

## 地震による人的被害の規模について

水谷 武司\*

## 要 約

地震および津波による災害についての外力の強度と人的被害との関係、ならびに人的被害の規模を変化させる要因についての検討を、過去の災害の被害統計値に基づいて行った。ある意志や判断に従って行動する人に関しての被害の場合、人間的、社会的要因が大きな影響を与えるので、同じ外力が作用しても条件しだいでは、人的被害の規模にかなりの差が生ずる可能性がある。損壊家屋数は加害力の強度を間接的に表す一指標となる。損壊家屋数と死傷者数との間に高い相関があることは、災害全般について認められる。地震災害の場合、全壊および焼失に1、半壊に0.2のおもみを与えて加算した値によって損壊家屋数を表す場合に、人的被害との間に最も高い相関が得られた。都市の地震災害に関する損壊家屋数と死傷者数との関係式を導いた。その回帰係数は1よりもやや大きい。これは一単位の市街域に作用した加害力の強度が大きくなるにつれて、死傷者はやや加速的に増加していくということを意味する。都市における地震による死者率は、震度6で1%程度、震度5で0.01%程度である。ただし大規模な延焼火災が生ずると、死者率は2~3%に達する可能性がある。1896年および1933年の三陸津波による被害を比較して、被害ポテンシャルと波高の増減および避難が、死者の増減に寄与した部分を量的に示した。また、津波波高比と被害高比との関係式を導いた。

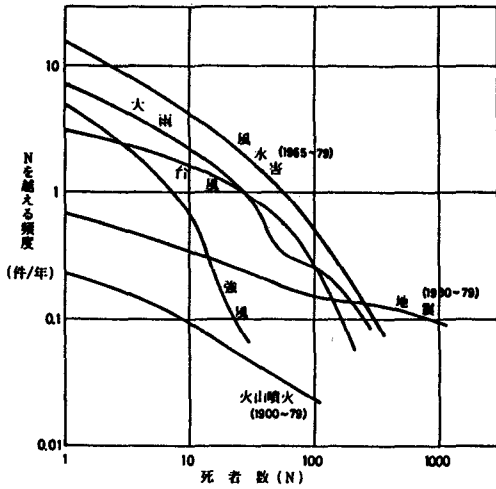
## 1 はじめに

人的被害を最小限にとどめることは、防災対策の第一義的な任務である。このためには、過去の災害事例を調べて、人的被害の具体的な発生様態およびその拡大、縮小にかかわる要因を知ることが役立つ。また、ある予想される強度をもつ外力の作用によって、どのような規模の人的被害がその地域において生ずる可能性があるかを予測しておくことは、地域の防災対策をたてるうえで重要である。地震災害では、図-1に示したように、風水害に比べその発生頻度は小さいが、人的被害

の規模は巨大化する可能性がより大きい。このため地震による災害では、被害規模の想定が重要性をもつ。発生頻度が小さいので、昔の災害をも事例分析の対象として採り上げざるを得ないということになるが、このような場合、将来の予測に結びつけるためには、時代的变化の大きい社会的要因が被害の規模に与える影響を、定量的に評価することが大きな問題となる。

本稿では、地震および津波による災害について、過去の災害事例の被害データに基づいてややマクロな見地から、外力の強度と人的被害規模との関係、ならびに人的被害の規模を変化させる要因についての検討を行う。土地に固定されている建物、

\*国立防災科学技術センター災害研究室



図一 自然災害の人的被害規模と頻度との関係

施設などの被害とは異なり、ある意志や判断に従って行動する人に関しての被害の場合、人間的、社会的要因が大きな影響を与えるので、同じ外力が作用しても条件しだいでは人的被害の規模にかなりの差が生ずる。とくに津波の場合、危険域は限定されておりその襲来までに時間的な余裕があるので、住民の危険意識、情報の伝達、避難行動などが、人的被害の規模に与える影響は大きい。

## 2 地震

### 2-1 家屋被害と人的被害との関係

地震はある一時刻にある一地点で発生し、その地震波は距離に応じた減衰をうけながら地殻内を伝播し、地表近くでは地盤の軟らかさの程度に応じた増幅をうけて、地表上で展開されている人間・社会のシステムに入力される。その強度はマグニチュード、震度、加速度等の数値で表され、発震から地表面への入力とそれによる建造物の破壊までに至る過程は、比較的明快である。洪水や山崩れ・土石流では、その発生場所が一次的外力の作用域（降雨域）に比べひじょうに局地的であるのに対し、地震は広く面的に作用する性質の加害力であるといえる。このようなことから、建物被害の規模と地震動の強度を規定する要因（マグ

ニチュード、震源距離、地盤の性質、震度など）との対応関係が見出されやすいので、その関係式が種々求められている（消防科学総合センター、1983）。したがって、建物被害と人的被害との対応関係が求められれば、地震の強度と人的被害規模とを結びつけて考えることができることになる。

損壊家屋数（あるいは率）と死傷者数（あるいは率）の間には明瞭な相関関係が存在することが、各種の災害について一般的に認められる（水谷、1983）。東京都防災会議（1978）は、過去の主要地震災害の被害データから建物被害棟数と死傷者数との関係式を導き、人的被害の想定に使用している。ここでは災害事例の追加および被害データの処理方法の検討を行って、家屋被害と人的被害との関係を求めてみる。

まず最初に、濃尾地震（愛知）、関東地震（神奈川）、北丹後地震（京都）、北伊豆地震（静岡）、東南海地震（静岡、愛知、三重）、三河地震（愛知）、南海地震（高知）、福井地震（福井）の8地震について、括弧内に示した府県内の市町村を単位とした被害集計値を使用して、家屋被害と人的被害との関係を求めた。これらの災害例は、重いかわら屋根の木造家屋が倒壊、焼失して人が死傷するという被害様相を主とする、いわば古いタイプの地震災害である。現在では住居構造、生活様式、産業活動、都市環境等が質的に大きく変化しているので、危険要因および被害様相は多様化してはいるが、家屋の倒壊、焼失は物的被害の主要部分をなすことには変りはない。たとえ強い地震動が生じたとしても、そこに人が住んでいなければ通常大きな被害は発生しないのであって、ある地域の人間の生活域に現実に作用した地震の加害力の大きさは、その土地に固定されている家屋の被害規模にかなりの程度反映していると考えられる。気象庁の震度階では、震度6は家屋の倒壊が30%以下、震度7は家屋の倒壊が30%以上と、家屋倒壊率が主要な判定基準とされている。

