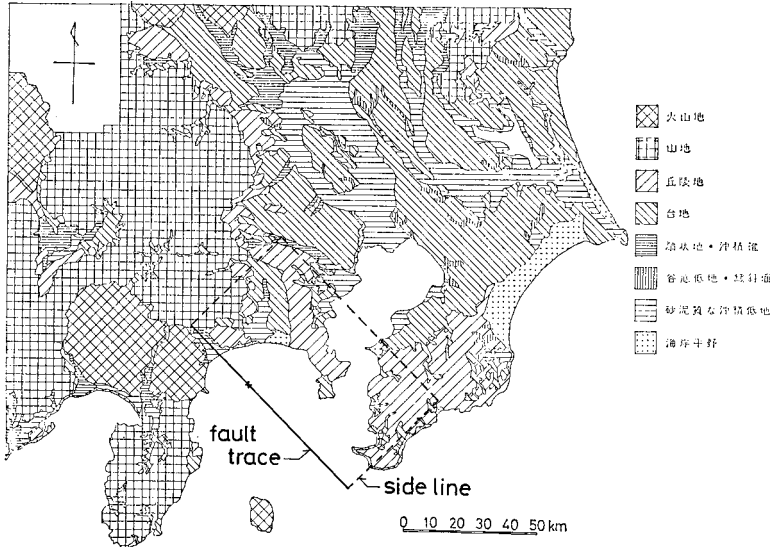
に際して活動したといわれている断層を有限な面震源と考え、その面からの最短距離・地形と被害、震度との関係を検討し、さらに断層の破壊の進行方向の効果 (doppler 効果) による震度分布の方向性の有無についても考察した。

### 2. 震源断層モデルと震源距離ならびに 地形分類

関東大地震の断層モデルは金森・安藤<sup>1),2)</sup>により、それぞれ地震学的データおよび測地学的データに基づくモデルが示されている。著者ら<sup>3)</sup>はすでに上記測地モデルを用いて、この地震における木造住家全壊率と fault trace からの距離・地形の関係を検討した。また、この結果と比較するために、地震学的データに基づくモデルを用いて同様の検討を行い、測地モデルの方が上記関係をよく説明することを示した<sup>4)</sup>。この際、佐藤<sup>5)</sup>の手法を用いて、地震モデルによる関東大地震の理論地震記象の最大変位分布を求めた結果<sup>6)</sup>より、距離補正を行うことも試みているが、かえって上記関係の対応性が低下することが知られた<sup>4)</sup>。そこで、本論文では震源断層モデルとして測地モデルを用いることにした。

一方、断層から各地点までの距離は、前記文献 3),4) においては、両断層モデルの fault trace からの距離 (正確には、断層の長さ  $L$  を長軸, 幅  $W$  を短軸とする楕円を考え、その焦点内で trace への垂線で距離が計測できる範囲の地域は trace からの最短距離, また焦点外の地域は焦点からの最短距離) として求めている。しかしながら、この方法でも、trace が内陸にまで及ぶ低角逆断層型のこの地震における上盤側の距離の計測方法としては十分とはいえない。すなわち、断層の傾斜角が小さいほど、上盤側においては、fault trace からの距離より

\* 正会員 工修 東京都立大学工学部研究生



図一 関東大地震によるおもな被災地域の地形分類図および断層モデル

断層面からの距離の方がより短くなることが考慮されていない。したがって、本論文では上盤側および下盤側とも断層面からの最短距離（すなわち、下盤側については trace への垂線、または trace の両端からの長さ、上盤側については断層面への垂線、dip 方向の外端側線〈side line、図一参照〉または断層面の地下の両端からの長さ）として震源距離を求めた。

関東大地震のように、被災地がきわめて広い範囲に分布している地震の被害と地盤の関係を検討する場合、地形学の研究成果を利用し、地形から地盤を推定する手法<sup>3)</sup>が有効である。そこで、この地震のおもな被災地域の地形分類を概観すると 図一 のようになる。ここでは、地形を、(a) 砂泥質な沖積低地、(b) 谷底低地・緩斜面、(c) 海岸平野、(d) 扇状地・沖積錐、(e) 台地、(f) 丘陵地（丘陵地斜面・台地斜面）、(g) 山地、(h) 火山地、の 8 種類に分類した。ただし、被害（震度）と地形（地盤）の関係を検討する際には、火山地に存在する地点は、それぞれの地盤に対応する他の地形に分類した。すなわち、火山性の山地ならば (g) 山地、火山性の丘陵地斜面ならば (f) 丘陵地・台地斜面、などとした。このようにして、以下に述べる各種検討は (a)～(g) の 7 種類の地形区分に基づいて行ったが、各地点の地形を決定する際には、国土地理院発行の 2万5千分の1地形図を用いているため、図一 程度の地形分類図では表現しきれない詳細な地形判読（たとえば、低地内の小規模な台地、および台地を刻む小規模な谷底低地な

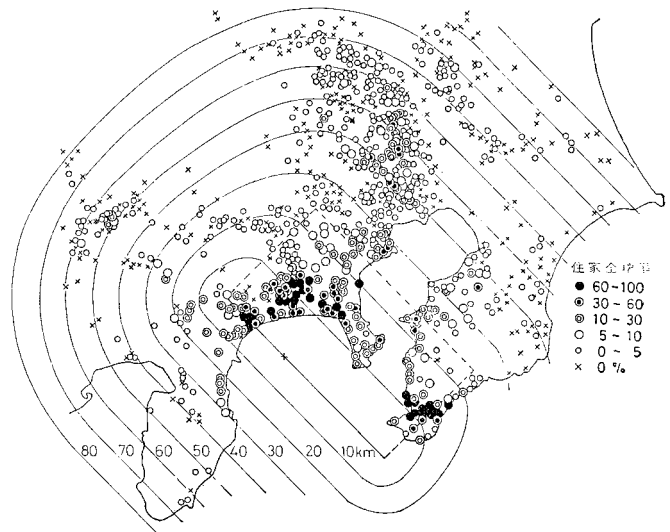
ど）を行っている。また、同図には前述した震源断層の測地モデルの位置も併記してある（×印は初動 P 波の発震位置）。

