総合都市研究　第38号　1989

地震による死者・負傷者の予測

1．はじめに
2．死　者
3．負傷者
4．おわりに

塩　野　計　司*
小　坂　俊　吉*

要　約

はじめに，災害対策の具体的な展開に寄与するためには，どのような方針で死者・負傷者の予測を行う必要があるのかを考察し，死者数については，原因べつに予測することの重要性を，負傷者数については，負傷程度べつに予測することの重要性を指摘した。つぎに，原因べつの死者数と負傷程度べつの負傷者数を予測する方法を，最近の調査例や研究成果のなかから選んで紹介した。死亡事故の原因には，木造建物の倒壊・地震火災・地震水害・ブロック塀の倒壊を取り上げた。負傷者の発生率を，医師による治療が必要なもの（受診患者）と入院が必要なもの（入院患者）に分けて予測する方法を提案した。

1．はじめに

防災対策の第一義的な目的は，住民の生命・身体の保譲にある。人の死は，取り返しがつかない。負傷者の苦痛は，何によっても補えない。

人の死は，悲しみの原因であるに止まらない。家族の一員をおそった不測の死は，その家族の将来に，さまざまな影響をもたらす。組織を指導する立場にあった人の死は，その組織の維持や発展のうえで，いちじるしく不利な要因になる。

死亡事故は，事故の性格と影響の重大さゆえに，徹底的に防止する必要がある。これを震災対策上の課題としてみれば，事故の原因を予防的に除去するという問題に帰着する。死亡事故の原因になる破壊事象が特定できれば，それを防止するための具体的な施策を展開することができる。破壊が予測される施設の補強や撤去，変状の発生が予測される地形の安定化などが考えられる。

原因の除去という形で防災対策を展開しようとすれば，その前提になる被害想定（死者数の予測）は，つぎのような方針で行う必要がある：

1）死亡事故の原因になる災害事象（物的被害）の種類を明らかにすること

2）原因べつに死者数を予測すること

上記の1）によって，予防的に除去すべき災害事象の種類を並列的に示すことができる。上記の2）によって，対策項目べつの重要性を，死者数の多いものから少ないものへの順序として示すことができる。必要な対策項目のすべてを提示するとともに，対策項目ごとの優先性を示唆することができる。上記の1）2）の方針で行われた被害想定の結果は，事故原因の予防的な除去を段階的に達成するための基礎資料として，実現性の高い政策の展開に寄与する。

＊東京都立大学都市研究センター・工学部

負傷事故には，死亡事故とは違った意味での重大さがある。負傷者には，適切な治療が受けられなかった場合に，症状の悪化をまねくという危機的な状況がある。症状の悪化が進めば，犠牲者が死亡することもありうる。

このような状況が適切に処理されるためには，緊急医療体制が的確に機能する必要がある。予防対策の一環として，緊急医療体制を整備・充実することが要請される。負傷者を効率よく措置できるような体制を準備し，危急の際の混乱を最小限に食い止めることによって，危機的な状況の発生を回避することが重要である。

今日，都市の生活空間には，地震のさいの負傷原因になるものが，きわめて多い。負傷事故は，死亡事故の原因にはなりえないような小さな異変によっても発生する。たとえば，家具などの屋内器物の落下・転倒は，どこにでも発生し，負傷の原因になる。このような原因による負傷者のなかにも，入院や長期の通院を必要とするものが少なくない。

負傷事故の原因になる事象は，死亡事故の場合と比べ，種類も多様であり，件数も格段に多い。その全てを予防的に排除することは難しい。負傷者が一人も発生しないような環境の実現は，今日の都市構造のもとでは，事実上，不可能である。負傷者への対応は，その発生を予防するための施策もさることながら，緊急医療体制の整備にもとづく，応急対策計画の充実を重点事項として展開する必要がある。

緊急医療体制を整備するさいの目標は，負傷者数を予測することによって設定できる。負傷者数の予測は，地震時における医療機関への負荷を明らかにするという目的のもとに行われる必要がある。

負傷者数が，医師の治療を受ける形態には，つぎの2通りがある：

1）入院する。

2）通院する。

医療機関にとって，一人の入院患者を措置することは，一人の通院患者を措置することに比べ，著しく大きな負担になる。患者を入院させるためには，ベッドを用意し，患者数に見合った看護体制を整える必要がある。入院を要するほどの負傷であれば，その治療には，高い水準の医療が必要になる。入院患者を受け入れることによる負担は，通院患者だけを措置する場合とは，質的にも異なる。

一方，入院を要しないとしても，医師による治療を必要とする負傷者の数は，きわめて多い。受診患者の大量発生という事態は，入院患者の収容とはべつな形をとって，医療機関への負荷を発生させる。医療機関では，限られた時間のうちに，大量の負傷者を措置しなければならない。医療を求める大量の負傷者が，長い時間にわたって放置されるような事態は，回避する必要がある。