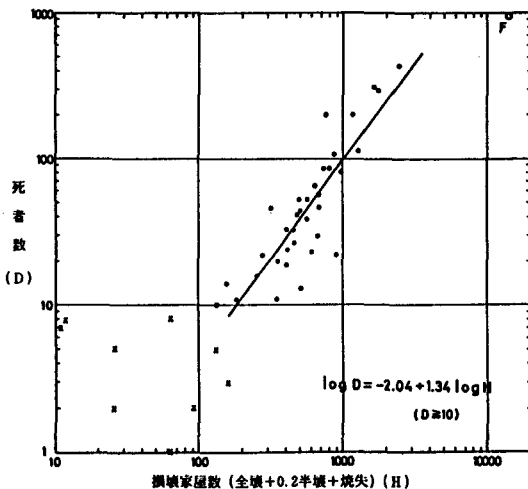
家屋被害の大きさは一般に、半壊に0.5のおもみをつけて全壊に加算した値で表されている。しかし、地震により半壊した家屋内では死者はほとんど発生していないことからわかるように、人

身に対する加害力の規模を表す場合、半壊に与えるおもみは単純に0.5とすることはできないと思われる。同様に焼失に与えるおもみについても検討の余地があろう。損壊家屋数と死傷者数とは両対数グラフ上で直線関係が認められる、すなわち、回帰式は、

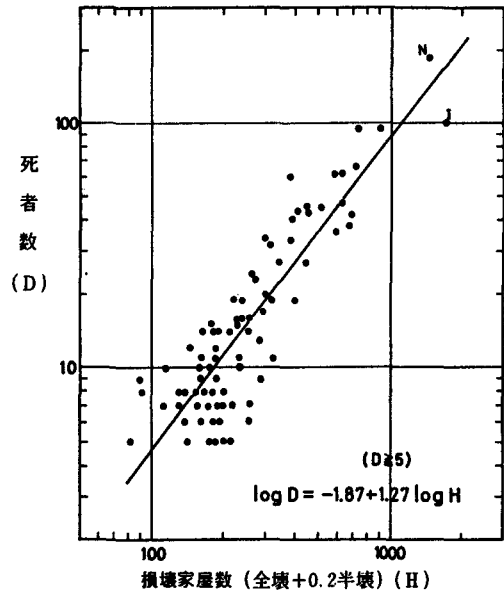
$$\log C = a + b \log (H_C + \alpha H_P + \beta H_b)$$

で表される。ここで、C：死傷者数、 $H_C$ ：全壊戸数、 $H_P$ ：半壊戸数、 $H_b$ ：焼失戸数、である。なお、半焼数は全焼数に比べひじょうに少ないので無視することにする。上式において、回帰定数aおよび回帰係数bに加えて、おもみ $\alpha$ 、 $\beta$ も未知所求量とすると、これら未知量に関して非線形となる。しかし、常識的に考えられるこれらおもみの値の範囲は、 $\alpha$ が0~0.5、 $\beta$ が0.5~1.5程度であり、またその性質上有効数字1~2桁程度の値が得られれば十分であると思われるので、 $\alpha$ 、 $\beta$ に0.1のきざみで値を順次与えて回帰計算を多数回行って、相関係数が最も高い場合のおもみを求めることにする。

まず最初に半壊のおもみを求めるために、火災が発生しなかった市町村のデータを使用して回帰



図一 2 損壊家屋数と死者数との関係  
福井地震 (1948) 福井県下市町村別被害  
F：福井市



図一 3 損壊家屋数と死者数との関係  
濃尾地震 (1891) 愛知県下市町村別被害  
N：名古屋 I：一宮

分析を行う。図一 2 は福井地震による損壊家屋数と死者数との関係を、市町村単位の被害集計値を使用して示したものであるが、この例によく示されているように、被害規模の小さい市町村のデータは、偶然性が強く現われやすいためであろうか、大きなばらつきを示す。そこで、対象とする 8 地震について、暫定的に半壊に 0.5 のおもみを与えて、損壊家屋数と死者数との関係を両対数グラフ上に表してみると、損壊家屋数、この場合 (全壊 + 0.5 半壊) 数が、ほぼ 50 以下となるとばらつきが大きくなるという傾向がみられた。そこで、全壊 + 0.5 半壊 < 50 の家屋被害規模の市町村は除くこととした。さらに、十分な数のデータが得られる場合には、死者数が 5 以下、あるいは 10 以下の市町村を除いて回帰計算を行うこととした。なお、津波被害のウエイトが大きい市町村は除いた。

このようにして、上記 8 地震について相関係数が最大となる場合の半壊のおもみ  $\alpha$  を求めた結果、 $\alpha = 0$  が 4 地震、 $\alpha = 0.1$  が 2 地震、 $\alpha = 0.2$  が 1 地震、 $\alpha = 0.3$  が 1 地震であった。ただし、 $\alpha$  の違いによる相関係数の差は小さい。つぎに相関が比較的 low だった 2 地震 (関東地震および東南海地

震、ただし高度に有意な相関は得られている)を除く6地震全体についての回帰分析を行ったところ、 $\alpha = 0.2$ の場合に相関が最も高いという結果が得られた。以上のことから、半壊に与えるおもみはかなり小さく、実際上は半壊をほとんど無視してもよいと思われる。しかし、地震では家屋の半壊が多数生ずるが、これが全く反映されないのは不都合であると思われるので、6地震総合の場合の値を使用して、半壊に0.2のおもみを与えて損壊家屋数を表すこととする。同じ作業を負傷者についても行い、6地震総合では $\alpha = 0.1$ が得られた。しかし、死者と負傷者とでは与えるおもみが異なるべき理由はないし、また $\alpha$ の違いによる相関係数の違いはひじょうに小さいので、負傷者の場合にも半壊に0.2のおもみを与えることにする。全壊+0.2半壊によって表す損壊家屋数と死者数との関係を示す一例が図-3である。

上述の回帰分析によって得られた回帰係数 $b$ 、すなわち回帰直線の勾配は、ほぼ1.1~1.7の範囲内にある。図-3に示した濃尾地震の場合、 $b = 1.27$ である。損壊家屋数と死者数との関係を表す回帰直線の勾配が1よりもやや大きい値をとるとは、風水害の場合についても認められる。これはある一団塊の市街域(居住域)に加えられた加害力が增大すると、人的被害は単純比例関係ではなくてやや加速的に増大して、災害がより激甚化するというを示していると解釈できるであろう。

回帰直線が図中でより左方に位置するほど、損壊家屋数に比較しての死者の数、すなわち人命被害度は大きい。各地震についてのこの人命被害度の比較を、回帰定数の値によって行ってみる。回帰係数 $b$ は地震ごとに異なるが、それはほぼ1.1~1.7の範囲にあるので、この中央値1.4に固定して回帰係数の違いによる影響を除き、

$$\log D = A + 1.4 \log (H_c + 0.2H_p)$$

で表される回帰式の定数項 $A$ のべきをとった値、すなわち $10^A$ を各地震について求めた。なお $D$ は死者数である。その結果、濃尾、北伊豆、福井、南海の4地震については、ほぼ0.007前後の値が

