

人的被害の規模に関係する要因

水 谷 武 司 *

国立防災科学技術センター

Factors Affecting Human Casualties Due to Heavy Rain and Strong Wind

By

Takeshi Mizutani

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Human casualties are greatly affected by various kinds of factors which have influences on behavior, mentality and preparedness of people against hazards. The factors are regionality of natural and social characteristics, hazard experience, time of impact, period, kind of secondary natural event and so on. Effects of these factors on casualties due to typhoon, flood, storm surge, strong wind, landslide and debris flow are estimated using past hazard data.

Clear correlations between the number of damaged houses and casualties are recognized for all kinds of natural hazards. The regression coefficients clearly show the effects of the factors on casualties quantitatively. The number of deaths due to typhoon is represented by a power function of the central atmospheric pressure and the radius of typhoon circle at landing time. The exponent obtained for the typhoons that landed during midnight in Central Japan is 1.4 times as large as that during daytime and early evening. Relationships between the number of deaths and the amount of rainfall, flood discharge, basin gradient and household density are obtained for Nishinippon Flood in 1953. Equations which relate the death rate of flood and storm surge to the depth of inundation are derived.

* 第1研究部災害研究室

1. はじめに

大雨、強風、地震などの一次的な自然力がある強度でもって作用した場合に、どのような規模の被害が発生するであろう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の一つの基礎となる。しかし外力の作用から被害の発生までに至る過程には、種々の要因や二次的な自然現象が介在するので、一次的な外力の強度と被害の規模との関係はかならずしも明確ではない。とくに、土地に固定されている建造物の被害とは異なり、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、社会的要因が強く関係するので、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大きな差が生ずる。災害に備える事前準備、緊急時の避難行動および被害拡大の阻止活動が人的被害の軽減にあずかるが、これらの諸行為とそのもとになる意識や判断に関係する外面的、包括的要因には、地域社会の性格、地理的条件、災害経験、時刻、時代、災害のタイプ、情報度など種々のものがあげられる。人的被害を軽減するためには、その拡大、縮小にあずかるこれら要因の分析を行うことが必要である。本稿では各種要因のかかわりを定量的に明らかにすることに主点を置きながら、台風、高潮、洪水、土砂等による災害について、外力強度と人的被害規模との関係を、過去の災害の被害統計資料に基づいて示す。大雨、強風が一次的な外力となってひき起こされるいわゆる風水害では、外力の作用域中のごく限られた場所で発生する洪水氾濫や山崩れ・土石流などのいわば二次的な現象が直接の加害力となるので、外力と被害との関係は単純ではない。また、地震とは異なり全くの突発的な現象であるとはいえないので、人々の直前の判断や行動など人間的要因が人的被害の規模に影響を及ぼす余地が大きい。

人的被害の規模を規定する要因について知るためには、個々の災害を詳細に調べて具体例を積み上げるという方法も有効であるが、ここでは多数の災害例の被害データに基づいて、外力と人的被害規模との関係についての、ややマクロな見地からの関係を求め、その結果から関連要因を定量的に評価するという方法によって行う。統計的に意味ある結果を得るために人的被害の大きい災害を対象とすることになるが、大規模災害の頻度は小さいので、昔の災害も含める結果となっている。この場合、将来の予測に結びつけるためには、社会的要因の経年的な変化が被害の質および規模に与える影響を評価することが大きな問題となる。また、過去の決して多いとはいえない災害事例から導かれる結果をそのまま一般化することには無理がある。しかし、すくなくとも、悪条件が重なった場合にはどのような規模の被害が生ずる可能性があるかを、また、うまくいった場合にはどの程度に被害を少なくすることができるかを、いいかえれば、外力と被害との関係式の係数値のとりうる幅と被害の極値を、過去の災害事例に基づいておさえておくことは、一般に発生が稀でありまたその予測が困難な自然現象のもたらす危険に備えるために必要なことであろう。

外力の大きさを表す値としては、降雨強度、風速、地震のマグニチュードなど、一次的現

象の強度を示す物理量を採れば明快であるが、局地性が強い二次的現象が直接の加害力となる場合には、これらの一次的な物理量と人的被害規模との対応関係は認められないことが多い。そこで、適切な物理量が得られない場合には、損壊家屋の数あるいは率を使用することとした。地震の震度はその場所における地震動の強さを示す値であるが、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。これが妥当性をもつのは、地震動が震源からの距離や地盤の種類に応じた減衰や増幅をうけ、面的に一樣に働く性質の加害力として地表建造物に作用するということによるものである。強風もまた面的に一樣に作用する性質の加害力である。大雨の場合、その加害作用の過程はこれらとはかなり異なる。しかし人的被害ということに限って考える場合、人が住んでいないところに外力が作用しても通常大きな被害は生じないのであって、ある地域の人間の生活域に現実作用した加害力の大きさは、その土地に固定されている住家の被害規模にかなりの程度反映しているものと考えられる。これは家が壊れそのある割合で人が死傷するという過程をかならずしも想定しているものではない。後に示すように、家屋被害と人的被害との相関関係は、風水害および地震災害について一般的に認められる。家屋被害が外力の大きさを適切に表す値とはならない場合があるとしても、すくなくとも、これをデータ整理の座標値として利用することによって、各種要因のかかわりを推定することに役立つことはできるであろう。

自然災害による被害の想定は、大都市をかかえる地方自治体によって主として地震災害に関して行われている。地震の場合、その発生から地表面への入力とそれによる家屋の破壊までに至る物理的過程は、大雨の場合に比べ明快である。このため地震のマグニチュードと家屋被害規模との関係式は種々求められている。したがって、さしあたり家屋被害と人的被害との関係が求められれば、地震の規模と人的被害の大きさとを結びつけて考えることができることになる。地震および津波による人的被害の規模については別に報告する。

2. 風水害全般の被害

まず最初に風水害と各種事故との比較を行ってみる。図1は最近15年間における災害・事故による日本全体の死者率の推移を示したものである。風水害の死者率の年々の変動が大きいことが明瞭である。件数が比較的少なくなかつ自然条件に左右されるところが大きい山岳遭難に比べても、その変動は非常に大きい。これに対し火災や各種事故の死者率はかなり一定した値を示し、しかも明瞭な長期的傾向、火災を除き減少傾向、をもって推移しているので、死者数をマクロに予測することが可能である。風水害についてもこの期間ではかなり大きな減少傾向を示す。その死者数は100万人あたり数人というオーダーであって、山岳遭難とほぼ同水準にある。ただし、伊勢湾台風のような大災害が起こればたちまち交通事故の水準近

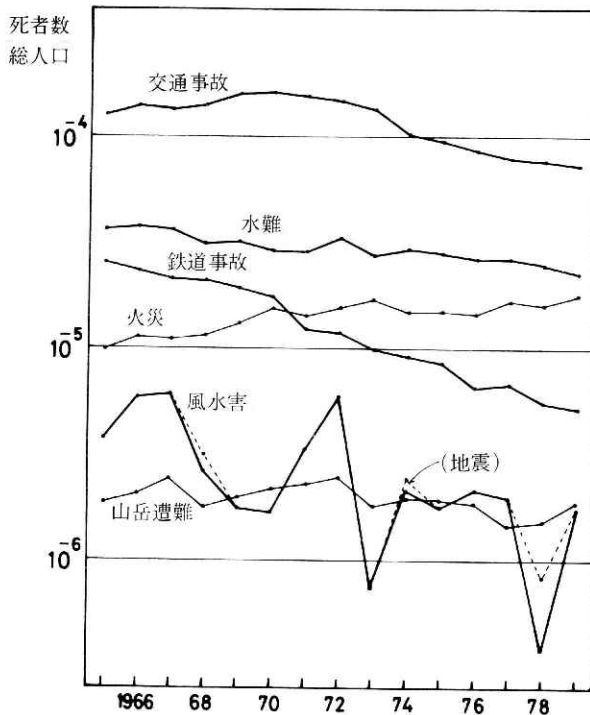


図 1 災害・事故の死者率の経年変化 (死者数は警察白書による)

くまではね上るという可能性はもっている。

図 2 には各種自然災害についての死者の規模と頻度との関係を示した。年平均頻度および大規模災害の相対頻度の違い、いかえれば曲線の左端の位置とその右下りの程度の違いが、地震と風水害の間に明瞭に認められる。ただし死者数の水準が高かった昭和20, 30年代も含めると、風水害の大規模災害の相対頻度はやや高くなる。

降雨量ないし降雨強度は、外力の規模を表す主要な値である。しかし、降雨という一次的な現象が直接被害をひき起こすものではなくて、地表を流下し地中に浸透した雨水がある場所に集中し、降雨域全体に比べきわめて小地域で、ときには降雨域外で、洪水氾濫や山崩れ・土石流などの二次的現象が発生し、これら二次的現象の種類によって異なる規模の被害がひき起こされる。したがって、降雨に起因する災害の場合、降雨強度と人的被害規模の対応関係は一般に不明瞭である。ただし、日本全体についての年合計というマクロな値でみると、個々の災害の個別性や地域による差が薄められるためであろうが、降雨量と人的被害規模との対応関係はかなり明瞭となる(水谷, 1968)。