医療機関への負荷を知るためには，つぎのような分類で，負傷者数を予測することが望ましい：

1）入院を必要とするもの（入院患者）

2）医師による診療を必要とするもの（受診患者）

以上，防災対策との関連を重視しつつ，人的被害の予測に関する問題点について考えてきた。死者数と負傷者数の予測は，それぞれに，つぎのような点を考慮して行う必要がある：

1）死者：死者の発生は徹底的に防止すべきである。この観点から，死者数を原因べつに予測し，事故原因を予防的に排除することを目的とした防災対策の展開に寄与することが重要である。

2）負傷者：今日の都市環境のもとでは，負傷者の発生をことごとく回避することはできない。この認識から，負傷程度べつの負傷者数を予測し，医療機関への負荷を明らかにすることによって，緊急医療体制の整備に寄与することが重要である。

この報告では，原因を考慮した死者数の予測方法，負傷程度を考慮した負傷者数の予測方法について述べた。

2．死　者

2．1　原因の概観

東京都防災会議（1985）は，死亡事故の主な原因として，つぎのような事象に注目した：

1）建物の破損・倒壊
2）崖・擁壁の崩壊
3）ブロック塀・石塀・門柱の倒壊
4）落下物
5）地震火災
6）地震水害
7）ショック
8）有毒ガス

これ以外にも，いくつかの原因が思い当たる。たとえば，高密度な市街地でのパニック，鉄道事故，自動車事故などである。

過去の被害想定でも，上記のような原因の分析は行われてきた。しかし，結果的には，死者の総数が算定されるに止まった。原因を特定したうえで死者数が算定された例としては，東京都防災会議（1978）による地震水害の場合と，東京都防災会議（1985）によるブロック塀等の場合があるに過ぎない。

この報告では，既往の被害想定と，筆者らの最近の研究成果のなかから，原因べつの死者数を予測する方法を選んで紹介した。ここでは，つぎのような原因を取り上げた：

1）木造建物の倒壊
2）地震火災
3）地震水害
4）ブロック塀等の倒壊

これ以外の原因については，現在なお，これといった予測手法が見当たらない。適当な被害データ（原因になる事象の発生件数と死者数の関係）がないために，原因べつの死者数を予測する方法の開発は難しい。

この節の始めに示した原因のなかには，事故の発生確率が低いにもかかわらず，事故が起きたときは，死者が大量発生するようなもの（Low-Probability/High-Sequence Events）が含まれている。有毒ガスの流出やパニックなどがこれにあたる。このような原因の場合には，事故原因の発生件数の違いによって，死者数が大幅に変動するために，被害の平均像を描くことが難しい。被害量の記述は，原因になる事象の発生確率を考慮したものにならざるを得ない。現在のところ，事故の発生確率を考慮して，死者数を予測した例はない。

2．2　木造建物の倒壊

木造建物の倒壊件数を説明変数として，死者数を予測する試みは，旧くから行われてきた。このような取り扱いのなかでは，木造建物の倒壊件数は，事故の件数を示すものとしてではなく，地震被害の大きさを測る一般的な尺度として使われていた。倒壊した建物で圧死した人ばかりではなく，焼死した人も含めて死者数を算定し，建物の倒壊件数との関係が調べられた。

筆者らは，建物の倒壊による圧死者だけを予測するために，1923年関東地震の被害データ（市区町村べつの全壊家屋数・焼失家屋数・流出家屋数・死者数）を分析した。

建物倒壊による死者についてだけ考えるために，つぎのような市区町村だけを選んで分析した：

1）焼失家屋がない（火災の影響を除去）
2）流出家屋がない（津波の影響を除去）

崖くずれなどの地変による事故の影響を調べるために，建物の全壊棟数と死者の関係を地形ごとに求め，山地とそれ以外の地形について比べてみた。全壊棟数と死者の関係には，山地とそれ以外の地形のあいだに，差がみられなかった。これによって，崖くずれなどによる死者の数は，あまり多くないものと判断した。ただし，土砂災害によって大きな被害が発生したことがわかる市町村については，そのデータを使わないようにした。たとえば，山津波によって多数の死者が出たことがわかっている片浦村（根府川）のデータは，この理由で取り除いた。