得られた。すなわちこれらの回帰直線はほぼ重な

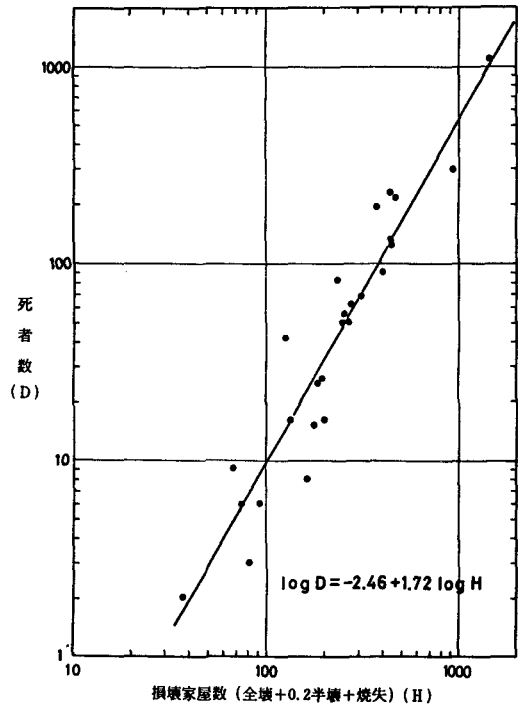


図-4 損壊家屋数と死者数との関係  
北丹後地震(1927) 京都府下町村別被害

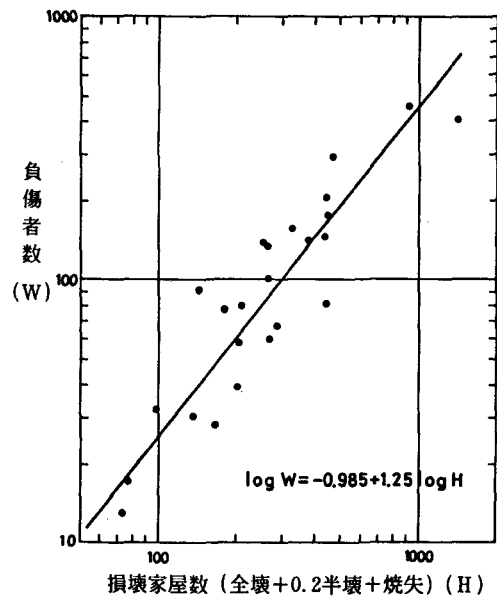


図-5 損壊家屋数と負傷者数との関係  
北丹後地震(1927) 京都府下町村別被害

る。これに対し三河地震では0.022, 北丹後地震では0.018であって, 前記4地震に比べ2.5~3倍の被害度を示す。三河地震および北丹後地震では逃げるひまもなく一瞬にして家が倒壊したといわれており, 断層運動が著しく急激で地震動強さが大きいという性質の直下型地震であったことが, 被害度を大きくした一つの要因となったと推定される。地震発生の時刻, 地域, 季節なども人命被害度に影響を与えていると思われるが, ここで対象とした事例からはその影響を量的に推定することはできなかった。なお, 三河地震は敗戦直前の戦時下において発生したこともあって, 被害統計の精度は劣ると考えられ, 実際には被害度はさらに高かった可能性がある(望月ほか, 1982)。

つぎに焼失家屋に与えるおもみについて同様な方法で検討する。広い地域にわたって火災が発生した地震は, 関東地震, 北丹後地震および福井地震である。これらの地震の各々について火災発生市町村を対象として, 焼失家屋に種々のおもみを与えて回帰計算を行った結果, いずれの場合も0.5~1.5程度のおもみの範囲内では, 相関係数にほとんど差が認められなかった。火災が生じた場合の被害統計では, 倒壊後焼失した家屋は一般に焼失にのみ計上され, 倒壊には計上されていないという問題がある。関東地震による東京府下の被害の集計では, 倒壊後焼失の家屋数も示されているので, 集計が市郡単位ではあるが, この二重計上値を使用して同様の回帰計算を行った結果, おもみが1前後ではやはり相関係数にほとんど差がみられなかった。一般の火災による死者数と全焼家屋数との比は, 1965~1974の10年間では1/13であって, 地震による死者数と全壊・焼失家屋数との比約1/10と大差はない。このように焼失のおもみを細かく決める論拠が得られなかったので, 全壊と同じ1を与えることとする。(全壊+0.2半壊+焼失)数によって損壊家屋数を表し, これと死者数あるいは負傷者数との関係を示した代表例が図-2, 4, 5である。いずれも明瞭な直線相関が存在する。

## 2-2 都市の地震被害

人的被害の規模が巨大化する可能性があるのは都市においてである。一団塊の人口集中市街域をもつ都市を単位として被害データを処理すると, たとえば東京の場合区単位に分割せず全体をまとめて扱おうと, その市街域に加えられた加害力の全体規模に対応して人的被害の規模が決まるという関係が求められやすいであろう。そこで前述の8地震および庄内, 北但馬, 鳥取, 新潟, 十勝沖, 宮城県沖の各地震の際に10人以上の死者を出した都市26(明治および大正期の地震では現在では市となっている人口1万人以上の町を含む)を採りあげた。東京, 横浜, 横須賀(以上関東地震), 岐阜(濃尾地震), 鳥取(鳥取地震), 福井(福井地震), 高知(南海地震), 酒田(庄内地震)などがその主要なものである。これらの都市の地震災害について損壊家屋数と死者数との関係を示したのが図-6である。回帰式は,

$$\log(\text{死者数}) = -1.43 + 1.12 \log(\text{全壊} + 0.2 \text{半壊} + \text{焼失}) \dots (1)$$

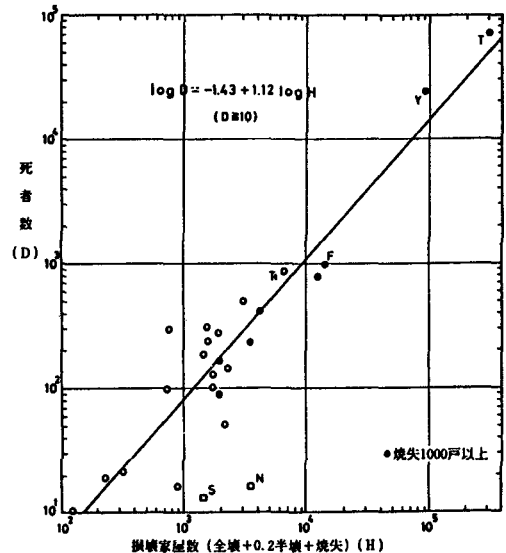


図-6 都市における地震災害(1891—1978)についての損壊家屋数と死者数との関係  
T:東京(関東地震) Y:横浜(関東地震)  
F:福井(福井地震) T<sub>t</sub>:鳥取(鳥取地震)  
N:新潟(新潟地震) S:仙台(宮城県沖地震)