### 3. 木造住家全壊率と震源距離・地形の関係

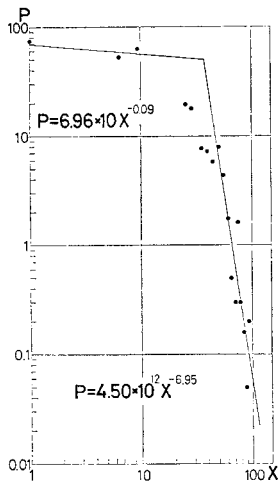
木造建物はわが国各地の種々の地形（地盤）上に最も普遍的に分布しており、その被害はそれぞれの地域に作用したであろう地震動の強さの目安を与えてくれる。この地震による木造住家の市町村（旧東京市内は区）別全壊率の資料は、かなり広い範囲にわたって豊富に残されている<sup>7)</sup>。図二はこの資料を用いて木造住家全壊率

分布を示したものであり、断層モデルおよび断層面からの最短距離のコンターも併記した。図一より地形の大略を考慮して 図二 をみれば、全壊率分布に特に方向性があるとは思われない。

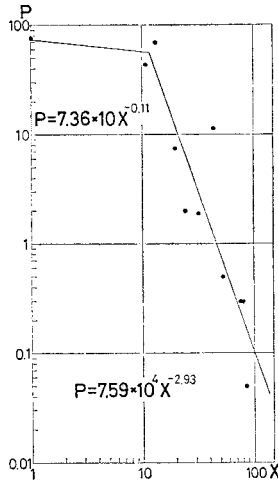
本論文では前述のように、震源距離を断層面から各地点までの最短距離として計測しているが、その距離（ $X$  km）と木造住家全壊率（ $P\%$ ）の関係を地形ごとに示したものが 図三 (a)～(g) である。上記  $X$  の計測手法によれば、各種地形とも  $P$ - $X$  関係の断層の両側における差異はほとんどみられない。したがって、図三 (a)～(g) では断層の上下両盤側の全壊率データを合わせ、各種地形ごとに  $P$  について  $X$  の 5 km ごとの区間平均を行って  $P$ - $X$  関係を表わした。その結果、各地形に共



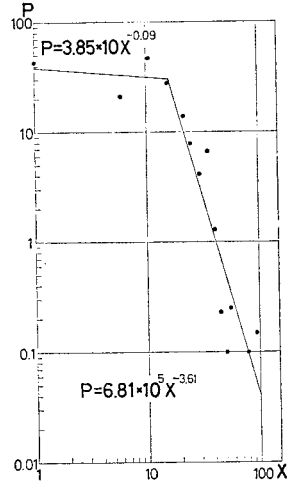
図二 木造住家全壊率分布、断層モデルおよび断層面からの最短距離等値線



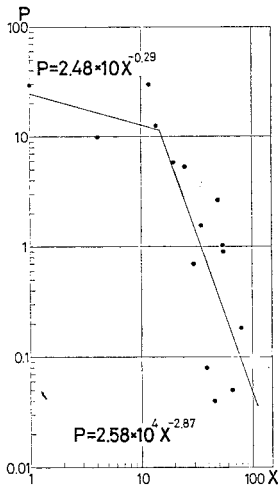
(a) 砂泥質な沖積低地



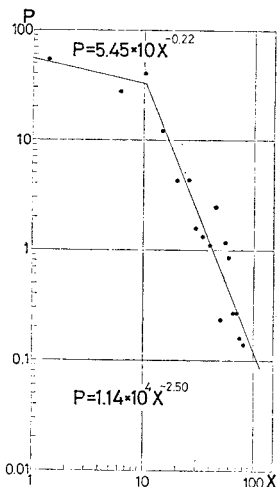
(b) 谷底低地・緩斜面



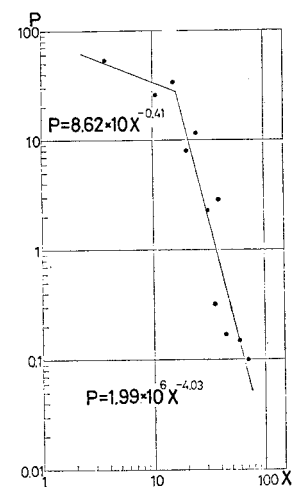
(c) 海岸平野



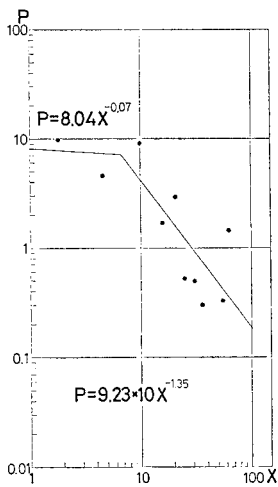
(d) 扇状地・沖積錐



(e) 台地



(f) 丘陵地・台地斜面



(g) 山地

図-3  
各種地形における住家全壊率 P(%) と震源距離 X(km) の関係

通していえることは、断層面からの距離が小さいある範囲とそれ以上とでは、 $P-X$  関係にかなり異なった傾向が認められることである。そのため、各地形とも勾配の変化する付近で範囲を分けて、 $P=aX^b$  で表わされる関数を最小自乗法を用いて求めた。

#### 4. 墓石による震度と木造住家全壊率の関係

1891 年濃尾地震以来、わが国で発生した被害地震の多くに対し、墓石の転倒調査より震度を推定する試みがなされてきた。これは、各地に普遍的に存在する墓石を簡易地震計として利用しようとする考えに基づくものである。この地震でも物部<sup>8)</sup>、中村<sup>9)</sup> がその調査を行っている。

しかしながら、両者の資料を合わせても、前述の地形

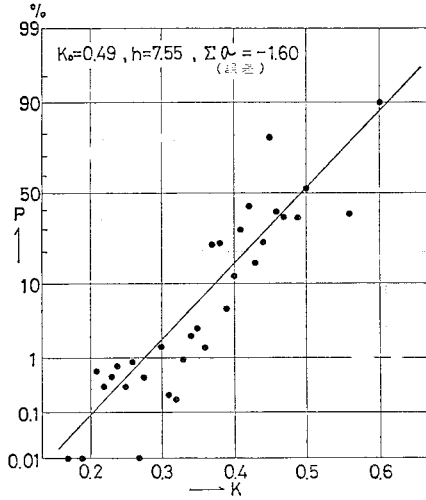


図-4 住家全壊率  $P$  と震度  $K$  の関係

ごとに分類し、震源距離  $X$  についてプロットするには数が少なく、また調査地点も偏在しているため、地形間の差異および距離減衰の傾向がばらつきの中に埋没し、十分明瞭には現われない。