市区町村ごとの全壊棟数と死者数の関係は，図1のようになり，全壊棟数を説明変量とする死者数の回帰式はつぎのように求められた（図中の実線）：

$$D=0.0933\times H^{0.938} \quad \cdots\cdots\cdots\

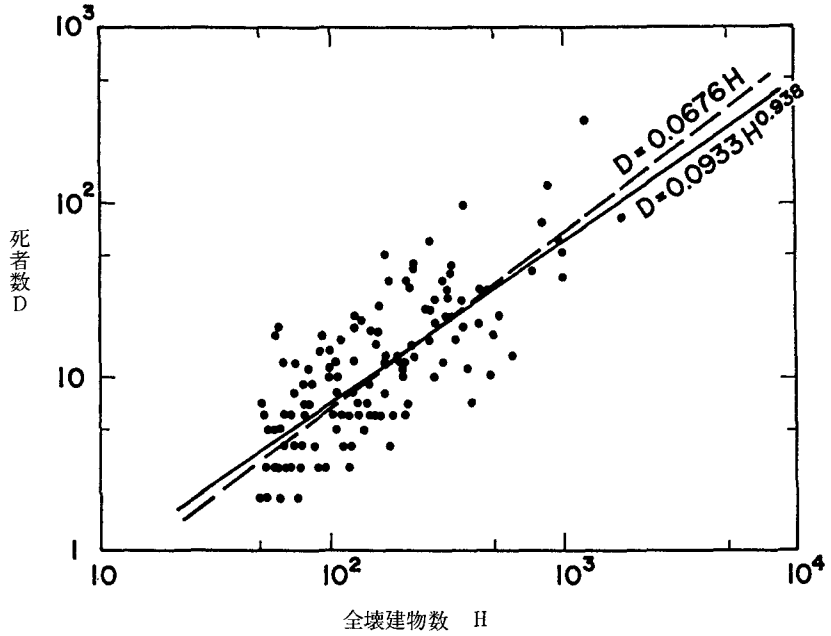

図1　木造建物の全壊棟数と死者数の関係;1923年関東地震の市区町村べつ被害記録による

〔$\log_{10}$（死者数／全壊棟数）〕をとって調べると，データの分布は，正規分布（$\mu=-1.17$；$\sigma=0.28$）とみなせるものになった。比の対数を平均値で代表させると，つぎのような関係が得られた：

$$D=0.0670\times H \quad \cdots\cdots\text{(ii)}$$

式(ii)が表す関係を，図1に破線で示した。式(i)と式(ii)が，ほとんど同じ内容を持っていることが確かめられた。式(ii)のような簡潔な表現でも，木造建物の倒壊による死者数を予測できることが分かった。式(ii)は，100棟の建物の全壊に対し，約7人の死者が発生することを示している。

式(i)や(ii)によって，死者数を予測する場合，1923年関東地震の当時の「全壊」と，現在の「全壊」の違いに注意する必要がある。建物が「全壊」したときの，人間へのインパクトの大きさに違いがある。これによる影響は，太田・他（1983）による死者の予測式のなかで具体的に示された。

太田・他（1983）は，明治以後の被害地震のうち，死者の発生が数名を超えたもの35個（地震ごとのデータ）を資料としてつぎのような経験式を導いた：

$$D=1.45H^{0.93}\times\left\{\begin{array}{l}1.00\ (\text{大規模})\\0.34\ (\text{中規模})\\0.12\ (\text{小規模}\sim\text{なし})\end{array}\right\}\text{火災}\times\left\{\begin{array}{l}1.00\ (\text{夜})\\0.73\ (\text{昼})\end{array}\right\}\text{時間帯}\times\left\{\begin{array}{l}1.00\ (1930\text{以前})\\0.96\ (1930\sim1955)\\0.22\ (1955\text{以降})\end{array}\right\}\text{時代}\quad\cdots\cdots\text{(iii)}$$

ただし，

D：死者数（人）

H：全壊建物数（棟）

この式によって，1955年以降の地震による死者数は，1930以前の地震による死者数のおよそ1／5に減ったことが分かる（同じ全壊棟数・火災規模・発生時間帯に対して）。建物の「全壊」のインパクトが小さくなったことを示している。この理由には，つぎの2つが考えられる：

1）建物の質（ねばり強さ）の向上によって，屋内の空間を残さないような破壊が発生しにくくなった。

2）被害の判定が，倒壊を「全壊」とする見方

から，修理不能を「全壊」とする見方に移ったために，低いレベルの破壊（屋内の空間を残す）でも「全壊」と判定されるようになった。

太田・他（1983）の予測式を参考にして，式(i)と(ii)で求められる死者数を0.22倍し，時代（「全壊」の態様と定義）の違いの影響を補正した：

$D=0.22\times0.0938\times H^{0.938}$

$\therefore D=0.0206\times H^{0.938}$ ……(iv)

$D=0.22\times0.0676\times H$

$\therefore D=0.0149\times H$ ……(v)

なお，太田・他（1983）の式は，つぎの条件のもとでは，式(vi)のように書ける：

1）火災規模：小規模～なし

2）時間帯：昼

3）時代：1955年以降

$D=1.45H^{0.93}\times0.12\times0.73\times0.22$

$\therefore D=0.0279\times H^{0.93}$ ……(vi)

式(iv)，(v)，(vi)が表す倒壊家屋数と死者数の関係を，図2に示した。図2では，式(iv)を③で，式(v)を②で示した。どの式も，地震が昼間に発生した場合の，建物倒壊による死者数を予測するものである。太田・他（1983）の式が，やや大きめの値を与える傾向が見られた。太田・他（1983）の式が，火災が発生した場合（ただし，焼失棟数≦0.1×全壊建物数）を含んだ実験式になっていることが影響したためと考えられる。なお，図2に示された①の関係（小規模の火災が発生した場合）については，つぎの節〔2．3〕で説明した。