で示される。ただし、新しい都市型災害の様相を示した新潟（新潟地震）および仙台（宮城県沖地震）は除いた。これらは回帰直線のかなり下方にプロットされる。なお、関東地震による東京都の死者には、被服廠跡における火災施風による死者4.4万人も含めている。このときの東京市における焼失家屋は29万戸で、全戸数の65%にも達した。一市街域においてこのような大規模延焼火災が生ずると、その全体規模の大きさを反映してどこかで被服廠跡のような破局的な事態が生ずる可能性があるともいえよう。このように火災規模がひじょうに大きくなった場合、その全体規模がまた新たに被害を増大させる効果をもつということが考えられる。そこで(1)式に火災規模の項を加えたかたちの重回帰式を求め、

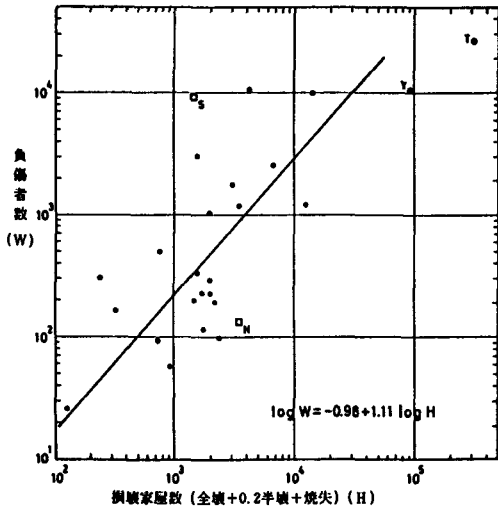
$$\log(\text{死者数}) = -1.2 + 1.05 \log(\text{全壊} + 0.2 \text{半壊} + \text{焼失}) + 1.24 \times 10^{-6} \text{焼失数} \dots (2)$$

が得られた。なお、焼失家屋がない場合にもこの式が使用できるようにするために、火災規模の項は対数で表していない。この火災規模の項はいわば割増し係数とでもいうべき性質をもつが、これは火災規模がひじょうに大きくなった場合にはじめて効いてくる。たとえば焼失戸数が1万戸の場合その大きさは1.03であって3%増の効果しかないが、焼失戸数が25万戸ともなると2.04となり死者が倍増することとなる。ただしこれは図からもわかるように、関東地震の際の東京と横浜（焼失6.3戸）の2データによってほぼ決められた結果のものである。

ここで対象としているのはいわば昔の都市における災害であって、この結果を将来の予測に結びつけるためには、近代的都市のもつ多様な危険要因に関係する項が、大きなウエイトで付加されねばならないであろう。近代的な都市の災害例としては、死者数は少ないものではあったが、新潟（新潟地震）と仙台（宮城県沖地震）とがある。図-6においてこれらは回帰直線のかなり下方にプロットされ、死者の規模は他の事例に比べ1/10以下である。現在の都市の家屋は以前に比べ軽量化されているので、重いかわら屋根の家がつぶれる場合とは異なり、たとえ全壊しても、すな

わち修復不可能なほどに損傷したとしても、人身に加えられる直接の加害力はより小さくなっていると思われる。新潟地震では全体の死者32人中9人が、宮城県沖地震では27人中4人が、建物倒壊による死者である。近代都市における地震では、その加害力の規模を損壊家屋数によって表し得ない部分のウエイトが大きくなる。有毒ガス、大量に集積された可燃物、高速大量交通機関、多数の人を集める大型諸施設などがもたらす危険は、それぞれ個別に評価されねばならないであろう。いまかりに近代的都市の地震でも加害力の規模を損壊家屋数で表しうるものとした場合、死者数との相関関係がどのようなかたちになるであろうかを、新潟、仙台のデータおよび多数の複合的危険の存在などに基づいて推定してみると、昔の地震に比べ回帰定数はより小さく回帰係数はより大きい、すなわちより下方から急勾配でたち上る回帰直線で表される関係を示すであろうことが考えられる。

東京都防災会議（1978）は、関東地震クラスの地震によって東京において生ずる被害の想定を行い、木造建物の倒壊および火災による死者を約3.5万人と予測している。ここで使用された建物被害棟数と死者数との関係を表す回帰式の回帰係数は1よりも小さい0.96である。これは被害規模のひじょうに小さい市町村も含めて回帰分析を行ったことによるところが大きいと思われる。また、関東地震による東京の被害データは区単位に分割して処理され、被服廠跡の死者は特殊事例として除かれていることも影響している。回帰係数が1よりも小さいということは、建物被害規模、すなわち加害力の全体規模が増大するにつれて死者数の増加の程度は漸減していくということを意味している。しかしある一地域に加えられる加害力の規模が大きくなれば、多種類の危険が複合されて、人的被害の規模が加速的に増大するということが考えやすい。たとえば救急、医療活動が行きわたる程度をとってみるとそれは納得しやすいであろう。したがって、(1)式のように回帰係数が1よりもやや大きいということは合理的である。予想される東京の地震による木造建物被害は、全壊6.2万棟、半壊14.2万棟、焼失47.3万棟と推定さ

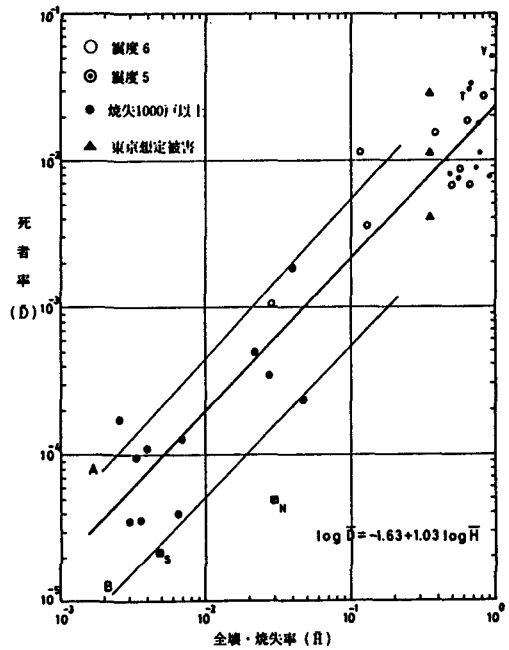


図一七 都市における地震災害についての損壊家屋数と負傷者数の関係  
T：東京 Y：横浜 N：新潟 S：仙台

れている。この数値を使用すると、死者数は(1)式で9.7万人、(2)式で24.5万人と算定される。

図一七は都市の地震災害についての損壊家屋数と負傷者数との関係を示したものである。負傷者の把握の精度は劣ると思われるし、またどの程度までの負傷を統計に含めるかの基準は一定していないので、データのばらつきは大きい。関東地震の際の東京、横浜のような破滅的規模の災害ともなると、かなりの重傷者しか把握されていないということが想像される。宮城県沖地震の際の仙台ではひじょうに多数の負傷者がでた。その半数以上は、ガラス、落下物、家具等の転倒が原因となっている。都市環境、居住様式、住居構造などの変化によって、負傷者を発生させる要因は近代都市において多くなっている。災害が局地的に激甚化すると、十分な医療がうけられないまま放置されざるを得ない重傷者が増大して、その結果死者が増えるということが考えられる。