図 3 は、1960～1979の20年間について、各年の台風および大雨による死者数の全国計と総

人的被害の規模に関する要因—水谷

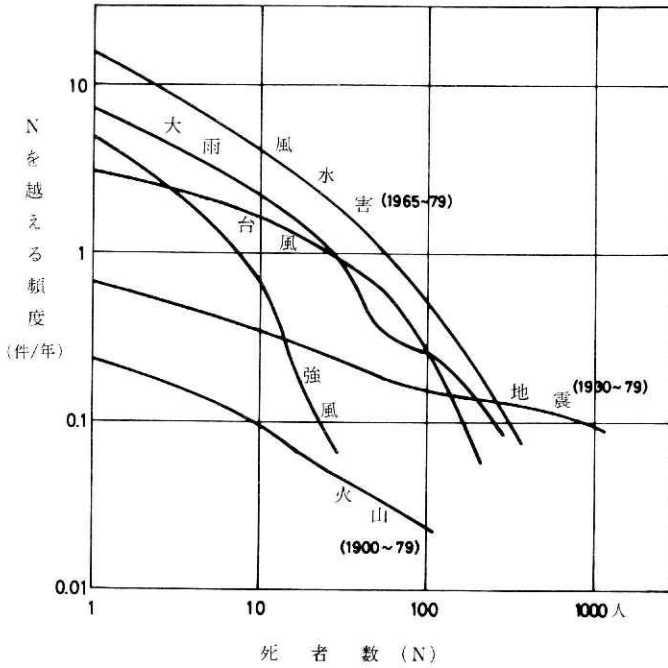


図 2 自然災害による死者の規模と頻度との関係

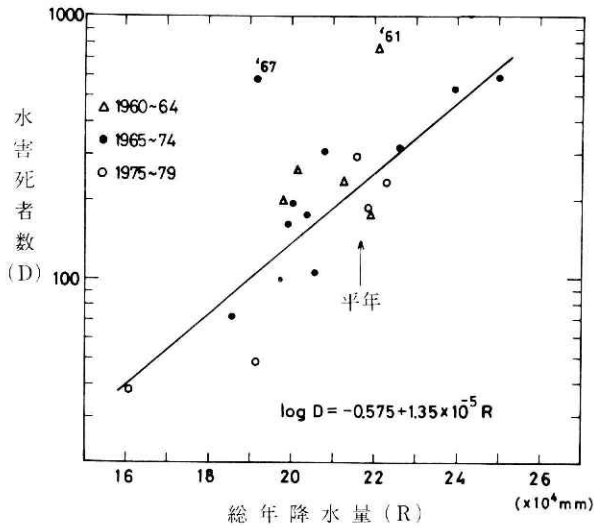


図 3 各年の水害死者数（警察調査による台風と大雨による死者数の合計）と総年降水量（全国 127 気象官署の年降水量の積算値）との関係

降水量（全国 127 気象官署の年降水量の積算値，島および山岳の気象官署を除く）との関係を示したものである。ごく少数の年を除き明瞭な相関が認められる。死者 500 人を越すという大災害は1959年の伊勢湾台風災害を最後に発生がなく，1960年を境として死者数は低い水準に低下している。図 3 はこの1960年以降の期間について示すものである。図 1 にも示されているように，近年においても死者数は漸減傾向にある。図 3 の内容を昭和年代別にみると，30年代のデータは死者数が相対的に大きい位置に，50年代のそれはより小さい位置にプロットされていて，経年的な減少が読みとれる。図中に示した回帰式は全期間（1961，1967を除く）についてのものであるが，よりくわしくみればその回帰係数や回帰定数は時代によって異なった値をとることになる。年降水量の平年値は 127 気象官署の積算値で 21.7×10^4 mm となるが，この平年の年の死者数は回帰式を使って約 200 人と計算される。1967年には大きな梅雨前線豪雨災害と大規模な干ばつが重なったため，降水量のわりには死者数が多いという結果となった。

この後にも多数の相関図を示すが，各図に併記した回帰式は固定的なものではなくて，その回帰係数や回帰定数は時代，時刻，地域等の関係要因によって異なる値をとるはずのものである。また，かなり低い場合もあると思われる被害データの精度を考えると，その値にはかなりの幅をもたせねばならない。データのばらつきは回帰定数のとる幅を推定する手がかりとなる。このため非常にばらつきの大きい相関図も示してある。各図中に示した回帰直線は，相関関係を読みとりやすくするための補助手段として引いたものである。

水害が発生する雨量にはある下限値がある。この下限値は年降水量の地域差にはほぼ対応して，北日本で小さく西日本で大きい。したがって雨という外力の大きさは，その総量ではなくて平年値を超過する部分によって表すのも一方法となつて思われる。図 4 には1955～1979の25年間について，各年の平年値を越える降水量の積算値（127 気象官署のうちで年降水量が平年値を越えたところについてその超過量を求め積算した値）と台風・大雨による死者数との相関を示した。諫早豪雨，狩野川台風，伊勢湾台風，36.6 梅雨前線豪雨といった，夜間に発生して大量の死者を出した災害があった年は，非常に急勾配の回帰直線で示される群をつくっている。悪条件が存在するときには，外力のわずかな増大によっても死者数が大きく増加する可能性があるものと推定される。これら以外の年はより緩やかな勾配の回帰直線で表される相関を示す。この場合にも，昭和50年代のデータは死者数が相対的に少ない位置にプロットされている。

比較的小地域，たとえば一つの都市に限ってみると，自然的，社会的要因の地域性が捨象されるので，降雨強度と人的被害規模との相関を見出しやすくなるものと期待できる。しかし，死者を生ずるような激しい洪水や土砂による災害の頻度は一小地域についてみるときわめて小さいので，十分な数のデータが得られないということになる。図 5，6 は，名古屋市および横浜市について，降雨強度と浸水戸数との相関を示したものである。大都市では主と

人的被害の規模に関する要因－水谷

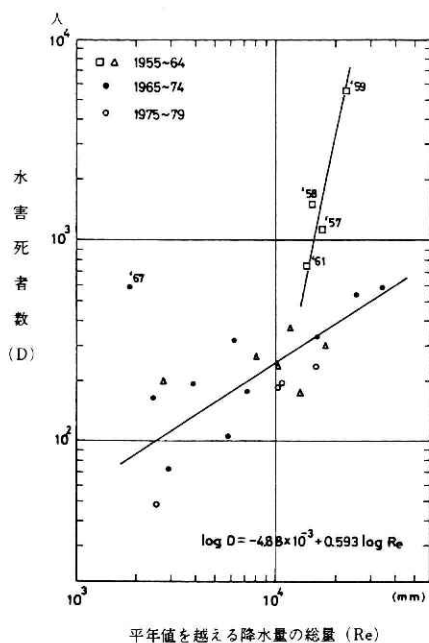


図 4 各年の水害死者数と年平均値を越える降水量の総量（全国 127 気象官署のうち年降水量が年平均値を越えたところについてその超過量を求め積算した値）との関係

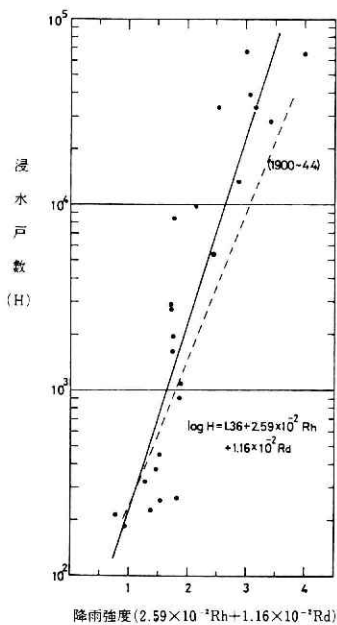


図 5 名古屋市（1965～80）における降雨強度と浸水戸数（床上+床下）との関係（雷雨を除く）

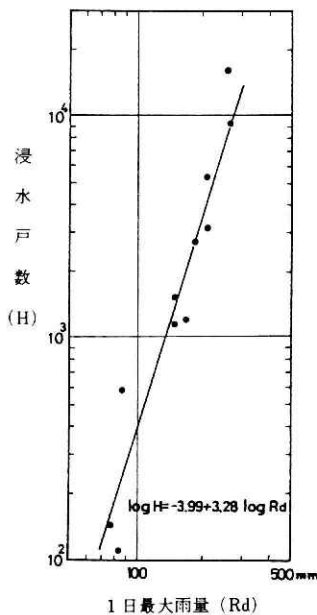


図 6 横浜市（1910～72）における降雨強度と浸水戸数（床上+床下）との関係

して内水氾濫による浸水の頻度が大きいので、このような関係を見出しやすい。内水氾濫による浸水戸数は人的被害の大きさに結びつけることができるような性質のものではないが、降雨強度という最も基本的な外力値との関係が明瞭な被害値の例として示す。名古屋市の場合、1日最大雨量と1時間最大雨量の2変数を説明変数として重回帰分析を行ったときに高い相関が認められた。経年変化をみるために、第Ⅱ次大戦の前と後に分けて回帰分析を行ったが、都市域の拡大を反映して、降雨強度が大きくなるにつれて両期間の浸水戸数の差がより大きくなっている。横浜市の場合、市単位の被害高が得られない災害事例が多かったのでデータ数は少ない。