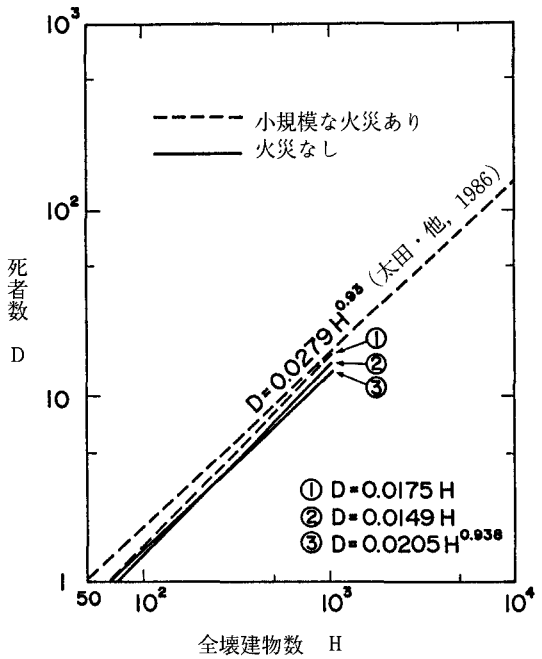

図2　木造建物の倒壊による死者数の予測式

2．3　火災の影響

火災の影響を考慮して，死者数を予測した例の一つに，東京都防災会議（1978）の調査がある。建物の倒壊や崖の崩壊による死者のほか，火災による死者も含めて予測するために，つぎのような経験式が導かれた：

$\log_{10}y=0.95987\log_{10}x-1.02912$

ただし，

y：死者数（人）

x：補正被害棟数

ここに，

x＝全壊棟数＋0.5×半壊棟数＋焼失棟数（全焼）

この被害想定では，補正被害棟数を説明変数とした予測式のほかに，全壊棟数・「全壊棟数＋0.5半壊棟数」・「全焼＋半焼」を説明変数とした式も導かれた。それらのなかでは，補正被害棟数を説明変量にしたものが，最も高い相関係数を持ち，予測式として最適であると判断された。

焼失棟数を考慮した回帰式がよい結果を与えたことによって，火災の影響が強いことが示唆された。しかし，倒壊と焼失をまとめて，一つの説明変数にしたために，圧死者と焼死者を分けて予測することはできなかった。

太田・他（1983）によって導かれた経験式では，死者数に及ぼす火災の影響が，より具体的に示された。式(iii)〔2．2節〕に示されるように，火災規模が大きな場合（焼失棟数≧全壊棟数）の死者数は，火災規模が小さな場合（焼失棟数＜0.1×全壊棟数）にくらべ，8倍ちかく増加した（他の条件が同じとき）。

東京都防災会議（1985）の被害想定では，火災の有無によって場合わけされた2つの経験式を使うことによって，火災の影響が考慮された。資料

には，1923年関東地震の被害データ（市区町村べつ;建物被害率が５％以下の市区町村のみ）が用いられた。死者数の予測は，つぎの式によって行われた：

$P_1=0.093X^{0.749}Y^{0.179}$

$P_2=0.059X^{0.764}$

ただし，

P_1：延焼火災が発生する地域での死者数

P_2：延焼火災が発生しない地域での死者数

X：被害家屋数（全壊＋0.5半壊）

Y：焼失家屋数

筆者らは，この予測式によって被害家屋数100～1,000，焼失家屋数100～1,000の範囲で，死者数を計算してみた。延焼火災が発生した場合の死者数と，延焼火災が発生しない場合の死者数の比（火災あり／火災なし）は，３～５の範囲で求まった。

太田・他（1983）や東京都防災会議（1985）の式からも明らかなように，火災の発生は，地震による死者を著しく増加させる。ただし，この場合の「火災」とは，大規模に拡大した延焼火災である。出火した建物だけ，あるいは，その周辺だけが焼失するような小規模な火災は，死亡事故の原因としては，さほど重要とは考えられない。1923年関東地震の被害データ（市区町村べつ死者数・全壊建物数・焼失建物数）を使って，この点について調べてみた。

図３には，1923年関東地震のさいに火災が発生した市区町村だけを選び，焼失建物数と死者数の関係を示した。火災が発生した市区町村は，火災の規模と死者数の関係からみて，つぎの２つのグループに分かれることが明らかになった：

１）焼失棟数が2,500棟以下；焼失棟数と死者数のあいだには，これといった対応関係は見られない。

２）焼失棟数が2,500棟以上；焼失棟数と死者数のあいだには，正の相関関係が見られる。

このことは，火災が一定の規模に達したとき，その延焼域内で，焼死が多発することを示唆している。焼失域がある程度まで拡大したときに，避難中の人々が火にまかれ，死亡事故が発生すると考えられる。焼失域が小さければ，そこからの脱出に困難をきたすことはない。