人的被害の規模を表現したりあるいは予測したりするときには、絶対数ではなくて率で表すのが便利な場合がある。図一八には都市の地震災害についての全壊・焼失率と死者率との関係を示した。回帰直線は大規模な延焼火災（焼失1000戸以上）



図一八 都市における地震災害の被害率  
T：東京 Y：横浜 N：新潟 S：仙台  
A：都市における洪水・土砂災害についての回帰直線 B：都市における強風・高潮災害についての回帰直線 東京想定被害は上から(2)式、(1)式および東京都防災会議(1978)による想定値

が生じた都市以外について求めたものである。その勾配は1よりもわずかに大きい。延焼火災が生じた場合には、焼失の率だけではなくその絶対数も、死者率に影響を与える。震度と全壊率の間には相関が認められているので、各データを震度別に表示した。局地的地盤条件の良否が関係するし、また同じ震度でも地震動の強度にはかなりの幅があるのでばらつきはかなりあるが、大きくみて死者率は震度5の場合0.01%前後、震度6の場合1%前後とすることができる。ただし、関東地震のときの東京、横浜のように、焼失10万戸のオーダーの火災が生ずると、死者率は2～3%あるいはそれ以上にも達する可能性がある。図中には参考までに予想される東京地震（震度6）による想定被害についても示した。死者率は(2)式で3%、(1)式で1%となる。

風水害についても全壊率と死者率との間によい相関が認められる。図-8中には、都市における洪水・土砂災害および強風・高潮災害（伊勢湾台風を除く）について得られた回帰直線も重ねて示した。地震動や強風は広く面的に作用する性質の外力であるので、より局地性が強い洪水および土砂による災害に比べて相対的に大きな家屋被害をもたらす。各災害の人命被害度を比較するために、回帰係数を1に固定した場合の回帰式を求め、その回帰定数のべきをとった値、いかえれば普通目盛のグラフ上での原点を通る回帰直線の勾配、を求めて比較すると、地震災害は洪水・土砂災害の1/2、強風・高潮災害の4倍の被害度を示すという結果が得られた。ただし地震災害の場合、その被害の絶対規模は巨大化する可能性がある。

### 3 津波

海溝性大地震が発生する海域に直面し、津波波高が増幅されやすいリアス海岸地形を呈する三陸沿岸域は、頻繁に津波による被害をこうむっている。近年では1896年三陸津波、1933年三陸津波および1960年チリ地震津波により大きな被害が生じた。両三陸津波については、町村別、集落別に被害が調べられているので、これを使用して津波による人的被害の規模に関係する要因について検討する。1896年三陸津波災害は、岩手、宮城両県の死者25,150という巨大なものであった。1933年の津波は1896年に匹敵するほどの規模であったが、死者数は比較的少なかった。しかしその総数は2935にも達した。1960年の津波はチリ沖で発生した津波が一昼夜かかって地球の裏側の日本列島を襲ったもので、岩手、宮城両県の死者は101であった。

#### 3-1 損壊家屋数と死者数との関係

図-9は、1896年三陸津波災害について、町村別の流失倒壊家屋数と死者数との関係を示したものである。対象としたのは、岩手、宮城両県の三陸沿岸47町村である。ばらつきは大きいがしかし高度に有意な相関は認められる。地震動災害では

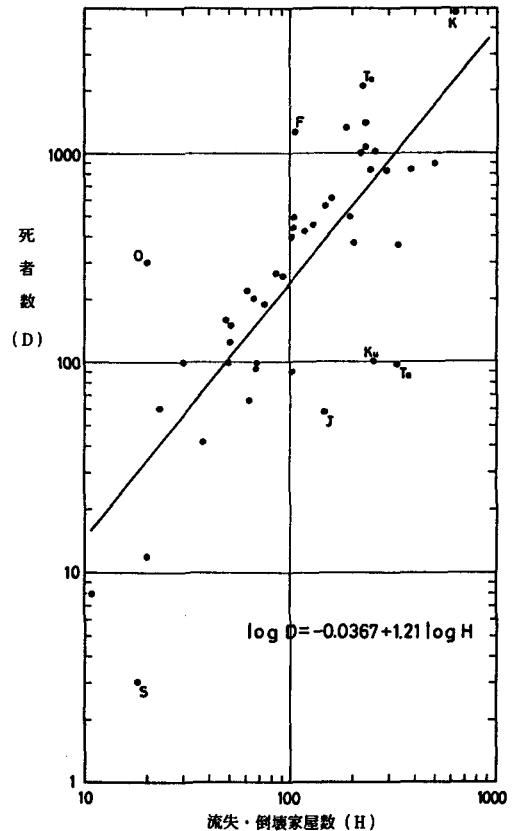


図-9 1896年三陸津波災害についての流失倒壊家屋数と死者数との関係

岩手、宮城両県下町村別被害 K：釜石  
T<sub>o</sub>：唐丹 F：船越 O：織笠 K<sub>u</sub>：鉾ヶ崎  
T<sub>a</sub>：田野畑 J：十五浜 S：磯鶏

死者数と全壊数との比は1/10程度であるが、この津波災害では死者数が流失倒壊数の4倍にも達するという激甚なものであった。津波をひき起こした地震は、6月15日夜7時33分、釜石東方約200kmの海洋下で発生したもので、マグニチュード7.6であった。津波は25～45分後に三陸沿岸に襲った。広田村根岬では最大波高が32.6mにも達した。陸上ではあまり強い地震動が感じられなかったこともあって避難は遅れ、大きな人的被害を生ずる結果となった。1933年の津波は、3月3日の午前2時31分に1896年とはほぼ同じ位置である釜石東方240kmで発生したマグニチュード8.3という巨大地震によるもので、陸上でも強い震動を感じた。津波は20～50分後に襲し、最大波高は根



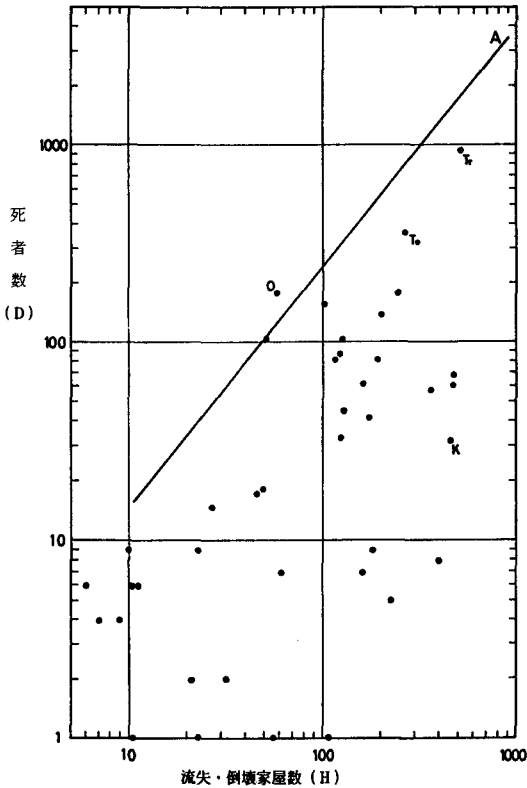


図-10 1933年三陸津波災害についての流失倒壊家屋数と死者数との関係  
 岩手、宮城両県下町村別被害 T<sub>r</sub>:田老 T<sub>o</sub>:唐丹 O:重茂 K:釜石  
 図中の直線は1896年災害に関する回帰直線