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。損壊家屋数と死者数との間に相関があることは、各種災害を通じて一般的に認められることであるが、家屋数と人口とは当然相関があるので、損壊家屋率と死亡率との間にも相関が存在する結果となる。図7は洪水、土砂、高潮、強風等による災害について、市町村を単位とした家屋全壊流失率と死亡率との関係を示したものである。対象とした災害は、1946年以降に発生し10人以上の死者をだした都市における災害である。ただし、風害の場合死者数は一般に少ないので、10人以下の災害例も含めた。また、比較のために1956年以降に100人以上の死者をだした町村の災害も加えた。

洪水災害と土砂災害（斜面崩壊、土石流による災害）は、とくに区別されることはなく、ほぼ同一の回帰直線で表される分布を示す。なお、多数の死者が生ずるような洪水は、多量の土砂・流木も運搬する山地内谷底における洪水である。これに対し強風および高潮（伊勢湾台風を除く）による災害は、死者率が一段と低い位置にプロットされる。都市の洪水・土砂災害（1953年熊本水害、1957年諫早水害、1967年神戸・呉土砂災害など）および都市の強風・高潮災害（ジェーン台風による大阪の高潮災害、伊勢湾台風による岡崎・西尾の強風災害など）についての回帰式を図中に示したが、 $\log \bar{H}$ の係数値すなわち回帰直線の勾配はほぼ1である。つまり全壊流失率と死亡率とはほぼ単純比例の関係にある。このことは地震や津波による災害についても認められる。

災害の種類による死亡率の差を量的に表わすために、回帰係数（勾配）を1に固定した場合の回帰式 $\log \bar{D} = A + \log \bar{H}$ の 10^A の値（普通目盛のグラフ上に表した原点を通る回帰直線の勾配）を各種災害について求めた。この値は図中の括弧内に示したが、洪水・土砂災害の値は強風・高潮災害のそれに比べ8倍の大きさを示す。すなわち、損壊家屋率が同じであっても洪水・土砂災害では強風・高潮災害に比べ死亡率が8倍にもなる。強風は面的に広く作用するためであろうか、人的被害に比べより大きな家屋被害をもたらす。このことはいわゆる風台風と雨台風とによる被害の比較によってもよく認められる。このように強風・高潮災害では家屋被害のわりには死者数が少ないのが一般的であるとはいえ、伊勢湾台風災害のように甚大な被害が生ずる場合もあり得る。図中に示したように、伊勢湾の湾奥の三角州沿

人的被害の規模に関する要因—水谷

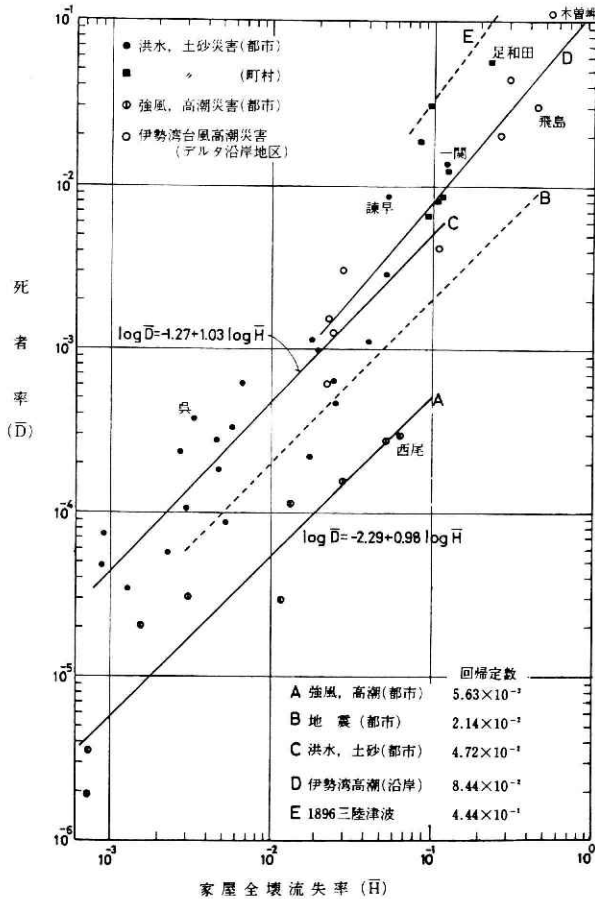


図 7 風水害の家屋全壊流失率と死者率との関係(市町村単位)

岸部に位置していて高潮の直撃を受けた市町村についての 10^A の値は、強風・高潮(被害度低)災害のそれに比べ約16倍、洪水・土砂災害に比べ約2倍の大きさを示す。

図中には比較のために、都市の地震災害および1896年三陸津波災害についての回帰直線および 10^A の値を示した。地震動も広く面的に作用する性質の外力であるから相対的に大きな家屋被害をもたらす。地震災害の 10^A 値は洪水・土砂災害のその約 $1/2$ である。ただし地震災害では、人的被害の実数規模はより大きくなる場合が多い。1896年三陸津波は死者数27,122人という大災害であって、岩手、宮城両県の三陸沿岸部の約50の町村は、異常に高い人命被害度を示した。その 10^A 値は洪水・土砂災害の約10倍の大きさである。

損壊家屋数(あるいは率)と死者数(あるいは率)との関係を示す回帰直線の勾配は、地震災害および風水害の全体を通じて、1よりもやや大きい値を示す。これはある一連の市街

域（居住域）に加えられる加害力が增大すると、人的被害は単純比例ではなくやや加速的に増大して、災害がより激甚化するということを示していると解釈できるであろう。人口密度は人的被害の規模に影響を与える要因であるが、面積のとり方に問題があるものであろうか、市町村という単位のデータからはそのかわりを求めることはできなかった。

3. 台風災害

台風の勢力は、大型で強い、中型で並といった表現が一般に使われているように、中心気圧と暴風圏の広さによって表される。これが上陸した場合、通常その勢力は急速に衰えるので、上陸地点の周辺地域が主被災域となる。高橋（1954）は、台風の上陸時の工率と被害高との間に相関があることを示した。ここで工率とは台風の中心示度の深さの1.5乗と最大円形等圧線の半径の2乗の積に比例する値であって、台風が単位時間に摩擦で失う運動エネルギーを示す。水谷（1976）は、1946～71の期間に日本本土に米襲した台風について、上陸時の工率と死者数との関係を調べ、上陸の地域および時刻が人命被害度に影響を与えていることを示した。ここでは1972～82の期間の台風を追加して、台風の勢力と人的被害の規模との関係につき検討を行う。

周辺の気圧場のいかんによっては台風の等圧線は円形からかなりはずれた形をとるので、最大円形等圧線の半径の測定には主観的判断を加えざるを得ない場合がある。そこで統一した見方で測定を行ってできるかぎり客観性を高めるために、改めて1946～82の全期間中に本土に上陸あるいは接近して被害を与えた88個の台風について、同種の天気図を使用して短時間内に最大円形等圧線の半径の測定を行った。工率の定義式中の最大円形等圧線半径の2乗は台風圏の面積を表すものであるが、被害高に対応させる場合、外力が作用する陸上域の面積が問題とされねばならないので、半径のべき乗値を2に固定させるのは適当でないと思われる。そこで工率の使用はやめて、中心気圧と最大円形等圧線半径の2変数を説明変数とする重回帰分析によって、台風の勢力と人的被害規模との関係を求めることとした。

深夜上陸の台風では死者の規模が非常に大きい場合が多いのでこれは除き、深夜以外の時間帯に上陸した台風について重回帰分析を行った結果、図中に示した重回帰式が得られた。この式は死者数が $P^2 R^{15}$ にはほぼ比例するというを示している。これは工率の $P^{15} R^2$ とはかなり異なる。なお $P = (1010 - \text{上陸時中心気圧}) \text{mb}$ 、 R は最大円形等圧線半径である。台風は上陸後陸上域を進行して半径の2倍をその幅とする帯状域に外力を及ぼすこと、しかし上陸後かなり急速に衰弱するので主被災域は上陸地点付近に限られることなどを考えに入れると、外力作用域の大きさを表す R の指数値が1と2の中間の値をとるということは合理的な結果であろう。

図8には、台風の勢力を表す $P^2 R^{15}$ 値を横軸にとり死者数を縦軸にとって、全台風につい

て両者の関係を示した。深夜以外の時間帯に上陸した台風（白丸で示した）は、もちろん45°の勾配の回帰直線の周囲に分布する。台風の勢力に比較しての死者の数、いかえれば人命被害度は、両対数グラフ上では左上方ほど大きい値を示すが、この左上方にプロットされているのは深夜上陸の台風および大都市に高潮災害をもたらした台風（ジェーン、伊勢湾）である。上陸は夕刻であるが上陸地点から遠く離れた場所において深夜に大きな被害をひき起こしたルース台風、早朝に上陸し猛烈なスピードで本土を横断したためその勢力のわりには大きな被害をもたらした5907号台風などは、深夜上陸台風ではないが高い人命被害度を示す少数の例外である。台風情報の伝達や避難がうまく行われれば、たとえ深夜であっても死