一方、墓石などの転倒による震度  $K$  と木造住家全壊率  $P$  がある程度一般性をもって関係づけられれば、豊富な資料の残されている木造住家の全壊率分布(図-3(a)~(g))で示される  $P-X$  関係)から、地震動の強さ(震度)の分布をかなり工学的な活用性をもたせて推定することができる。物部<sup>10)</sup>は、 $P-K$  関係を式(1)のように表わした。その意図は、木造建物もまた簡易地震計とみなそうとするものであり、墓石調査を行っていない地区においても、その全壊率を知ることにより震度を推定しようとするにほかならない。

$$P = \frac{100}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{hy} e^{-h^2 y^2} d(hy) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $y=K-K_0$ ,  $K$ : 震度,  $K_0$ : 木造建物の標準耐震力(震度).  $h$ : 建物の耐震性の一様さを示す指数。

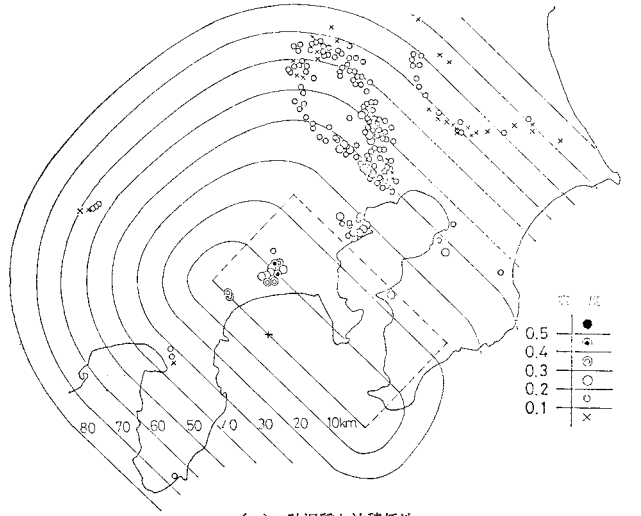
物部は関東大地震における  $K_0$  は 0.45~0.50,  $h$  は 7~10 と推定している。

そこで、本論文では前述の物部、中村による震度資料を用いて、式(1)で誤差の和を最小にする条件のもとで  $K_0$  と  $h$  を決定し求めた  $P-K$  関係(図-4)から、 $P$  の得られている各地の  $K$  を推定した。

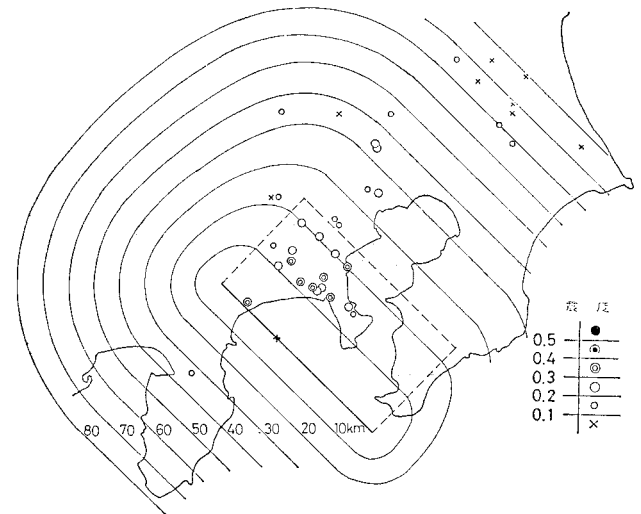
ここで、少なくとも式(1)の考え方を是認する立場に立脚すれば、墓石資料の不足および調査地点の偏在による問題点は大幅に改善できると考えられる。すなわち、著者は本論文において、木造建物の全壊率そのものを議論しようとしているの

ではなく、それを媒介としてより汎用性のある工学的な地震動の強さの評価ならびにその分布を検討しようとする観点に立っている。さらに同様の観点から、たとえば小林・長橋<sup>11)</sup>も地震動の強さの工学的評価を試みているが、このようにして求まる震度は墓石を転倒せしめ、かつ木造建物を破壊するのに十分なパワーをもった地震動の強さ(加速度)を意味しよう。

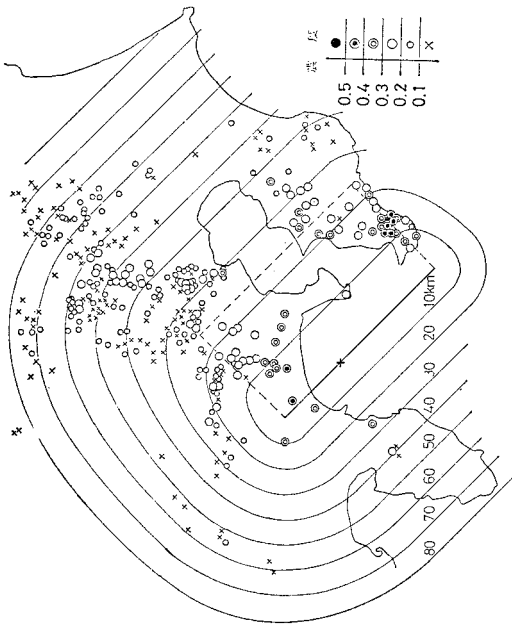
すなわち、大きな加速度であっても、それが短周期域のみに偏在するような地震動の最大加速度値は、このような手法によっては評価し得ないであろうことは、著者らの種々の試算<sup>12)</sup>からも推測し得るところであり、地震動の強さをその最大加速度のみをもって律する視点からすれば、少なからぬ限界を有することは否めない。ただし、そのような地震動は構造物の被害という点からみれば影響度の低いものが多いことが認められている<sup>11)~13)</sup>。