岬で28.9mであった。真夜中のことではあったが、強い地震を感じたためすばやい避難が行われたので、流失倒壊家屋数は1896年とほぼ同じであったが、死者数は約1/9であった。

図-10は1933年三陸津波災害についての流失倒壊家屋数と死者数との関係を示したものである。正の相関は認められるものの、ばらつきはひじょうに大きい。これは、災害経験を生かし、危険意識を高め、すばやく避難を行うという災害防備の態勢が、村落ごとに大きく異なっていたことの表われである。津波の場合、地震動を感じあるいは海面の異常な変動をみて、いちはやく高所へ避難することの人命被害軽減効果は、ひじょうに大きい。

図-11には、1896年災害についての家屋流失倒壊率と死者率との関係を示した。回帰直線の勾配は1よりもかなり大きいですが、先に示した地震被害率の場合と同じようにして、勾配を1に固定した場合の回帰定数によって、人命被害度の比較を行った。1896年三陸津波による三陸沿岸町村の被害度は、都市の地震災害に比べ20倍の大きさを示す。1959年の伊勢湾台風により著しい高潮被害をこうむった伊勢湾奥デルタ地帯の市町村の被害度と比べても5倍も大きい。

### 3-2 人的被害変化要因

1896年の災害から1933年の災害へと、被害がどのように変化したかを、岩手県の2郡および宮城県沿岸部町村について示したのが、図-12, 13, 14である。なお、死者数0は表示できないので、仮に死者数1のところへ向けて矢印を描いた。流失倒壊家屋数が0の町村はない。

人命被害の変化にかかわる主要な要因としては、

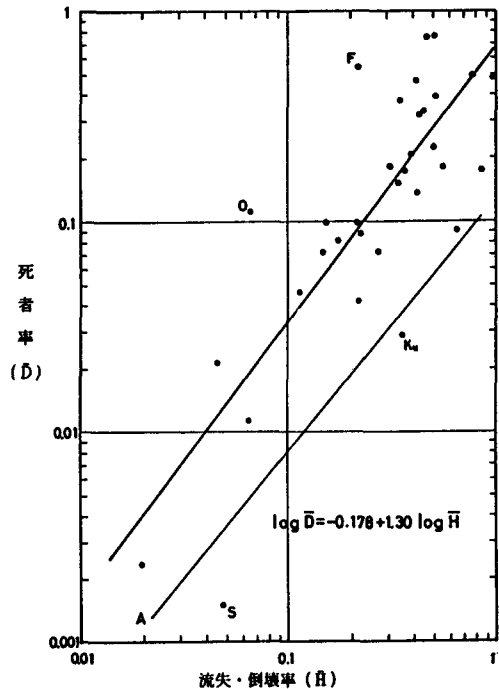


図-11 1896年三陸津波災害の被害率  
 岩手県町村別 F:船越 O:織笠 K<sub>u</sub>:鰻ヶ崎 S:磯鶏 A:伊勢湾台風の高潮により被災したデルタ沿岸市町村に関する回帰直線