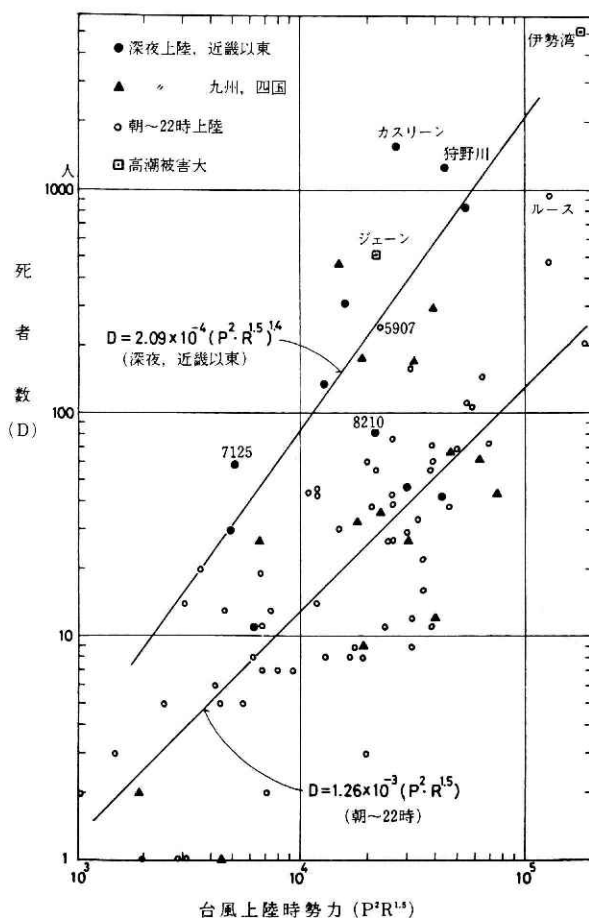


図 8 台風上陸時勢力と死者数との関係 (1946~82, 88台風) P = (1010 - 上陸時中心気圧) mb
R : 最大円形等圧線半径 (km)

者の発生を防ぐことは可能であるから、深夜上陸の台風のすべてについて人命被害度が高くなるというわけのものではないし、またそうあってはならない。図からわかるように、深夜上陸台風の半数は朝～22時上陸の台風と同じ程度の人命被害度を示すが、これらの台風の上陸地点を調べてみると、大部分が九州および四国（黒三角で示した）である。九州、四国は台風常襲地帯であるため、台風に備えるという心構えが住民の意識の中に定着している結果として、人命被害度が低くおさえられているものであろう。九州、四国上陸で人命被害度が高いのは、昭和20年代の台風および主要な被害が九州、四国以外の地域で生じた台風に限られている。

図8中のより急勾配の直線は、近畿以東の地域に深夜に上陸して多数の死者をだした台風に関して求めた回帰直線である。回帰式は図中に示したように、 $P^2 R^{1.5}$ の1.4乗の関数で与えられる。すなわち、深夜の場合、台風の勢力の増大につれて死者数はより加速的に増大する。高潮被害大の台風もこの回帰直線に近い位置にプロットされる。中心気圧960mb、最大円形等圧線半径400kmという中型台風が近畿以東に上陸したとして、それが朝～22時の時間帯であると死者数25人、深夜であると220人という値が回帰式から求められる。このように台風の上陸が深夜になった場合、死者数は昼間の場合に比べ10倍近くにも増大するおそれがある。

人命被害度の時刻による違いをより明瞭に示すために、普通目盛のグラフ上で上陸時刻ごとの人命被害度を示したのが図9である。被害度がとび抜けて高い台風は22時～2時に集中している。ただし、大都市に大高潮災害をひき起こしたジェーン台風と伊勢湾台風、上陸地点から遠く離れた場所で大きな被害が生じたルース台風と洞爺丸台風は除いた。ルース台風および洞爺丸台風でも主被害の発生は深夜である。

図10には台風の上陸時勢力と負傷者数との相関を示した。負傷者の把握の精度はかなり低いためもあってか、データのばらつきはやや大きい。なお、台風の上陸時勢力を表す横軸には、重回帰分析によって得られた $P^{2.8} R^{0.9}$ の値をとった。高潮被害大の台風は負傷者数が非常に大きい。深夜上陸の台風では負傷者数が比較的多いという傾向はみられるが、死者の場合ほど明瞭ではない。なお、夜間では救出、救急活動が遅れて重傷者が死亡するという場合が昼間よりも多くなるという可能性がある。

台風の上陸時勢力と損壊家屋数との相関を図11に示した。重回帰分析を行った結果、上陸時勢力を $P^{4.8} R^{0.5}$ で表す場合に最も高い相関が得られた。中心気圧が低いほど最大風速は大きく、また、損壊家屋数は風速の大きなべき乗に比例することが認められている。このようなことから、Pのべき指数値が大きいという結果になったのものであろう。同じ勢力の台風でも、風が強い場合と雨が強い場合とでは、損壊家屋数に大きな差が生ずるので、データのばらつきはかなり大きい。損壊家屋数が非常に多い台風の大部分は大きな高潮を伴っている。

台風予報とその伝達手段の進歩、避難・防備態勢の向上、社会環境の変化などのために、

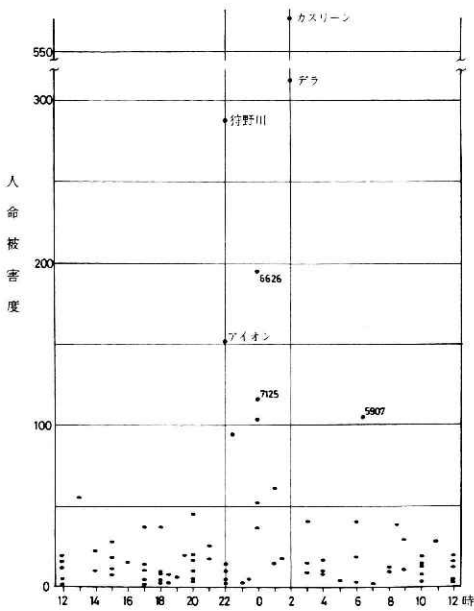


図 9 台風災害の人命被害度($D/P^2 R^{1.5}$)の時刻変化

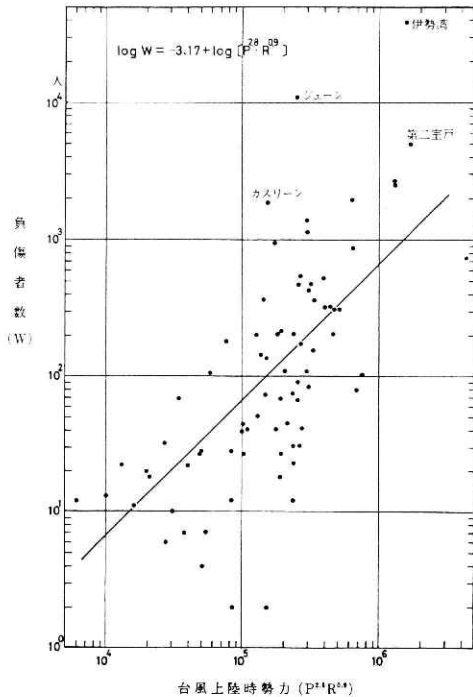


図 10 台風上陸時勢力と負傷者数との関係

被害度は経年的な変化を示す。図12は死者数と台風上陸時勢力 ($P^2 R^{1.5}$) との比で表す人命被害度の経年変化を示したものである。実線は朝～22時上陸の台風についてのもので、長期的傾向を見やすくするために3年移動平均値で示した。人命被害度は1950年代までは高い水準にあったが、1960年が明瞭な転換点となりその後比較的低い水準を保ったままで大きな変化はない。これは最近20年間にもわたって人的被害の軽減という面での進歩は認められないことを示しているともとれる。近畿以東地域に深夜に上陸した台風については、被害度がとび抜けて大きい場合が多いので別に示した。データ数は少ないが、低減傾向は認められる。図8中の朝～22時上陸台風についての回帰式は、全期間の台風を対象として求めたものであるが、これを1959年以前と1960年以降とに分けて求めてみると、回帰係数は59年以前の場合 2.08×10^{-3} 、60年以降では 0.98×10^{-3} となる。すなわち人命被害度は、60年以降ではそれ以前に比べて約半分に低下している。

図13には死者の場合と同様な方法で求めた家屋被害度の経年変化を示した。ところどころに大きなピークは存在するが、長期的な低下傾向は明瞭である。これは建物の質の向上によるところが大きいと思われる。1946～55の10年間と最近10年間(1973～82)とを回帰係数の大きさによって比較すると、被害度が約1/3に低下していることが認められる。