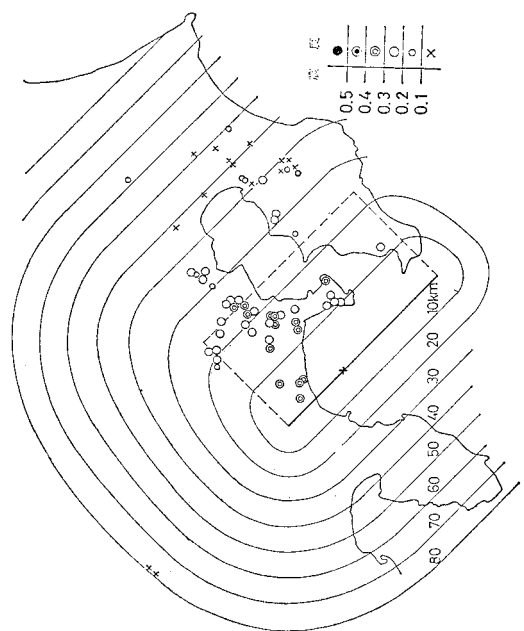
(a) 砂泥質な沖積低地



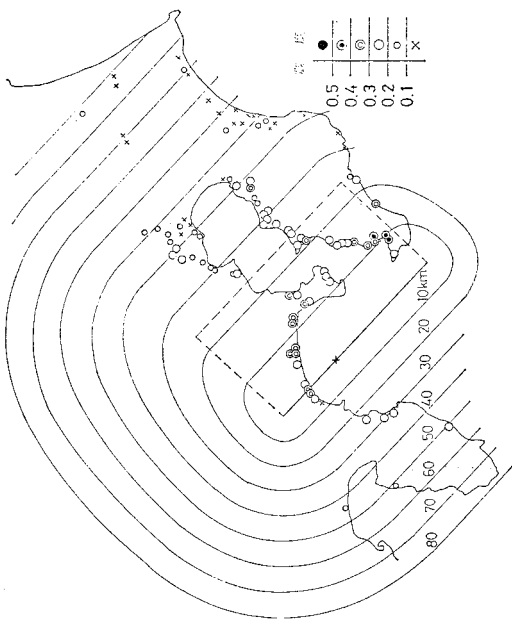
(b) 谷底低地・緩斜面



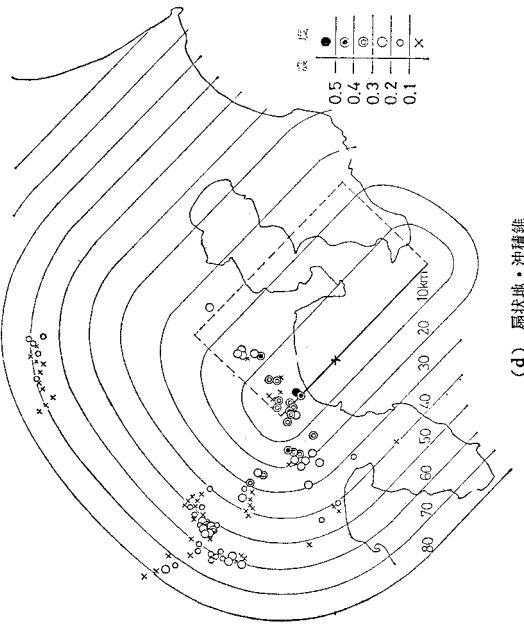
(c) 海岸平野



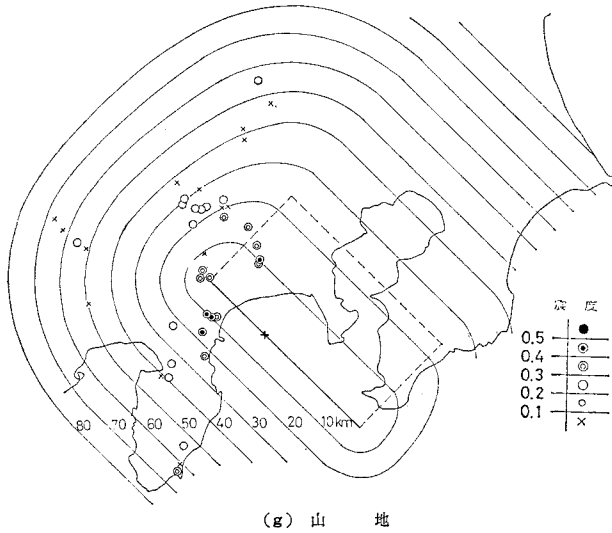
(d) 扇状地・沖積堆



(e) 台地



(f) 丘陵地・台地斜面



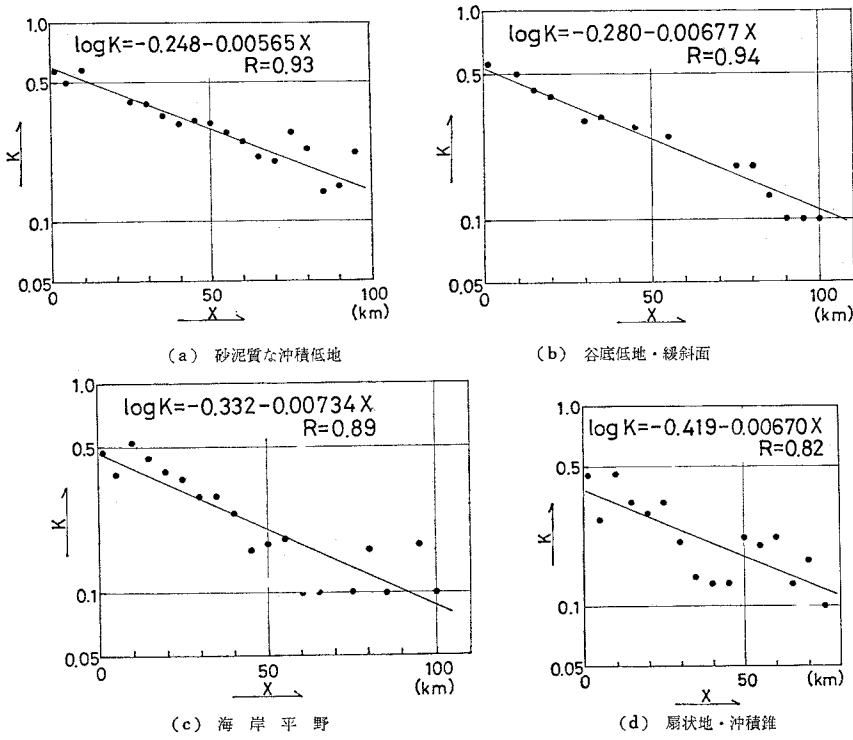
(g) 山地  
図-5 各種地形における震度分布

5. 震度と震源距離・地形の関係

図-4 のようにして、全壊率  $P$  と震度  $K$  の関係を求めれば、図-2 に示した各地の  $P$  を  $K$  に変換できる。図-5(a)~(g) はこのようにして推定した図-2 の各地の  $K$  を6段階に区分し、地形ごとにその分布をみたものである。地形によってはかなり片寄りをもつようにみえるものもあるが、図-1 より地形全体の分布を考