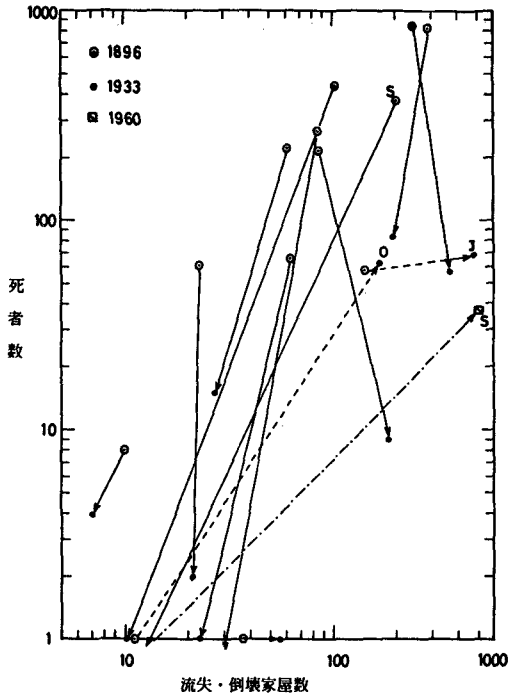


図-12 津波被害の変化(宮城県下の町村)  
S:志津川 J:十五浜

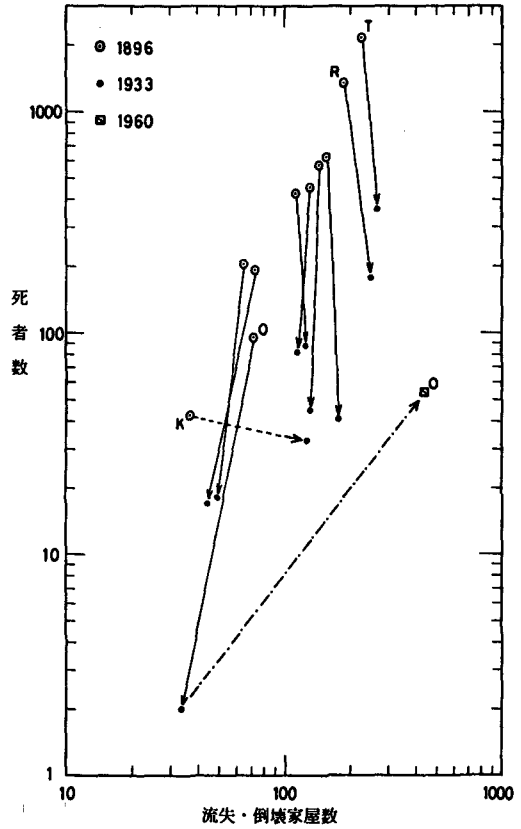


図-14 津波被害の変化(岩手県気仙郡の町村)  
T:唐丹 R:綾里 K:気仙 O:大船渡

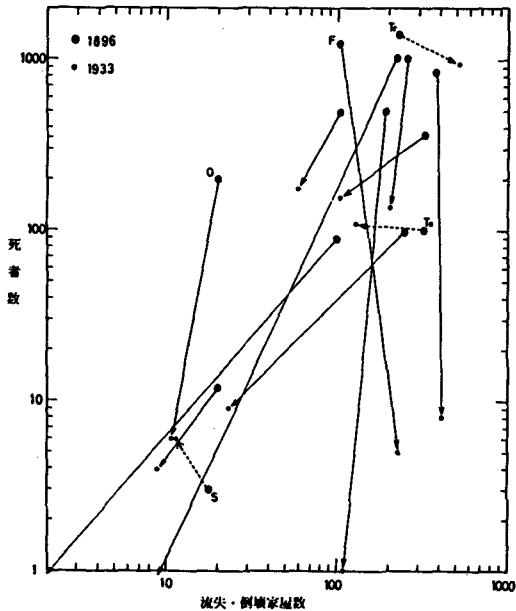


図-13 津波被害の変化(岩手県下閉伊部の町村)  
T<sub>r</sub>:田老 F:船越 T<sub>a</sub>:田野畑 S:磯鶏

有効適切な避難の有無、被害ポテンシャルの増減、波高の増減などがあげられる。流失倒壊数は同じであるが死者数が減少した場合、すなわち矢印が下方に向かう場合は、死者の減少は避難(緊急時における各種退避行動を含む)によってもたらされたものと解釈できる。矢印が左下方に向かう場合は、外力(波高)の減少ないしは被害ポテンシャルの低下(高地への移転による危険域住宅の減少など)も、死者の減少に寄与していると考えられる。外力や被害ポテンシャルが増加したり、あるいは避難がうまく行われなかった場合には、流失倒壊家屋数あるいは死者数が増大する方向への成分が現われる。

いま図-15(普通目盛座標)において、ある町村の1896年の被害がA、1933年のそれがBで示

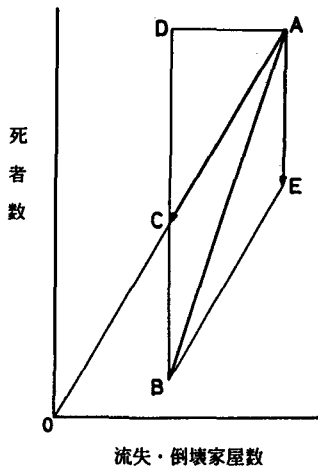


図-15 被害変化ベクトルの分解

されるものとする。もし1933年においても1896年と同じ人命被害度（これを死者数と流失倒壊数との比で表す）で死者が生じたとすると、1933年のデータはAと原点とを結ぶ線上のCにプロットされることになる。この場合の死者の減少分DCは、1896年の人命被害度を固定的とした場合の、波高ないしは被害ポテンシャルの低下に起因する死者減少分とみなすことができる。一方避難の効果は、Aから下方へ向かう成分AE（=CB）によって示される。このようにベクトルABを、縦軸に平行な成分と原点方向（対数グラフ上ではAを通る45°の勾配の直線上）に向う成分に分解することによって、各要因の寄与分を評価することが可能であると考えられる。ベクトルABが右方あるいは上方に向う場合でもこれは妥当する。

この方法により死者増減の要因別分解を、全48町村それぞれについて行った。1896年から1933年への死者数変化の全体は-22,111であるが、このうち避難が寄与したと推定される部分は-21,276、外力ないしはポテンシャル低下による部分-5937、外力ないしはポテンシャル増大による部分+4847（波高が増大した町村だけについてみると+255）が得られた。このように死者の減少のほとんどは、明治の大災害の経験を生かした迅速な避難の寄与によるものと推定される。なお、このような大規模な津波に効果的に対処できるような規模の防波

堤、防潮林等はなかったものとした。

全般的にみて、人命被害度を大きく減少させることができたのは、1896年に大きな被害をうけた町村である。逆に、1896年の被害度が低かったところは、1933年の災害で死者の数あるいは被害度を増大させている。磯鶏村、田野畑村、鍛ヶ崎村などがそれである。十五浜村、大原村、気仙村は1933年の波高がより大きかったため、被害が増大した。

1960年のチリ地震津波では、岩手、宮城両県の死者は101であったが、その大部分は大船渡市（死者53）と志津川町（死者30）におけるものである。これら2市町の1960年の被害データも図-12および図-14に示した。大船渡と志津川では、1933年の被害はひじょうに小さかった。とくに志津川では波高が1896年の1/3でしかなかったため、死者は0であった。このように前回の被害規模が危険意識の程度に反映して、被害は1933年に大きく減少し、1960年に再び増大するという大きなV字型の変化を示している。チリ地震津波は5月24日の午前4時30分ごろ来襲した。漁民は朝が早く4時ごろから浜へ出ており、異常な引潮をみて津波を予想し避難したため、全体の死者は少なかった。志津川では1933年の津波の規模が小さかったので危険意識が低下していたためであろうか、避難が遅れて多数の死者がでた。

大きな波高の津波が予想されるころでは、集落の高所移転が最も効果的な津波防災対策である。1896年の津波後、大沢村、大谷村、船越村などでは背後の段丘上に集団移転が行われた結果、1933年には少数の低地居住者が被災しただけであった。田老村は当初移転を考えたものの結局現地再建したので、1933年には最大の被害をこうむった。1933年災害後は大規模に高所移転が行われ、合計3000戸が移転を行った。最近では巨大な防波堤によって囲まれている湾奥の低地集落は多い。しかしこれは日常の漁業活動等の障害ともなっている。

### 3-3 津波波高と被害との関係

波高は津波の外力規模を表す最も主要な物理量である。しかし、各集落の位置、標高や標高別家

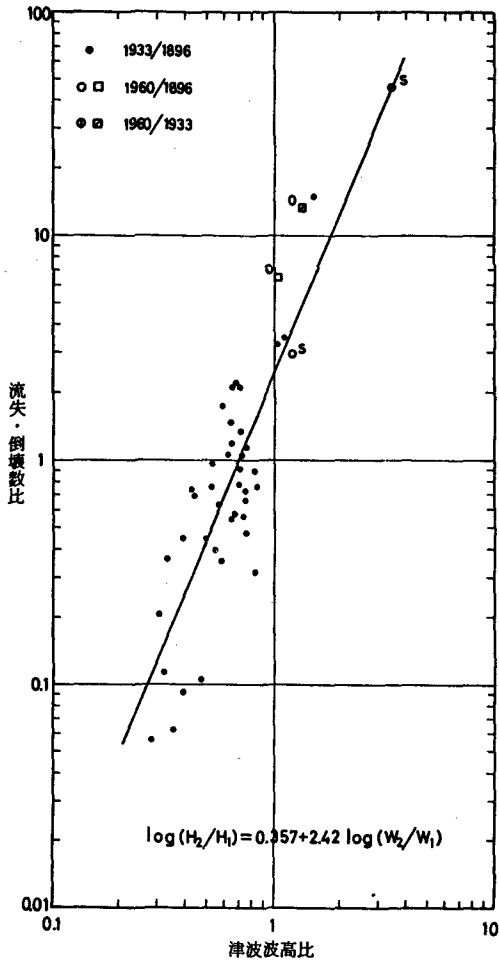


図-16 津波波高比と流失倒壊数比との関係  
S: 志津川 O: 大船渡

屋分布には違いがあるので、波高の絶対値と被害との対応関係は見出し難い。そこで、1896年と1933年の両津波の波高の比を求め、これと被害との関係を調べた。図-16は津波波高比と流失倒壊数比との関係を示したものである。津波波高（集落付近における平均最高水位）は集落ごとに調べられている。しかし1896年の被害高は町村単位でしか調べられていないので、これと対応させるために、各町村の平均波高を求めた。その算出にあたっては、各集落の家屋流失倒壊区域面積によっておもみをつけた。波高が調査されていない集落がかなりあること、湾口と湾奥など、集落の湾内