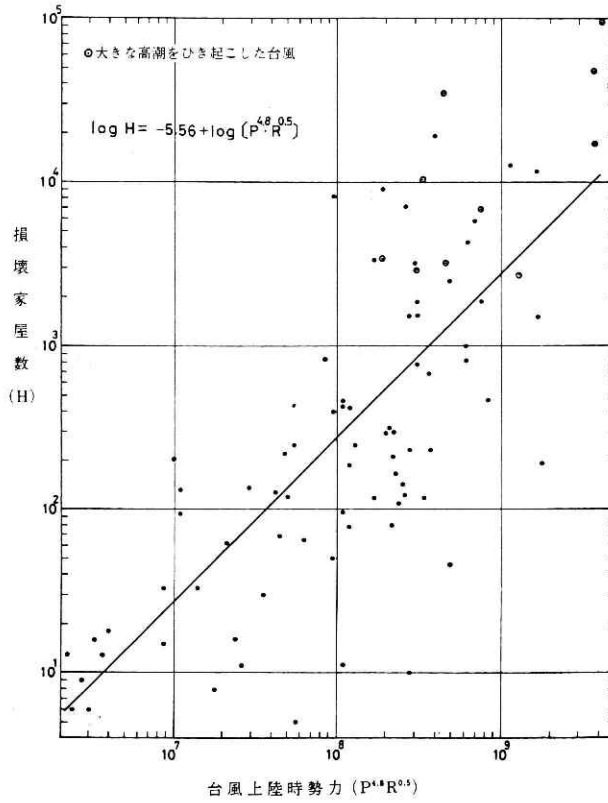


図 11 台風上陸時勢力と損壊家屋数(全壊+半壊×0.5)との関係

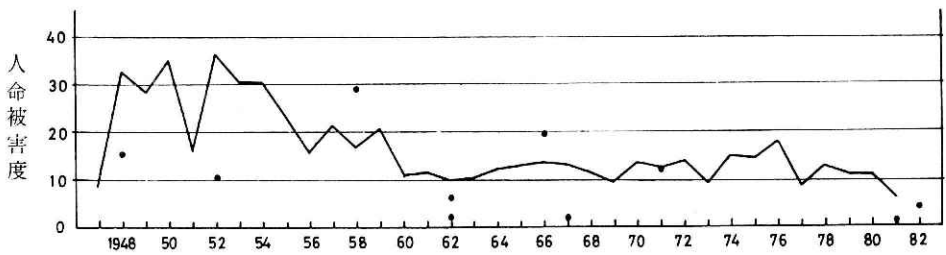


図 12 台風災害の人命被害度 ($D/P^2 R^{1.5}$) の経年変化. 実線は朝~22時上陸台風についての3年移動平均, 黒丸は深夜上陸台風(被害度は10倍)

人的被害の規模に関する要因—水谷

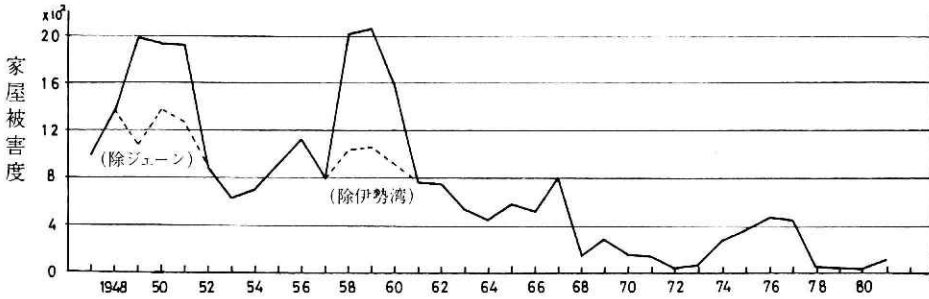


図 13 台風災害の家屋被害度 (H/P⁴⁸R^{0.5}) の経年変化. 全台風についての3年移動平均

4. 洪水災害

大河川下流域における洪水では、氾濫流量や浸水域は大きいものの死者は一般に少ない。多数の死者が生ずる洪水は、山地内谷底低地や山麓部における流速大で多量の土砂・流木を流送するいわば激流洪水である。洪水の強度を示す値としては、水深、流速、流量などがあげられる。これらの物理量と被害高との間には相関関係が存在するはずであるが、その作用域すなわち洪水氾濫域は一般に狭い、とくに激流洪水の場合局地的であるので、相関関係をなかなか見出し難い。

先に述べたように、損壊家屋数は地域の人間・社会に現実作用した加害力の大きさを反映している値であると考えられる。図14、15は1957年諫早水害および1958年狩野川水害について、損壊家屋数と死者数との相関を示したものである。これらは山地内および山麓の谷底低地における激しい洪水による災害で、夜10時以降に発生し多数の死者をだした。諫早水害による長崎県の死者は815人、狩野川水害による静岡県伊豆地方の死者は970人に達した。これらの死者の多くは洪水によるものであるが、山崩れ、土石流によるものもまたかなり含まれる。

家屋の損壊はいうまでもなく全壊、半壊および流失に分類されている（一部破損もあるが被害の程度が軽微なので除外する）。このような家屋被害高を一数値で示す場合、全壊と流失に同じおもみ1をつけ半壊に0.5のおもみをつけて、これらを単純加算して表すのが一般に行われている。しかし、人命に対して現実作用した加害力の大きさを損壊家屋数によって間接的に表現しようとする場合、それぞれに与えるおもみは被害高を表現する場合とは異なってしまうべきものと思われる。たとえば地震の際、半壊家屋内では死者はほとんど発生していない。また、家屋をその場所で破壊する場合とそれを流し去ってしまう場合とでは作用力の強度と質は異なるはずである。そこで流失および半壊に種々のおもみを与えて全壊に

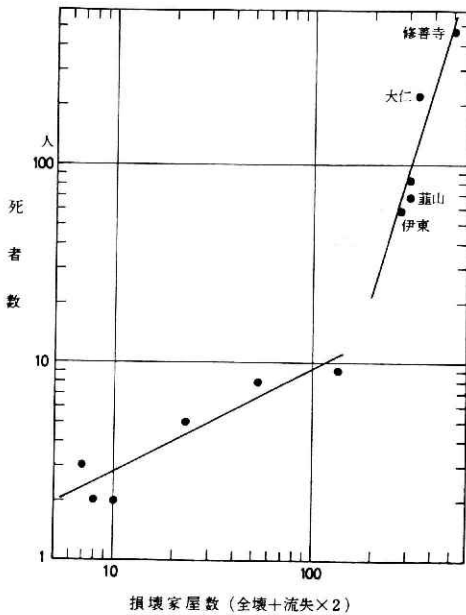


図 14 狩野川水害 (1958) の損壊家屋数と死者数との関係 (市町村単位)

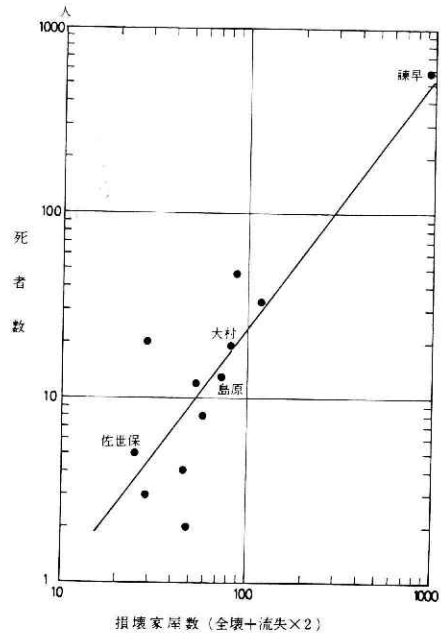


図 15 諫早水害 (1957) の損壊家屋数と死者数との関係 (市町村単位)

加算して得た損壊家屋数と死者数との相関分析を多数回行い、相関係数が最も大きい場合のおもみを求めた。その結果、諫早水害、狩野川水害のように多数の流失家屋が生ずるような激しい洪水では、流失には2のおもみを、半壊には0のおもみ（つまり半壊は無視する）を与えたときに、最も相関が高いという結果が得られた。同様に多数の流失家屋が生じた伊勢湾台風高潮災害の場合でも、流失に2よりもやや大きいおもみを与えたときに相関が高かった。一方、土砂による災害の場合には、全壊と流失に同じおもみを与えるのがよいという結果が得られた。この違いは作用物体が水と土砂という性質が異なるものであるということに起因するものであろう。土砂による災害の場合、全壊程度ですでに十分大きな加害作用を人命に加えているものと推定される。ただしおもみの値が合理的と思われる範囲内（流失で1.5～2.5程度、半壊で0～0.5程度）では、相関係数の違いはわずかである。このような結果に基づき、図15、16では流失数の2倍と全壊数とを加えた値を横軸にとって死者数との相関を示した。

洪水被害の分析は、市町村という行政単位によってではなくて流域という水文単位で行うと、自然要因との関係が求めやすいと考えられる。1953年6月末、九州の北部および中部では梅雨前線の活動により1000mmに達する大雨が降り、筑後川、白川、大分川など多数の河川が氾濫して、1000人近い死者をだすという大きな災害となった。この災害に関しては流域

別の被害集計がなされているので、これを使用して人的被害規模に関係する要因を調べてみる。対象とした流域は図16中に示した。流域面積の最大は筑後川の3000km²，最小は嘉瀬川の300km²である。被害が最も著しかったのは白川流域で、阿蘇山から流出した多量の火山灰を含む氾濫流に襲われた熊本市では死者286人に達した。