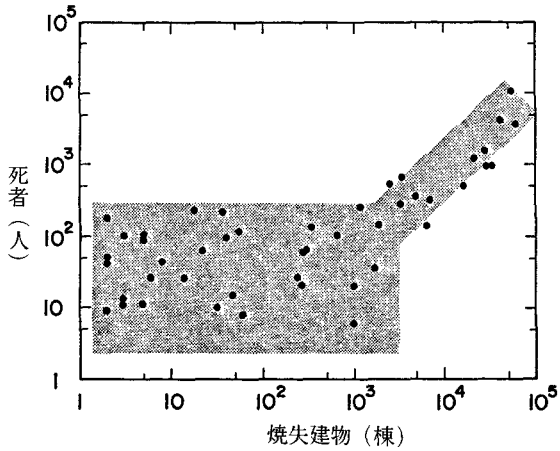

図３　焼失建物数と死者数の関係;1923年関東地震の市区町村べつ被害記録による

以上に述べたことは，つぎのように言い換えることができる：火災が起こったとしても，焼失棟数が少ない場合には，火災による死者数が，それ以上の原因による死者数を大きく上回ることはない。このことを，1923年関東地震のデータを用い，建物の倒壊による死者数との比較によって確かめてみた。

火災が発生しない場合（焼失建物数が０）には，建物倒壊による死者数を予測する式が，つぎのように導かれた〔２．２節〕：

$D=0.0676H$ ……(ii)

ただし，

D：死者数（人）

H：全壊建物数（棟）

ここでは，図３にプロットされた市区町村のなかから，焼失棟数が2,500以下のものだけを選んで，全壊棟数と死者数の関係を調べた。全壊棟数と死者数のあいだには，よい相関があることが分かり，両者の関係は，つぎのように求められた：

$D=0.0794H$ ……(vii)

たとえ火災が発生しても，その規模があまり大きくない場合（焼失棟数が2,500以下）には，火災の影響による死者の増分はあまり多くない。式(ii)と式(iii)の係数を比べると，あまり大きくない火

災による死者の増分は，17%程度になった（0.794／0.767＝1.17）。図2の①で，式(vii)を示した。

2．4　広域避難シミュレイションによる焼死者数の予測

避難中の焼死者数の予測には，延焼域での避難行動をモデル化し，シミュレイションを行って事故の発生を予測する方法が有力である。火災の拡大状況を所与の条件として，時々刻々の群集の移動状況をシミュレイト（模擬）すれば，死者の発生時刻や発生地点を予測することができる。なお，火災の拡大状況は，現状に即した市街地モデルを作成し，延焼シミュレイション（たとえば，東京消防庁，1987）を行うことによって，与えることができる。

避難行動のシミュレイションは，焼死者数の予測のほか，つぎのような目的に利用することも考えられる：

1）避難勧告や避難誘導など，緊急対策の効果について検討する。

2）群集の移動や滞留の状況を詳しく予測し，避難行動を制御するための基礎資料を得る。

この報告では，小坂・堀口（1986）が開発したメッシュ分割による方法を例として，地震火災時の広域避難シミュレイションについて述べる。なお，地震水害時の避難行動についても，延焼域を浸水域に変えて，同様な手法でシミュレイトできるものと考えられる。

シミュレイションは，つぎのような前提（群集流動のパターン）のもとに行われた：

1）居住者は，火災の接近によって広域避難を開始する。広域避難を開始する人数は，時間に対して正規分布する。

2）居住者は，最短距離にある避難場所へ，最短距離を通って避難する。

3）歩行速度は，群集密度の関数とする。群集密度が1人／m²以下では一定の値を保つ（表1参照）。群集密度が1人／m²からは直線的に低下し，4人／m²で0になる。

シミュレイションのための入力データは，つぎのようにして準備された：

1）対象地域を正方形のメッシュ（100m×100m）で分割する。

2）メッシュごとの人口を与える。

3）メッシュの上下・左右方向の道路幅員を与える。

4）周囲のメッシュへ移動できるかどうか（川の存在などを考慮）の境界条件を与える。

つぎのような手順で，時間ステップごとに計算が進められた：

1）避難を始める人数（発生避難人数）の分布を与える。

2）延焼動態と境界条件を考慮して，最短距離にある避難場所へ向かうように，群集の移動方向を決める。

3）歩行速度を，群集密度との関係から求める。

4）隣接メッシュへ移動する人数を求める。移動人数は，つぎの3つの値の積で計算する：

i）道路幅員

ii）歩行速度

iii）単位計算時間

このとき，移動人数は，移動方向にある隣接メッシュの収容可能人数（道路幅員によってきまる）の制限を受ける。

5）以上の計算を，すべてのメッシュについて行い，つぎのような分類で，群衆の数を算定する：

i）避難を始めていない（未避難人数）

ii）避難中の人数（避難途上人数）

iii）避難場所への経路を断たれた人数（避難不能人数＝焼死者数）

iv）避難場所へ到達した人数（避難完了人数）

小坂・堀口（1986）は，1923年関東地震の東京市本所区・深川区での被害にこの方法を適用し，図4のような結果を得た。計算に用いられたパラメータの値は，シミュレイションによる死者分布が，実際の死者分布にもっとも近くなるもの（最適パラメータ）である。最適パラメータの値を表1に示した。

表1　広域避難シミュレイションのための最適パラメータ
1923年関東地震；東京市本所区・深川区の場合

パラメータ	最適値
歩行速度（群集密度≦1人／m²）	1.88m／sec
平均避難開始時間*	1時間19分
発生避難人数分布の標準偏差	200sec**
道路の有効幅員	99%