における位置の違いによって、波高に大きな差があることなどのため、町村単位での平均値の算出には無理が生ずる場合がかなりある。したがってばらつきはかなり大きい、しかし高度に有意な相関は認められる。回帰式は

$$\log(H_2/H_1) = 0.357 + 1.212 \log(W_2^2/W_1^2)$$

で表される。ただし、波のエネルギーは波高の2乗に比例するので、上式のような表現をとった。なおここで、 $H_1$ 、 $W_1$ はそれぞれ1896年における流失倒壊家屋数および波高、 $H_2$ 、 $W_2$ は1933年における流失倒壊家屋数および波高、である。波高比が1よりも小さいにもかかわらず、流失倒壊数比が1よりも大きい町村がかなりあるが、これは被害ポテンシャル（住家数）が増大したことによるものと思われる。1933年の波高の方がより大きかったのは、大原、気仙、十五浜の3町村であるが、これらの流失倒壊数比は1を大きく越えている。

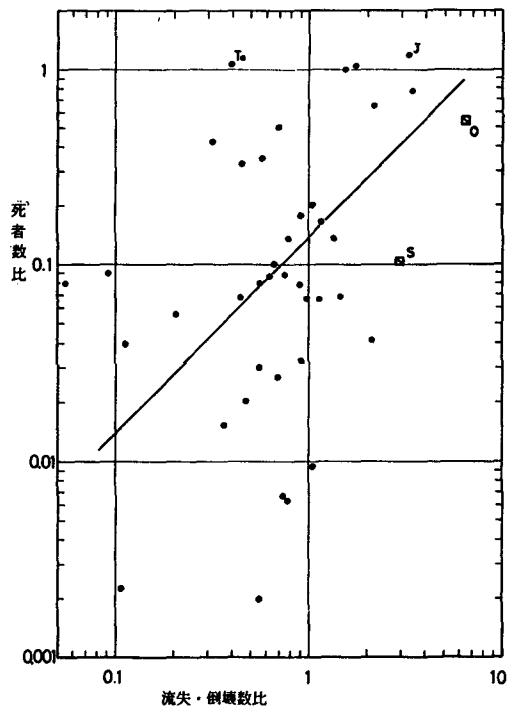


図-17 流失倒壊数比と死者数比との関係  
J: 十五浜 Ta: 田野畑 O: 大船渡 S: 志津川

1960年のチリ地震津波によって大きな被害をうけた大船渡市および志津川町についても、1896年および1933年との波高比および流失倒壊数比をそれぞれ求め、図-16中に示した。志津川はほぼ回帰直線上にプロットされる。大船渡は市への発展により住家数が大きく増加したためであろうか、流失倒壊数比が相対的に大きくて、回帰直線のかなり上方にプロットされる。

町村単位での流失倒壊数比と死者数比との関係は、図-17に示した。1896年と1933年とでは、流失倒壊数に大きな差はなかったものの、死者数では約1/9への減少を示した。この死者の減少の程度は、主として避難の適不適のために、町村ごとに大きな差を示した。したがって、図-17に表した関係は大きなばらつきを示す。このばらつきは、とりうる被害の幅や上限を推定する手がかりとなるであろう。

末筆ながら、本稿を1984年3月で東京都立大学及び都市研究センターを定年退官される中野尊正教授に献呈いたします。

## 文 献 一 覧

- 愛知県  
1970 「愛知県災害誌」。
- 愛知県防災会議  
1975 「昭和19年12月7日東南海地震に関する踏査報告」。
- 石巻測候所  
1933 「昭和8年3月3日三陸沖強震及津波報告」。
- 岩手県  
1969 「チリ地震津波災害復興誌」。
- 上田治・羽立隆幸・干場良信  
1982 「地震による住家被害率および公共資産損害率の推定法」『土木技術資料』24巻1号、pp.33-38。
- 宇佐美龍夫  
1975 「資料日本被害地震総覧」 東大出版会。
- 高知県  
1949 「南海大震災誌」。
- 国立防災科学技術センター  
1979 「地震断層付近の震害に関する調査—1891年～1976年の主要内陸地震について—」『防災科学技術研究資料』第39号。
- 消防科学総合センター  
1983 「地域防災診断ハンドブック（地震災害編）」。
- 全国防災協会  
1965 「わが国の災害誌」。
- 東京都防災会議  
1978 「東京区部における地震被害の想定に関する報告書」。
- 東京府  
1925 「東京府大正震災誌」複製版。
- 名古屋市防災会議  
1978 「濃尾地震文献目録」。
- 新潟県  
1965 「新潟地震の記録」。
- 水谷武司  
1983 「人的被害の規模に係る要因」『国立防災科学技術センター研究報告』第31号、pp.9-34。
- 宮城県  
1980 「78宮城県沖地震災害の教訓」。
- 望月利男・宮野道雄・松田磐余  
1982 「比較的最近の地震における人的被害—特に負傷者について—」『第19回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集』pp.199-202。
- 望月利男・宮野道雄・松田磐余  
1982 「1945年三河地震による主として西尾市の人的被害について」『第19回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集』pp.203-206。

## ON THE SCALE OF HUMAN CASUALTIES DUE TO EARTHQUAKE AND TSUNAMI

Takeshi Mizutani\*

\*National Research Center for Disaster Prevention  
*Comprehensive Urban Studies*, No.20, 1983, pp.15-28

Factors related to human casualties due to earthquake and tsunami are presently being analyzed using past hazard data. Human casualties are greatly affected by various factors which influence people's behavior, mentality and general state of preparedness against such hazards. The number of earthquake-damaged houses is available as an index for representation of the intensity of the earthquake's damaging impact. Regression equations have been derived which relate the number of destroyed and burnt houses to casualties caused by earthquake hazards in urban areas. The regression coefficients are a little more than 1, which means that casualties in an urban district increase at a slightly higher rate than the increase of damaging impact. In the case when a city is struck by an earthquake with the intensity of 6th degree on the seismic scale, its resulting death-rate would be about 1%. In the case of 5th degree, this statistic would drop to about 0.01%. The damaging impact of tsunami or tidal waves to the number of casualties, and the factors which affect those casualties, has been investigated according to data on the damage caused by tsunamis when they struck the Sanriku Coastal Regions in the year of 1894, 1933 and 1960. Previous warning of approaching tsunami and emergency evacuation procedures together are the most effective means for reducing tsunami-related casualties.