まず、洪水の強度を表す水文諸量と、いわば一次的な被害である損壊家屋数との関係を求める。流水のもつ勢力は、流量と流れの場の地形勾配との積によって表すことができる。一般に被害の規模は現象のピークの大きさによって規定されるので、各河川で観測された最大流量を使用することがまず考えられる。また、流量に対応する量を流域内に投入された雨の総量、たとえば流域平均総雨量と流域面積の積の値によって表すと、降雨要因を含めることができ、好都合である。流域の勾配については種々の求め方があるが、最大標高と最小標高の差を河川延長（河道の中小の屈曲は除く）で割った値（起伏比）によるのが最も簡便である。このようにして表した洪水の強度がいくら大きなものであっても、被災対象がなければ被害は生じない。そこで流域平均住家密度を被害ポテンシャル要因としてとり入れることにする。

図16は流域平均総雨量、流域面積および起伏比の3者の積で表す洪水現象の強度値と流域

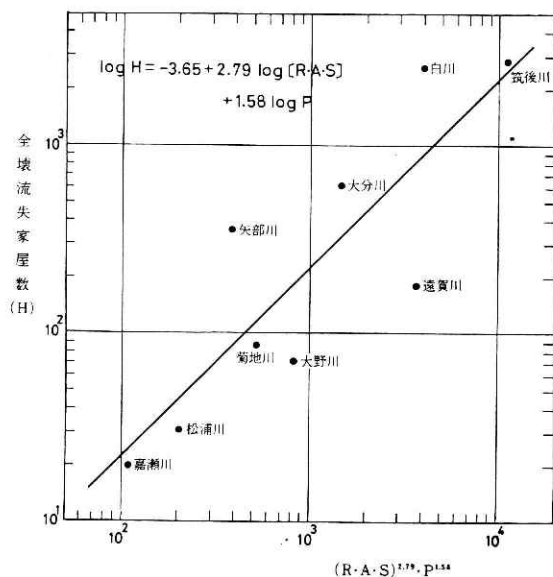


図 16 西日本水害（1953）における洪水強度要因、被害ポテンシャル要因と損壊家屋数との関係1)
 （流域単位）R：流域平均総雨量（mm），A：流域面積（km²），S：起伏比，P：住家密度（km⁻²）

平均住家密度との2変数を説明変数とし、損壊家屋（全壊+流失）数を目的変数として重回帰分析を行った結果を示すものである。図17は最大流量と起伏比の積および流域平均住家密度を説明変数とした場合のものである。いずれも高度に有意な相関が認められる。このようにして求められた損壊家屋数を死者数に結びつけるためには、図18に示した相関関係が利用できる。これらの回帰式は、データの精度や対象流域の特性などのため、一般的な適用性をもつものではない。しかし、ここにあげられた外力規模要因や被害ポテンシャル要因、その求め方に検討の余地はあるものの、が人的被害の規模に関係しているということは一般に認められることであろう。

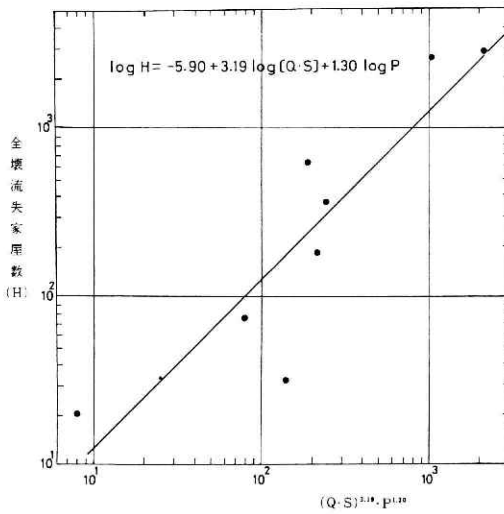


図 17 西日本水害における洪水強度要因、被害ポテンシャル要因と損壊家屋数との関係(2) (流域単位)。
Q：最大流量 (m³/sec)，
S：起伏比， P：住家密度 (km⁻²)

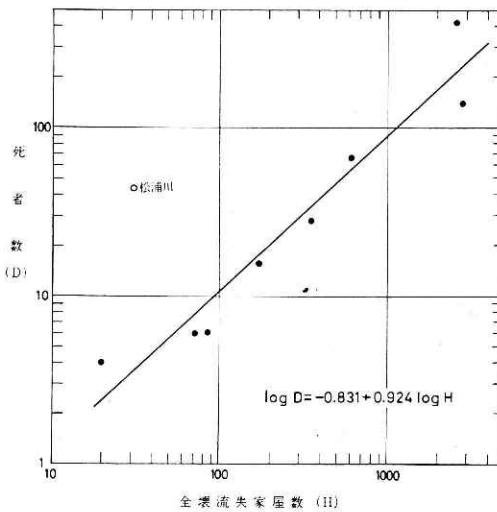


図 18 西日本水害の損壊家屋数と死者数との関係 (流域単位)

5. 高潮・強風災害

1959年9月26日夜来襲した伊勢湾台風は、死者5000人を越すという大災害をひき起こした。被害が最も大きかったのは愛知県で、死者3260人にも達した。その大部分は伊勢湾に発生した高潮によるものである。内陸部では強風および土砂による災害も発生した。ここでは愛知県下市区町村の被害データ（市町村の報告による）を使用して、災害の種類および地理的位置による人的被害度の差を求める。

図19、21には、高潮被害をうけた沿岸部市区町村と内陸部の市区町村に分けて、損壊家屋数と死者数との相関を示した。損壊家屋数としては、回帰分析結果に基づき洪水災害の場合と同じように、流失数の2倍と全壊数との和を使用した。高潮被害地区について示した図19では死者数の規模および被害度が共に大きいグループが明瞭に識別できる。これらの市区町村は、半田市を唯一の例外として、伊勢湾の湾奥の沿岸部に位置しているので、高潮の直撃をうけて大きな被害が生じた。広くて低平な三角州や干拓地であるため避難用の自然の高地はなく、また、高潮の来襲が夜9時半という遅い時刻であったため、被害度も高かった。半

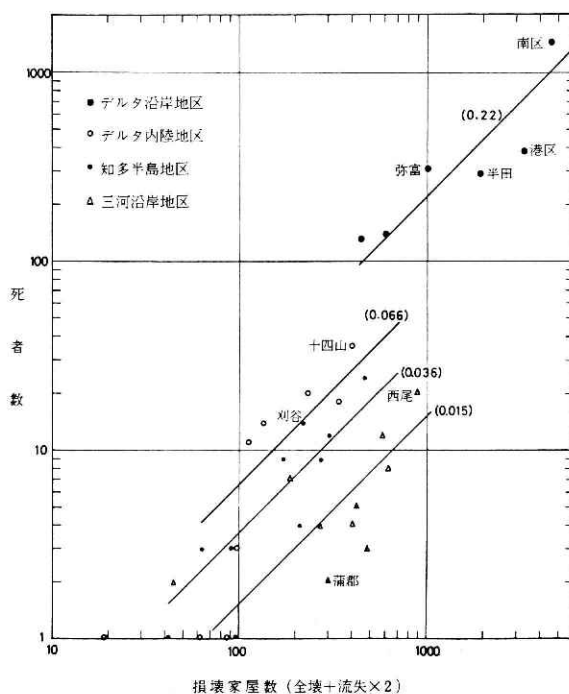


図 19 伊勢湾台風災害の損壊家屋数と死者数との関係（愛知県下高潮被害地区，市区町村単位）

田市は知多湾に面する海岸平野に位置する。ここは6年前にも13号台風による高潮の被害を被っているが、そのときも人的被害度は異常に高かった。

濃尾平野南部には日本最大の0メートル地帯が広がっている。このため高潮は内陸深く侵入し、海岸線から20 km のところにまでも達した。図19では、直接海岸には面していない内陸にあって高潮による浸水を被った市区町村を白丸で示した。沿岸地区に比べ被害規模、被害度ともに一段と小さい。知多半島および三河湾沿岸部も、潮位は伊勢湾奥に比べ1～2 m 低かったものの、高潮の被害を被った。ここは山地・丘陵がすぐ背後に連なる海岸平野からなる地域である。このグループについては、知多半島地区と三河沿岸地区とに分けて図示した。各地区の境界は図20に示した。データにかなりのばらつきはあるものの、両地区の人命被害度の差は明瞭である。知多半島東岸も含む三河湾沿岸域は、1953年の13号台風による高潮によって大きな被害を被ったが、その被災経験が人命被害の軽減に生かされたものと思われる。

これら各グループの人命被害度の差を量的に示すために、先に示した風水害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式の設定数項の値 (10^A) を求め、図中に示した。各グループのデータの分布からみて、勾配1の回帰直線はさほど無理なくひけるで

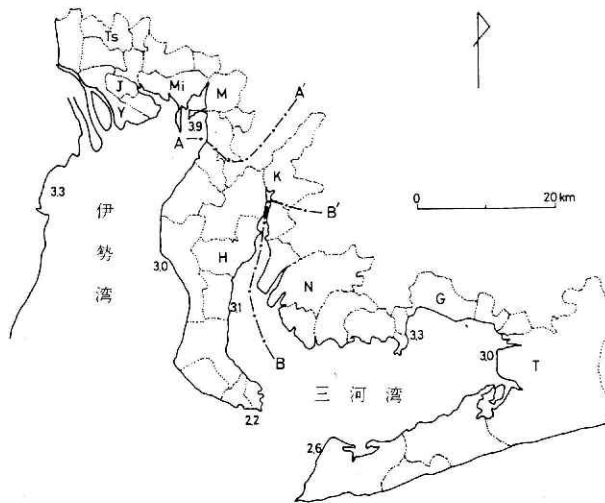


図 20 伊勢湾台風の高潮により被災した愛知県下市区町村の位置図。A—A'：伊勢湾奥デルタ地区の南限，B—B'：知多半島地区と三河地区の境界。数字は最高潮位 (m)。Ts：津島市，J：十四山村，Y：弥富町，Mi：名古屋市港区，M：名古屋市南区，K：刈谷市，H：半田市，N：西尾市，G：蒲郡市，T：豊橋市