慮すれば、被災地域は断層面上とその周囲に大体満遍なく分布している。次にこれら各地の  $K$  を用いて、地形ごとに震源距離  $X$  に関して 5 km 刻みで平均化し、プロットしたものが図-6(a)~(g) である。図中の直線は  $K-X$  関係を  $\log K = a + bX$  の関数型に近似し、最小自乗法により  $a, b$  を決定して求めたものである。一見ばらつきが大きくみえる地形もあるが、総じて相関係数  $R$  は高い ( $R=0.81\sim 0.94$ )。また、このようにして求められた地形ごとの  $\log K = a + bX$  の関係を、地形間の差異を視覚的にも比較しやすいように、普通スケールの同一紙上に示したものが図-7 である。同図によれば、いくつかの地形で  $K-X$  曲線は交錯しているが、全体的にみてほぼ妥当な震度と震源距離・地形の関係が得られたと考えられる。すなわち、自然堤防、三角州などからなる砂泥質な沖積低地が最も高い  $K$  を示し、以下

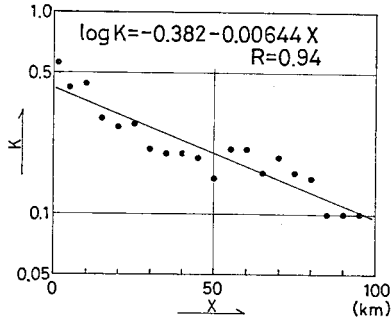
谷底低地・緩斜面、海岸平野、扇状地・沖積錐のように、低地における地形が砂泥質から比較的良好に締まった砂(砂州など)・砂礫質になるにつれて低い  $K$  を示す傾向にあることは、本論文のように木造建物に被害を与え、墓石などを転倒させる周期範囲で地震動の強さを考える場合ほぼ妥当なものといえる。また、山地の  $K$  は少なくともデータの得られた距離の範囲内で、最も低いレベルを示し、砂泥質な沖積低地と比べると震度で 0.1~0.2 の差異がある。



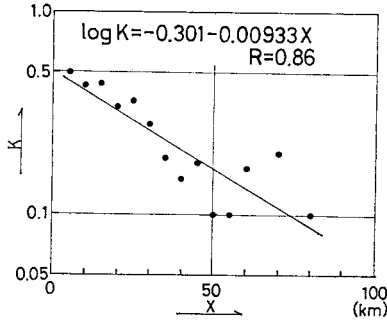
6. 地形効果を補正した場合の震度分布

図-6(a)~(g) および図-7 は各地形の距離  $X$  における地震動の強さの表層地盤における平均的な増幅率の差異を表わしたものとみることができる。

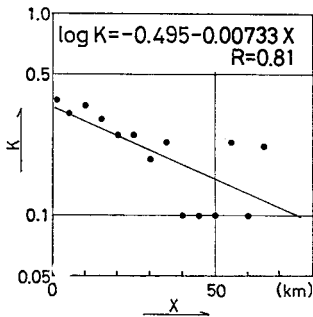
また、各地形間の  $K-X$  関係の差異は、前述のようにほぼ妥当なものと考えられる。そこで、本論文における地形区分のうち、最も地震基盤にその性状が近い山地地形の  $K-X$  関係を用いて、地形



(e) 台地



(f) 丘陵地・台地斜面



(g) 山地

図-6 各種地形における平均的な K-X 関係

効果を補正した場合の震度分布を求め、その方向性の有無を検討することにした。すなわち、山地の K-X 関係 (図-6 (g), 図-7) を規準にして、その各距離 X における K で等距離の他の地形の K を normalize する (山地の K に対する他地形の K を応答倍率の差異とみなし、各 X における他地形の K をその応答倍率で除する) ことにより、すべての地形の K 分布を近似的な地震基盤の K 分布に置き換える。

図-8 は、このようにして求めた K 分布である。図-5(a)~(g) が各地形の増幅率そのままに K 分布を示したのに対し、図-8 はそれら増幅率を除去した、近似的な地震基盤の分布である。なお、同図上で山地の K は□印で示し、他の地形 (○印) と区分してある。また、凡例に示すように、震度は6段階に区分している

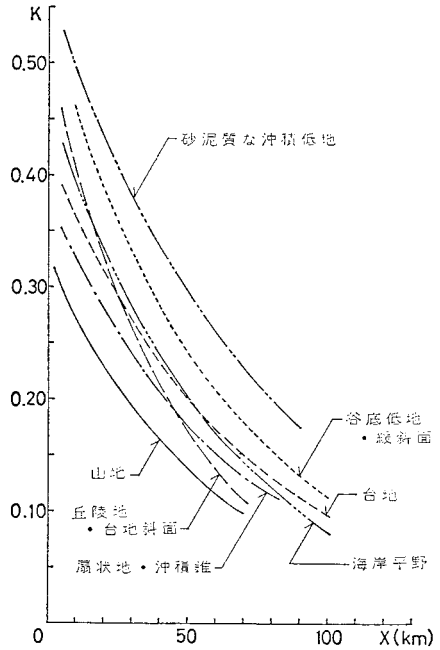


図-7 各種地形における K-X 曲線の比較

が、個々の地点の K のばらつきはかなり著しい。しかしながら、 $K \geq 0.4$  の地点はほぼ  $X=10$  km 内外に分布しており、K が 0.3 台を示す地点はほぼ  $X < 30$  km 内にある。ただ、大宮台地とその周辺の低地は、X が大きいにもかかわらず P が大きいため、normalize してもなお比較的大きい K の地点が集中している。これは、大宮台地が他の周辺の台地に比べて軟らかい表層堆積物からなること、ならびにその周辺の低地では液状化が多発している<sup>14)</sup> ことによると推察される。一方、図-9 に J.M.A. Intensity の震度分布<sup>15)</sup> を示すが、同図と図-8 とを比べると、震度階 VI と V の境界は北部の凹凸を除けば、ほぼ  $X=40$  km のコンターラインと一致することがわかる。そして、この凹凸はそれぞれ関東山地、秩父山地および上述の大宮台地周辺の地形に対応して生じたものと考えることができる。

ところで、図-8 によれば、山地地形に対応する地点は断層の西側に偏在している。しかしながら、全地形 (7種) を対象とすれば、断層上およびその周囲にかなりの広がり分布しており、マクロにみれば K の評価できる被災地域の偏在はほぼ無視することが可能である。また、全体的にみて、X の増加とともに K が減衰することがわかる。したがって、図-8 の normalize された K と X の関係 (分布) を断層面との相対的な位置関係を考慮して統計的に処理し、得られた K-X 関係が図-6 (g), 図-7 に示した山地の K-X 関係にどの程度対応するかを検討する。いいかえれば、震度分布に断層