小坂・堀口（1986）より

＊：避難開始時間の平均値から，当該メッシュへの着火時刻までの時間。

＊＊：一つのメッシュ内で，最初の1人が避難を始めた時刻と，最後の1人が避難を始めた時刻の差として見れば，20分に相当する。

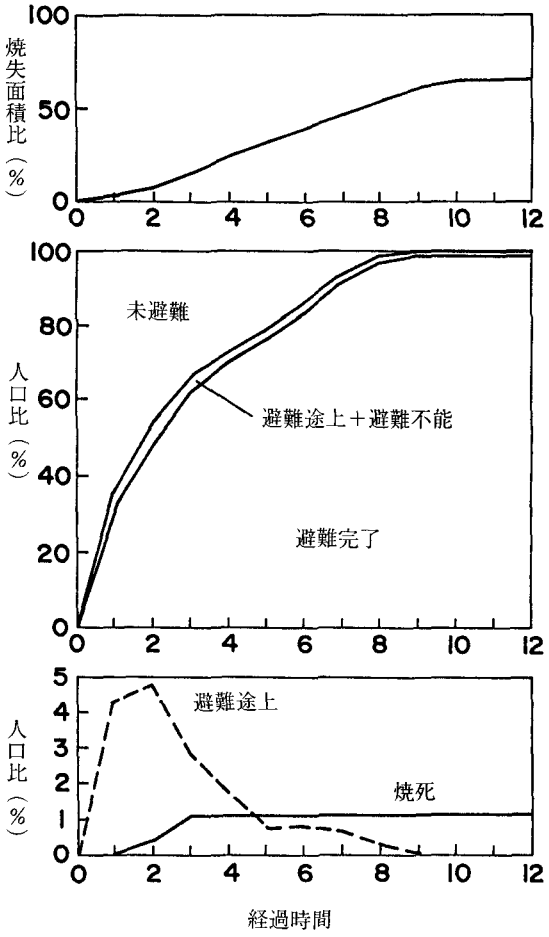

図4　広域避難シミュレイションによる群集行動解析の例;小坂・堀口（1986）より

2．4　地震水害

東京都防災会議（1978）は，堤防の決壊によって生じる「0メートル地帯」への浸水を想定して，水死者の数を予測した。以下に，予測方法の概略を示した。

地震水害による死亡事故は，破堤後の時間経過とともに，その態様が変化すると考えられ，死者数は，つぎの3つの時間帯に分けて計算された：

1）破堤から5分間

2）破堤後5分から2時間

3）破堤後2時間から24時間

人的被害を予測するための前提として，深度べつ洪水区域図（破堤後5分・2時間・24時間）が与えられた。破堤点に関する情報として，位置・溢流深・破堤幅が与えられた。

1）破堤後5分までの死者数は，つぎの手順によって算定された：

i）破堤点ごとに浸水面積を求める。浸水面積は，破堤幅と溢流深によって決まる。

ii）人口密度を1.1人／㎢として，浸水面積内の人口を求める。

iii）水害（狩野川台風・伊勢湾台風）の被害記録にもとづく推計によって，溢流深と死者発生率の関係を求める（表2）。

iv）溢流深によって決まる死者発生率（表2）と，浸水域内の人口の積によって，死者数を算出する。

2）破堤後5分から2時間までの間の死者は，つぎの手順によって算定された：

i）水深1.5m以上の浸水域の面積を調べる。

ii）建物密度を2,800戸／㎢として，水深1.5m以上の浸水域にある建物数を計算する。

表2　溢流深と死者発生率の関係

溢流深（m）	死者発生率（%）
0.7	0.05
1.2	2
1.7	6
2.2	10

（狩野川台風・伊勢湾台風の被害記録からの推計による）

iii）水深1.5m以下の浸水域では，建物が床上浸水すると考える。

iv）床上浸水1戸あたりの死者数を0.01人として（都市域の水害での全国的な標準），床上浸水棟数から死者数を算定する。

3）破堤後2時間から24時間までの間には，避難時の事故などによって，死者が発生すると考えられた。これによる死者数は，破堤後5分から2時間までの場合と同様な手順で計算された。ただし，事故が発生する地域の浸水深は2m以上，床上浸水1戸あたりの死者数は0.006人などの条件が与えられた。

地震水害による事故の発生は，地震火災による事故の場合と同様に，災害域の拡大過程と，避難行動の態様に影響される。このような類似から考えて，地震水害による死者の予測に，広域避難シミュレイションを応用することが考えられる。

2．5　ブロック塀・石塀の倒壊

ブロック塀・石塀の倒壊による死亡事故は，1978年宮城県沖地震で注目されるようになった。この地震による27人の死者のうち，16人はブロック塀・石塀の倒壊によるものだった。その後に発生した地震（たとえば，1983年日本海中部地震，1987年千葉県東方沖地震）でも，ブロック塀・石塀の倒壊による死亡事故が発生した。ブロック塀・石塀の倒壊は，木造建物の倒壊とならび，住宅地で発生する死亡事故の原因として重要である。