あろう。これの比較によると、デルタ沿岸地区はデルタ内陸地区の約3倍の被害度を示すことになる。また、三河沿岸地区は知多半島地区に比べ1/2.5、伊勢湾奥デルタ沿岸地区に比べ1/15という低い人命被害度を示す。なお、知多半島南部の町村の被害度は三河沿岸地区と同程度に低い。地形条件や地理的位置の違い、災害経験の有無などによって、人命被害度にはこのような大きな差が生ずる可能性がある。各種災害情報の伝達や避難の指示は行政の重要な防災任務であるが、それをうけた多数の地域住民が実際に避難行動をおこし、かつそれが効果的に遂行されるか否かはまた別の問題である。

13号台風のときの被害データは、図が繁雑になるため図示しなかったが、三河沿岸地区と知多半島地区のほぼ中間にプロットされる。1950年に大阪市はジェーン台風による高潮によって広範囲に浸水し、大きな被害が生じた。このとき沿岸部にあって高潮の直撃をうけた区の被害データは、デルタ内陸地区とほぼ同じ被害度の位置にプロットされる。なお、これら2台風による高潮の発生は昼間であった。

図21は高潮被害をうけなかった内陸市区町村についての損壊家屋数と死者数との関係を示すものである。これらの市区町村の被害内容をみると、全壊、半壊は多いが流失はなく浸水はあっても少ないことからみて、死者は強風によって生じたものと判断される。このときの

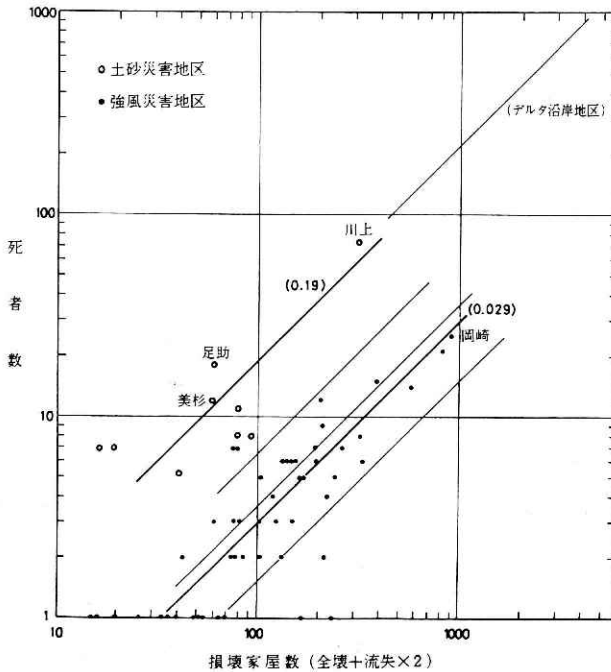


図 21 伊勢湾台風災害の損壊家屋数と死者数との関係（強風，土砂災害地区，市区町村単位）

最大瞬間風速は愛知県の内陸域で40~60m/secに達した。黒丸で示したこれら強風被害地区のデータは、ほぼ勾配1の回帰直線で表される分布を示す。行方不明者や流失家屋があることから土砂災害が発生したものと判断される三河山内3町村のデータは、人命被害度とくに高い位置にプロットされる。伊勢湾台風時には、奈良県および三重県の山地内でも山崩れ、土石流による被害が発生した。奈良県の川上村では死者が72人にも達した。土砂災害地区のデータを増やすために、この両県の主要被災町村も対象にして図示した。

各被災地区群間の比較を行いやすくするために、図21にはすべての回帰直線(勾配1)を重ねて示した。土砂災害地区はデルタ沿岸高潮地区に匹敵する大きさの被害度を示す。ただし、被害の規模はかなり小さい。強風被害地区の被害度は、知多半島高潮地区よりもやや小さい。沿岸域では風速は大きいので、高潮地区と分類した市区町村の被害の中には、強風によるものも含まれているはずである。三河沿岸地区では被害度が内陸の強風被害地区の半分であることからみて、高潮だけに限ってみれば人命の被害度は非常に小さかったものと推定される。

高潮や洪水では、水深が外力規模を表す主要な指標となる。伊勢湾台風による高潮浸水域は三角州域において広範囲にわたったので、ほぼ全域が水没した区町村がある。このような場合、平均浸水深を求めこれを区町村の被害と対応させて、両者の相関関係を得ることが可能である。図22は市区町村単位での平均浸水深と死者率との関係を示したものである。伊勢湾台風による高潮浸水地区(三重県の2町村を含む)は上方の丸印で示した。平均浸水深は浸水深分布図を使用して求めた。蟹江町と南区を除き明瞭な直線相関が認められ、死者率は浸水深の指数関数で表されることがわかる。名古屋市の南区では、臨海貯木場から流出した大量の木材により多数の死者がでた。南区の平均浸水深は1.7mであるが、この場合の死者率を回帰式によって求め、ついでそれを死者数に直して実際の死者数との差を求めると-1000人となる。これは木材流出による死者増加分にほぼ対応すると考えられる。名古屋港周辺の貯木場から流出した木材は約2000トン、流出距離の最大は3.5kmにも達し、これによる死者は約1500人という報告もある。蟹江町は全面浸水したが、内陸に位置するので水位上昇速度や流速は小さくて、死者率は沿岸地区に比べて一段と低かった。

山地内谷底低地や山麓部における河川洪水の場合、一つの町や村が全域浸水するということは稀である。狩野川水害時に韭山村は、集落が少ない山地部を除き、低地部が全面浸水した。また伊東市は、海に面した小谷底低地に位置する中心市街地が、ほぼ全面浸水した。この2市村についても平均浸水深と死者率を求めて図中に示したが、伊勢湾台風についての回帰直線にきわめて近い位置にプロットされている。なお、伊東市の死者率は人口集中地区(D I D)の人口を使用して求めた。諫早水害時に諫早市中心市街地は広範囲に浸水した。このときの最大浸水深は3.5mであるので、低平な干拓地に接続しており河川沿いがかえって高いという地盤高分布に基づき、平均浸水深を2~2.5mと推定して、参考までに図中に

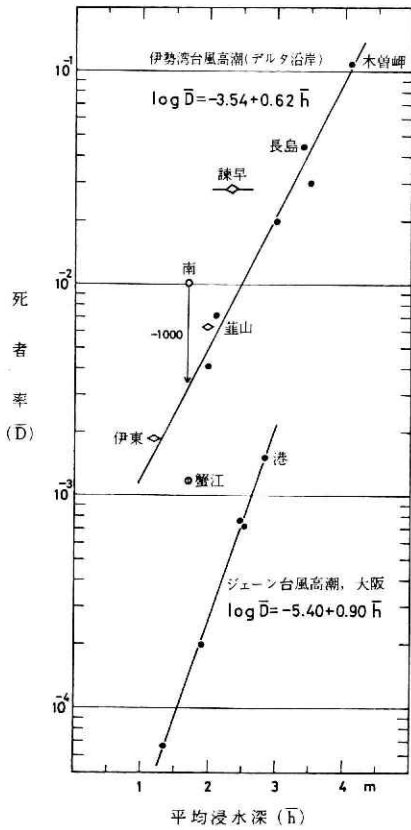


図 22 高潮、洪水災害における平均浸水深と死者率との関係（市区町村単位）

示した。激流洪水の場合、流速は大きくかつ土石・流木を含んでいるので、浸水深だけでは外力規模を表すことができない。

ジェーン台風による高潮によって浸水した大阪市臨港部の区についても、平均浸水深（大阪市の調査による）と死者率との関係を、図22中に示した。浸水面積率80%以上の区に限ってみると、図のようにほぼ完全な直線相関が認められる。その死者率は伊勢湾台風のそれに比べ一桁小さい。ジェーン台風災害があった1950年は敗戦後まもないときで、各種の防災対策はまだ非常に不十分であったであろう。しかしこのように大きな差が生じていることの一つの理由として、災害発生時刻があげられる。ジェーン台風による高潮の発生は午後1時ごろであったのに対し、伊勢湾台風のそれは夜9時半であった。また狩野川水害、諫早水害も夜10～11時のことであった。状況の把握、情報の伝達、避難の実行、救出活動等に関して、昼間と深夜とはかなりの差が生じ、その結果が死者率の大きな違いとして現れる可能性が強い。

6. 土砂災害

図23は1953年8月の南山城土砂災害によって被災した京都府下の町村について、損壊家屋数と死者数の関係を示すものである。回帰分析の結果では、流失と全壊と同じおもみを与えたときに最も高い相関が得られた。回帰直線の勾配は他の災害と同じように1よりもやや大きい。土砂災害では外力規模を適切に表す物理量は得がたいが、このように損壊家屋数と人的被害との相関は認められるので、この関係を利用して人的被害の大きさにかかわる要因を調べてみる。