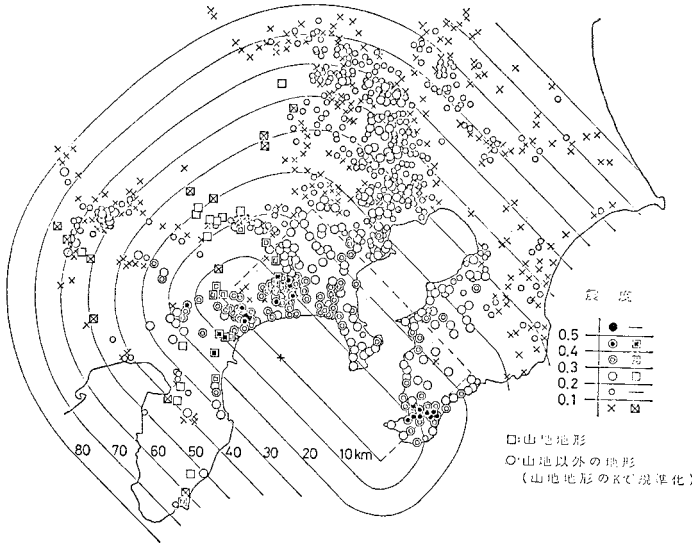


図-8 標準化した震度分布および断層面からの最短距離等値線

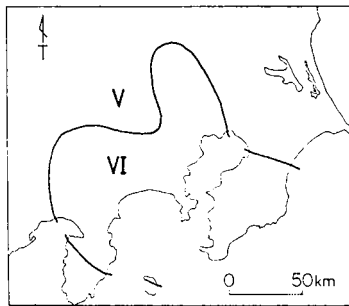


図-9 J.M.A. Intensity の震度分布

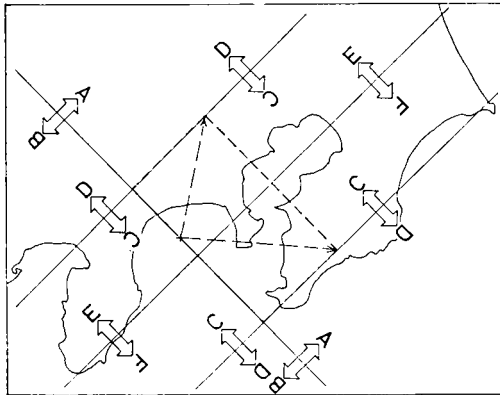


図-10 ブロック化の概略

面における破壊の進行方向の効果等が現われているかどうかを、より詳細に検討することを意味する。そのためには、各地形ごとに検討することができれば最適といえるかもしれないが、図-5 の各図が示すように、震度の評価し得る地点は多くの場合、断層面に対し少なからず

偏在しており、その処理は著しく困難である。それゆえ、図-8 の山地に対し標準化した震度分布図を用い、断層面に対する相対的位置関係を次に示す3種の方法でブロック化し、上記の問題を検討する。

図-10 はそのブロック化の模式図である。まず第1はこのような低角逆断層に対して常に問題にされてきた、上盤側と下盤側における被害(震度)分布の差異を検討するためのブロック化であり、A(上盤側)、B(下盤側)のそれぞれの  $K-X$  関係を考察するための区分である。第2は断層面ならびにその延長上とその面外のブロック化であり、C内は前者を、またDで示された範囲(断層面外)は後者を表す。すなわち、す

で示してきた多くの図における  $X$  のコンターの直線部と曲線部のそれぞれの地震動の強さの分布を検討しようとする目的をもつ。第3は断層面を長さ方向に等分化したE側とF側のブロック化であり、波源ならびに破壊の進行方向の偏倚の効果を検証するための区分である。また、図-10 にはいわゆる波源としての震源位置( $\times$ 印)と破壊の進行方向が併記してある(測地モデル)。

結局、この3種の方法によってブロック化された各ブロック内の震度分布が、前記断層面上ならびにその西方延長上に偏倚して分布する山地の  $K-X$  関係(実験式)とよく対応するならば、断層面に対する相対位置あるいは破壊の進行方向の効果が実質的にないことを裏づけることになるであろうし、ここで用いている  $X$  についていえば、前記各地形における  $K-X$  関係の妥当性ととも上記の結果は、 $X$  が適切なものであるかどうかの大きな検証にはなり得ると考える。

図-11~13 は上記3種のブロック化により、 $X$  を5 km 刻みで区分し、その平均震度( $\bar{K}$ )を各ブロックごとに記号を変えてプロットしたものであり、各図の実線は図-6(g)、図-7の山地の  $K-X$  関係の実験式である。なお、それぞれのブロックの各ポイントは、各区内(5 km 区間)において距離についても平均化している。したがって、 $\bar{K}$  の  $X$  位置は各ブロックごとにやや異なっている。図-11~13 によれば、いずれのブロックも各  $X$  における  $\bar{K}$  は山地の  $K-X$  曲線の近傍に分布していることがわかる。なお、この曲線と各  $\bar{K}$  の分布との相関係数  $R$  の算出は、各  $X$  の位置で  $\bar{K}$  と山地地形の  $K$  との相関を曲線全体にわたって行ったものであり、その結果はかなり高い値を示している( $R=0.86\sim 0.98$ )。ところで、図-6の相関係数は  $0.81\sim$