ブロック塀・石塀の倒壊によって死亡事故が起こった地震はいくつかあるが，まとまった数の死者が発生したのは，1978年宮城県沖地震に限られる。ブロック塀・石塀の被害と，それによる死者数は，表3のようにまとめられた（東京都防災会議，1985）。

表3　ブロック塀・石塀の被害と死者数
1978年宮城県沖地震・仙台市の場合

	被害件数	死者数	死者数／被害件数
ブロック塀	11,306	5	4.4×10^{-4}
石　塀	7,072	4	5.7×10^{-4}

ブロック塀・石塀の被害を予測するためには，望月・他（1985）の研究が利用できる。ブロック塀の被害率は，1978年宮城県沖地震の調査から，つぎのように求められた：

$Y=1.70+2.37X$

ただし，

Y：ブロック塀の倒壊率（%）

X：住家震害率（%）

ここに，

$$X=\frac{(\text{全焼棟数}+0.5\times\text{半壊棟数}+0.01\times\text{一部損壊棟数})}{\text{世帯数}}\times100$$

3．負傷

3．1　負傷程度の分類

負傷者の記載には，負傷者数という要素のほかに，負傷程度という要素が加わる。医療機関への負荷を予測するという観点からは，負傷者数を程度べつに予測する必要がある。

負傷者の発生状況を記載する場合，負傷程度を「重症－軽症」あるいは，「重症－中等症－軽症」のように分類することが多い。このような分類は，被害想定だけではなく，過去の地震の被害統計でも用いられてきた。

負傷程度を「重症－（中等症）－軽症」のように分類することは広く行われているが，分類の基準は統一されていない。負傷程度を「重症－（中等症）－軽症」に分類するための基準のいくつかを表4に示した。重症とそれ以外を分ける基準は，入院の必要性に置かれることが多い。しかし，それ以外の基準もある。中等症と軽症を分ける基準も，統一されていない。

一般に，医療機関での治療を受けた人が負傷者とみなされる。1960年代以降の主要な地震の被害統計では，例外なく，医療機関で受診した患者を負傷者としている。軽傷に分類された負傷者も，医師の治療を必要としていたことになる。

3．2　受診患者数

塩野・小坂（1987）は，1964年（新潟地震）から1984年（長野県西部地震）の間に発生した地震

表4　負傷者程度の分類

	重　症	中等症	軽　症
自治省消防庁 「救急事故等報告要領」	3週間以上の入院が必要	3週間以内の入院が必要	入院を必要としない
北海道庁 「被害状況判定基準」 1972年根室沖地震	1か月以上の医師の治療が必要	——	1か月未満の医師の治療が必要
仙台市医師会 1978年宮城県沖地震	入院が必要	入院を必要としない 全治8日以上	全治7日以内
能代市山本郡医師会 1983年日本海中部地震	入院が必要	創傷処理が必要だが，帰宅可能	重症・中等症以外

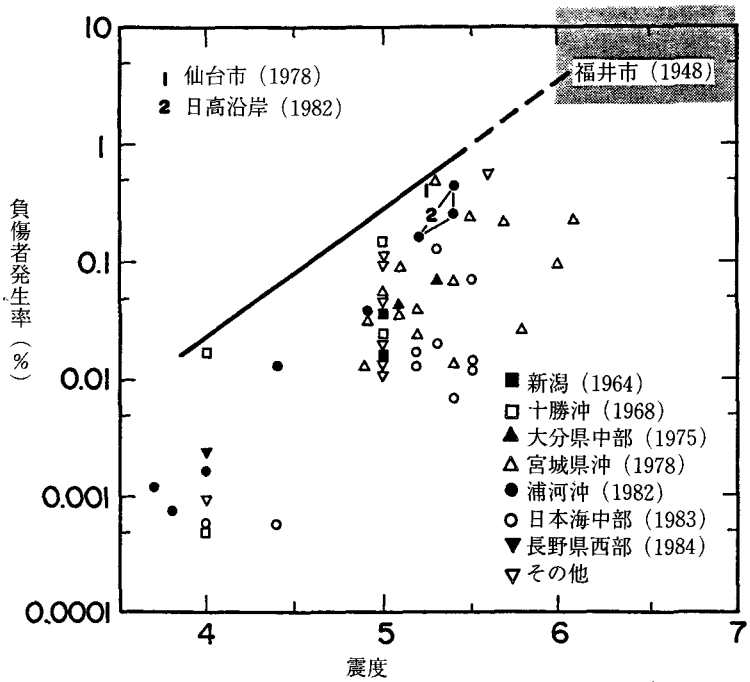

図5　震度と受診患者発生率の関係;塩野・小坂（1987）より

を対象として，医師による治療を必要とした負傷者（受診患者）の数を調べた。被害統計を収集し，震度と負傷者発生率（市町村単位）の関係を分析した（図5）。ここで調査の対象になった地震のなかには，大規模な火災が発生したものはなかった。