1965～1982の期間に発生した主な山崩れ、土石流災害について、全壊・流失数と半壊数の1/2の和で表す損壊家屋数と死者数との関係を示したのが図24である。土砂の衝撃力は強大であって、半壊程度の被害の場合でも人命に対する加害力は大きいものと考えて、半壊に0.5のおもみを与えた。なお地震災害の場合には、半壊に0.2のおもみを与えると相関が最も高いという結果が得られた。一般に市町村の調査による被災家屋数は、警察調査のそれに比べ多く、ときには2倍以上にもなっている。ここでは多数の災害事例を比較対象とするのでデータの均質性を得るために、また、データが入手しやすいということのために、統一した基

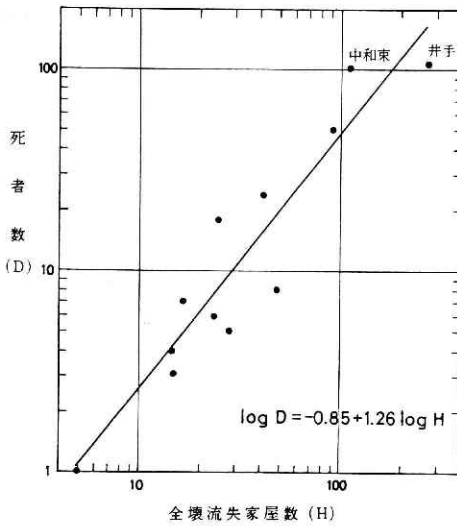


図 23 南山城災害（1953）の損壊家屋数と死者数との関係（町村単位）

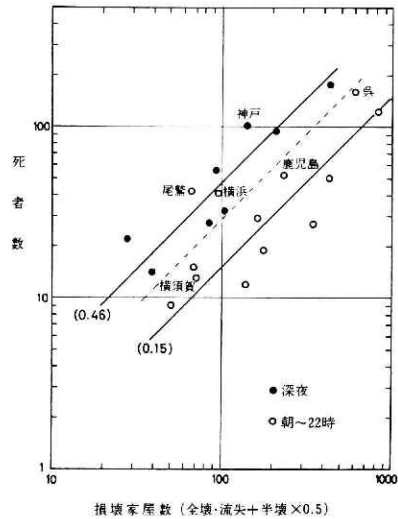


図 24 山崩れ、土石流災害（1965～82）における損壊家屋数と死者数との関係（警察調査による県単位の被害高）

準に基づく警察調べの都道府県集計値を使用する。したがってここで示すのは、あくまでも警察調査の都道府県被害高に基づく結果である。

図24では、夜10時以降という深夜に発生した災害はすべて人命被害度が高く、一方人命被害度が低いのはすべて朝～夜10時の時間帯に発生した災害であるということが明瞭に示されている。勾配1の回帰直線の回帰定数の比較によると、深夜の事例は朝～夜10時の事例（被害度が深夜なみに高い2災害を除く）に比べ、被害度が3倍も高いという結果になる。都市における災害は山村における災害に比べて被害度が高いという傾向もまた認められる。損壊家屋数と負傷者数との相関は図25に示した。時刻による差はあまり明瞭でないが、被害度が高い位置にプロットされているのは深夜の事例であるということは認められる。

山地地域に大雨が降れば、山崩れ・土石流による被害と共に河川の大規模な氾濫による被害が生ずることは多い。洪水災害では土砂災害に比べ損壊家屋数が相対的に多いのが通常である。そこで、1953年南近畿水害、1967年羽越水害、1982年長崎水害などのような、山崩れ・土石流と谷底低地における大規模な氾濫とが複合した災害については別に図26に示した。

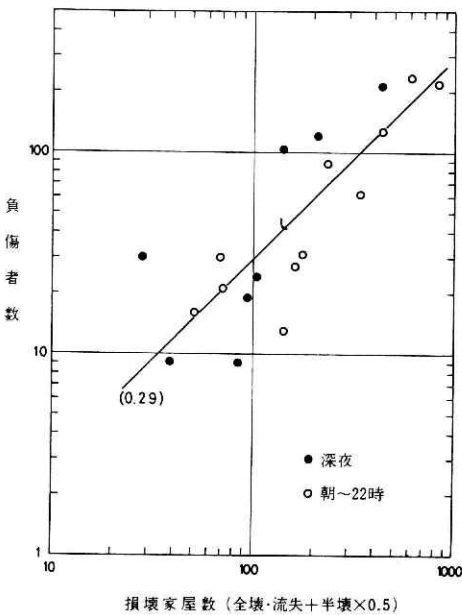


図 25 山崩れ、土石流災害(1965～82)における損壊家屋数と負傷者数との関係
(警察調査による県単位の被害高)

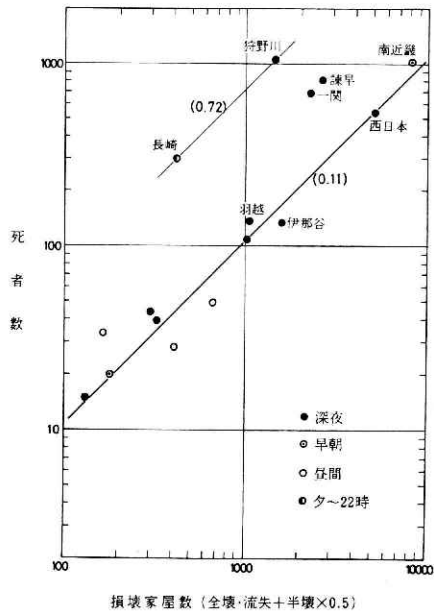


図 26 洪水と山崩れ・土石流の複合災害(1948～1982)における損壊家屋数と死者数との関係
(警察調査による県単位の被害高)

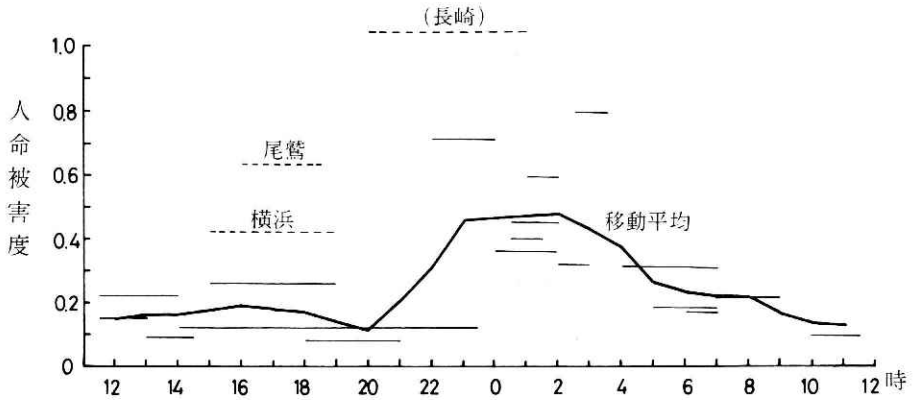


図 27 土砂災害の人命被害度（死者数/損壊家屋数）の時刻変化

図25にあげた土砂災害は、河川の氾濫は生じていても、それによる死者はなくまた家屋の損壊も少なかった災害である。図26において、大部分の災害事例は同一の回帰直線の周辺に分布する。つまり被害度はほぼ同じ大きさである。ただしこれらから大きくはずれる災害例もあって、狩野川水害と長崎水害は被害度が6.5倍も大きい。住民の危険意識や防備態勢の程度によっては、人的被害がこのように大きく拡大する可能性がある。

土砂災害の人命被害度の時刻による変化を示したのが図27である。22時～4時のいわば深夜の時間帯に被害度のピークがあることが明瞭に認められる。

参 考 文 献

- 1) 愛知県 (1970) : 愛知県災害誌. 548 pp.
- 2) 科学技術庁資源調査会 (1960) : 伊勢湾台風災害調査報告. 資源調査会報告第17号, 付属資料 I, 162 pp.
- 3) 神奈川県 (1971) : 神奈川県気象災害誌. 296 pp.
- 4) 建設省国土地理院 (1968) : 土地条件調査報告書 (中京地域). 166 pp.
- 5) 水谷武司 (1968) : 日本の自然災害の諸特性. 国立防災科学技術センター研究速報, 10, 1—30.
- 6) 水谷武司 (1976) : 災害時における避難の難易差の反映としての人命被害度の時刻差および地域差. 国立防災科学技術センター研究報告, 13, 1—14.
- 7) 水谷武司 (1980) : 自然災害における外力と被害との関係およびその関係を変化させる要因について. 総合都市研究, 11, 9—18.
- 8) 日本気象協会 (1970) : 1940～1970台風経路図30年集. 139 pp.
- 9) 大阪府・大阪市 (1960) : 西大阪高潮対策事業誌. 501 pp.
- 10) 静岡県 (1962) : 狩野川台風災害誌. 259 pp.
- 11) 高橋浩一郎 (1954) : 日本の風水害について. 予報研究ノート, 5, 312—340.
- 12) 全国防災協会 (1965) : わが国の災害誌. 1139pp.

(1983年6月29日 原稿受理)