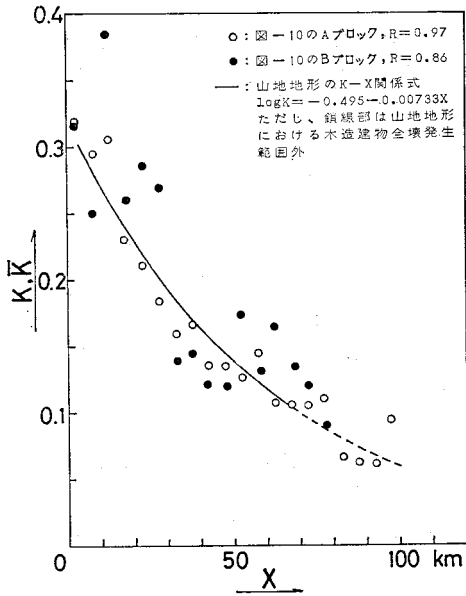


図-11 断層の上盤側(Aブロック)と下盤側(Bブロック)における  $\bar{K}$ - $X$  と山地地形の  $K$ - $X$  関係式の比較

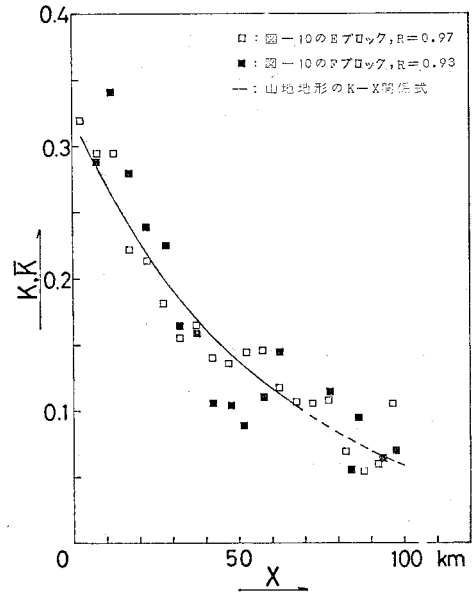


図-13 断層の北西側(Eブロック)と南東側(Fブロック)における  $\bar{K}$ - $X$  と山地地形の  $K$ - $X$  関係式の比較

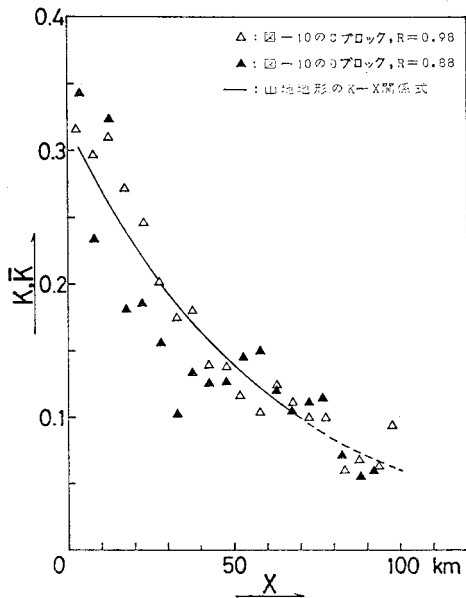


図-12 断層面内、延長上(Cブロック)と断層面外(Dブロック)における  $\bar{K}$ - $X$  と山地地形の  $K$ - $X$  関係式の比較

0.94 であったのに対し、この場合は 0.86~0.98 とその値が向上しているが、それは山地以外の地形の  $K$  を  $\bar{K}$  として平均化する操作が加わったためである。

以上の検討結果から、墓石転倒による震度と木造住宅全壊率を関係づけることによって得られた  $K$  (前述のよ

うに墓石などを転倒させ、木造建物を破壊するのに十分なエネルギーをもつ加速度の強さであり、必ずしも最大加速度を意味しない)の近似的にみた地震基盤における分布には、この地震の場合、ほとんど方向性が認められないことがわかった。さらにこのことと、図-7 において各地形間の  $K$ - $X$  曲線がよい相関のもとに合理的に得られたことと合わせて考えると、前述した観点からすれば本論文で用いた  $X$  は、最適手法等による十分な数値的検証を行ってはいないが、工学的な見地から  $K$  分布を検討する際の比較的妥当な震源距離を表わしていると考えられる。したがって、平均的にみれば、各地形の  $K$  も方位に関係なく断層面からの最短距離  $X$  ではほぼ表わすことができ、両者は図-6(a)~(g)、図-7 に示した関係をもつ。さらに、これらの図における山地と他の地形の  $K$  の差異が、上述の地震動の強さのそれぞれの地形における表層地盤のおおよその増幅倍率の違いを量的に表わすといえよう。

ところで、山地を規準とした場合の増幅倍率と  $X$  の関係は、図-6(a)~(g)、図-7 からわかるように、必ずしも  $X$  に関して一定ではなく(海岸平野のみ一定、約 1.46 倍)、一般に  $X$  が大きくなるとそれは増加する傾向がある。ただし、丘陵地・台地斜面のみは逆の傾向を示す。この理由としては、震源近傍において、これらの地形の被害パターンが他の地形と異なったこと(斜面崩壊など振動被害以外の被害の多発など)も考えられる。なお、上述の増幅倍率の増加傾向は一般にさほど大

きなものではないが、最も地盤の悪い砂泥質な沖積低地におけるそれは無視できない。これには、木造建物の破壊のメカニズムが関係していることが考えられる。

すなわち、砂泥質な沖積低地においては、比較的長周期な地盤の周期特性が、たとえ絶対加速度がかなり低くなっても、この種の構造物に不利に作用すると思われるし、そのような地盤では地震の duration も長くなることが知られている。

ところで、単体の動的挙動に関する解析<sup>16)</sup>によれば、本論文で対象としたような、墓石などを転倒させ、木造建物を破壊するのに十分なエネルギーをもった加速度波は、その周期成分が震源近傍では 0.5~0.6 秒程度ないし、それより長周期側に相当すると考えられる。したがって、震源近傍では発生したであろう、より短周期の最大加速度を本論文の手法では表現し得ないことになる。そしてこのことがまた、硬質地盤で加速度が高く、軟質地盤ではその逆になるいくつかの強震観測事例と本手法による結果の不一致点の理由でもある。しかしながら、表ら<sup>17)</sup>によれば、震央（震源）近傍の墓石転倒による推定加速度を電気工学の分野の実効値とみなし、それに  $\sqrt{2}$  倍してアメリカなどで観測されている震央近傍の強震計の記録、およびそれによる実験式に適合させる補正が可能である。一方、J.M.A. の震度階ならびにそれに対応する加速度が、木造建物等の被害から評価されてきた実状を考慮すれば、本論文で扱った  $K$  はそれに相当するものであり、その分布、地形による増幅の差異をより詳細に、かつ定量的に評価したと考えられる。

また、関東大地震の断層破壊は、図-2 の trace 上の  $\times$  印付近で発生、進行した bi-lateral 型のものといわれている<sup>9)</sup>。したがって、破壊型は対称ではなく、通常の断層理論により波の生成と伝播を計算すれば、地震動の強さの分布は非対称になると思われるが、本論文で得られた  $K$  分布には特に方向性はみられなかった。その理由としては、Das・Aki<sup>18)</sup>、Bouchon<sup>19)</sup> の barrier model および金森<sup>20)</sup> の asperity model の考え方が参考になる。そして、これらの考え方は平澤によって継承された。平澤<sup>21)</sup> は確率論的断層モデルを提案し、ある地点までの震源距離の測り方を断層面からの最短距離と考え、その手法を応用することにより 1978 年宮城県沖地震における各地の最大加速度記録値と対比させた。これらのモデルおよびその考え方は、著者の関東大地震に対するいくつかの結論的推察に対する地震学的所見となり得るように考える。すなわち、この地震断層における high stress drop 域が random に分布し、地震動の強さ（加速度）が断層面の各部分から random に放射されたことのゆえに、震度分布に方向性がみられなかったと推察することができるのではなからうか。このような推論か

らすれば、 $X$  もまた断層面の特定の位置から測ることはむしろ不自然であり、平澤の考え方あるいは著者の計測手法が的外れでないことを地震学的に傍証しているように思われる。

## 7. 結 論

本論文ではまず、1923 年関東大地震の際の墓石転倒調査<sup>8),9)</sup>により得られた震度  $K$  と木造住家全壊率  $P$  を結合し、各種地形における  $K$  と震源距離  $X$  の関係を求めた。さらに、近似的な地震基盤における  $K$  分布の方向性の有無について検討すると同時に、ここで定義している震源距離、すなわち断層面からの最短距離  $X$  に関しても若干の考察を加えた。得られた結果をまとめれば以下のようなものである。

(1) 震源距離  $X$  を断層面からの最短距離として計測することにより、住家全壊率  $P$  と  $X$  の関係に断層の上盤側と下盤側とにおける差異がほとんどなくなり、各種地形ごとの  $P$  と  $X$  の平均的な関係は、図-3(a)~(g) のように与えられた。

(2) 物部<sup>8)</sup>、中村<sup>9)</sup>による震度  $K$  の調査結果と、 $K$  の得られた各地点の  $P$  とを結合させるという考え方に立脚すれば、豊富に残されている  $P$  の資料から、地震動の強さを評価するうえで気象庁の震度階に比べ、より工学的な尺度である  $K$  を推定することが可能になった。各種地形ごとの平均的な  $K$ - $X$  関係は、図-6(a)~(g) に示されるように、かなりよい相関で得られた。また、各種地形間における  $K$  の  $X$  の増加に伴う減衰傾向も妥当なものといえよう。

(3) 図-6(a)~(g) および図-7 によれば、近似的な地震基盤とみなし得る山地地形における  $K$ - $X$  関係をもとに、他の各地形上での距離  $X$  における  $K$  の増幅率が量的に得られた。

(4) 断層西側に偏在する山地地形の  $K$ - $X$  関係 ( $\log K = -0.495 - 0.00733 X$ )、および断層周囲に分布する他地形の  $K$  を山地地形の  $K$  に換算して得られた全地形の  $K$ - $X$  関係が、断層面に対する各方位において、図-11~13 に示すようになんまり一致をみたことから、近似的な地震基盤上での  $K$  分布に断層の破壊進行方向に伴う方位効果がほとんどみられないことが明らかになった。

(5) 上述の結論 (1), (2), (4) および前述の地震学面からの考察より結果的に、本論文で用いた  $X$  は工学的に比較的妥当な震源距離を与えるものと推論する。ただし、決定論的な定義のためには、より詳細な数値解析が必要であろう。

欄筆にあたりご指導ご鞭撻を賜った東京都立大学工学

部 望月利男博士, 国井隆弘博士, 同理学部 松田磐余博士に深謝の意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) 金森博雄・安藤雅孝：関東大地震の断層モデル，関東大地震 50 周年論文集，pp. 89~101, 1973.
- 2) Ando, M. : Seismo-tectonics of the Kanto Earthquake, *Journal of Physics of the Earth*, Vol. 22, pp. 263~277, 1974.
- 3) 望月利男・宮野道雄・松田磐余：1923 年関東大地震における木造家屋の被害の検討—震央距離・地形と全壊率の関係—，日本建築学会論文報告集，第 270 号，pp. 81~90, 1978.
- 4) 望月利男・宮野道雄：地震被害に及ぼす地盤の寄与，第 8 回地盤震動シンポジウム，pp. 43~48, 1980.
- 5) Sato, R. : Fast computation of theoretical seismograms for an infinite medium. Part 1. Rectangular fault, *Journal of Physics of the Earth*, Vol. 23, pp. 323~331, 1975.
- 6) 宮野道雄：関東大地震の理論地震波計算による最大変位分布と被害分布の対応性，土木学会第 34 回年次学術講演会講演概要集第 1 部，pp. 300~301, 1979.
- 7) 震災予防調査会：関東大地震調査報告，震災予防調査会報告，第 100 号，甲，pp. 165~231, 1925.
- 8) 同上，第 100 号，丁，pp. 15~16, 1926.
- 9) 同上，第 100 号，甲，pp. 94, 1925.
- 10) 物部長穂：土木耐震学，常磐書房，pp. 48~50, 1933.
- 11) 小林啓美・長橋純男：木造建築物地震被害率による地震動の強さの評価，日本建築学会論文報告集，第 163 号，pp. 19~28, 1969.
- 12) 望月利男・宮野道雄・遠藤 彰・太田外気晴：震度に関する若干の検討，地震学会講演予稿集，春季大会，pp. 235~236, 1981.
- 13) 田中貞二：強震記録からみた地震動の強さの評価，第 9 回地盤震動シンポジウム，pp. 39~42, 1981.
- 14) 建設省土木研究所：明治以降の本邦の地盤液状化履歴，土木研究所彙報，第 30 号，1974.
- 15) 宇佐美龍夫：資料日本被害地震総覧，東京大学出版会，1975.
- 16) 望月利男・小林計代：単体の運動から地震加速度を推定するための研究—単体の動的挙動の解析—，日本建築学会論文報告集，第 248 号，pp. 63~70, 1976.
- 17) 表 俊一郎・三宅昭春・檜橋秀衛：大地震時の震央域に於ける地動最大加速度（転倒墓石による最大加速度と強震記録との対比），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 463~464, 1979.
- 18) Das, S. and K. Aki : Fault plane with barriers; a versatile earthquake model, *J. Geophys. Res.* Vol. 82, 1977.
- 19) Bouchon, M. : A dynamic source model for the San Fernand Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 68, pp. 1555~1576, 1978.
- 20) 金森博雄：地震活動と地震予知・南カリフォルニアの例，地震予知研究シンポジウム，pp. 163~174, 1980.
- 21) 平澤朋郎：最大加速度予測のための震源モデル，第 9 回地盤震動シンポジウム，pp. 53~60, 1981.

(1981.2.14・受付)