調査の対象とした地震の場合にも，重症や中等症の判定基準一様ではなく，いくつかの被害統計では，それが不明だった。この制約のために，重症～軽症を含むすべての負傷者（受診患者）に注目して，資料を整理した。この分析では，入院患者数を予測することはできなかったが，多くの被害事例を比較することによって，負傷者の発生に関する特徴のいくつかが明らかになった。

震度の値が大きくなるにしたがって，負傷者発生率は上昇した。震度と負傷者発生率の関係には，大きなばらつきがあったが，負傷者発生率の上限を大まかに推定してみることはできた（図5の太

い実線)。負傷者発生率の上限は，震度５の範囲では0.1％のオーダーであり，震度６の範囲では１％のオーダーだった。

やや古い地震であることなどを考えれば，単純な比較にはなじまない懸念もあるが，図５には，1948年福井地震（福井市）のデータを加えた。震度が４～5.5の範囲に分布するデータから推定される負傷者発生率の上限は，震度６あるいは７と判定された福井市での統計と調和した。福井市の被害によって，図５の破線で示した部分（震度４～5.5からの外挿による）の妥当性が示された。

同じ震度が記録された場合にも，負傷者発生率には大きなばらつきがあった。このばらつきをもたらした要因には，地震が発生した季節・時刻や，被害が発生した地域の特性などが考えられた。1982年浦河沖地震による日高沿岸での大きな値には，暖房器具による火傷の多発が関与しており（小坂・塩野，1982），季節の影響を示した。1978年宮城県沖地震での仙台市での高い負傷者発生率は，都市的な生活環境（高密度化）の影響を示した。このような影響を評価し，その結果を負傷者の予測に取り入れるために試みが，塩野・小坂（1984）や Shiono and Kosaka（1988）によって進められている。

３．３　受診患者数・入院患者数

筆者らは，所与の「ゆれ」の強さに対する，受診患者数と入院患者数を予測することを目的として，1978年宮城県沖地震による仙台市での負傷者発生率を分析した。仙台市で得られたデータ以外には，このような検討に使えるデータは見当たらない。ただ一つの被害事例の分析に止まるという制約はあるが，受診患者数と入院患者数を分けて予測する方法の提言に向けて，一つの試みを行った。

1978年宮城県沖地震による仙台市での負傷者に関しては，つぎの２つの調査が行われた：

１）仙台市（1979）

２）仙台市医師会（1978）

表５では，これら２つの調査の特徴を比較した。調査の結果を，表６に示した。

医師会の調査結果は，受診患者の総数と入院患者数を正確に捉えた点に特長がある。しかし，これを負傷者数の予測に利用しようとすると，一つの問題が生じる。この調査結果からは，「ゆれ」の強さと負傷者の発生状況を対応させることができない。前節〔３．２〕でも示されたように，「ゆれ」の強さは，負傷者の発生率に影響を与える最も重要な要因の一つである。地震による負傷者数を予測するためには，「ゆれ」の強さの影響を無視することができない。

仙台市の調査には，つぎのような特長があった：

１）調査のなかに住家被害に関する項目が含まれている（住家被害の発生率を，「ゆれ」の強さの指標とみなすことができる)。

表５　仙台市（1978年宮城県沖地震）での負傷者調査

	仙台市	仙台市医師会
回答者	市民（全数）	医療機関（全数）
調査事項（負傷以外）	住家被害など	なし
地域区分	10区分（行政区）	なし
負傷程度の区分	重傷	重症（入院を必要とする）
	軽傷	中等症(1)・軽症(2) （入院を必要としない）
負傷程度の判定	回答者（市民）の判断による	診療記録による

(1)：８日以上の治療を要する。
(2)：７日以下の治療を要する。

表6　負傷者の分類と負傷者数
（1978年宮城沖地震・仙台市）

分　類	負傷者数	発生比
入院患者(1)	225	0.75
重傷者(2)	300	1.00
入院を要しない受診患者(1)	2,587	8.62
軽傷者(3)	9,000	30.00

(1)：医師会の調査（仙台市・泉市・宮城町・秋保町を対象とする）によって明らかにされた受診患者の総数は3,141名であり（負傷程度が不明な者を含む），そのうちで入院を要した者（重症）は235名，入院を要しなかった者（中等症・軽症）は2,688名だった。筆者らは，この調査結果から，仙台市での患者数（入院・受診）を推定した。推定には，つぎのような方法を用いた：

1）負傷程度が不明な患者を，中等症・軽症に含めた（2,906名）

2）宮城県の被害統計によれば，宮城町・秋保町では1人の負傷者も発生していないことを考慮し，上記の負傷者数を，住民数の比によって仙台市と泉市に配分した。推定の結果は，上の表に示した通りである。

(2)：回収率78％のアンケート結果からの推定（(3)も同じ）。医師会の調査結果（入院患者数）と比較すると，負傷者のうち，75％は入院を必要とした負傷者と考えられる。

(3)：医師会の調査結果（入院を要さない受診患者数）と比較すると，9,000人の軽傷者のうち，医師の治療を受けた者は，30％程度と推定できる。

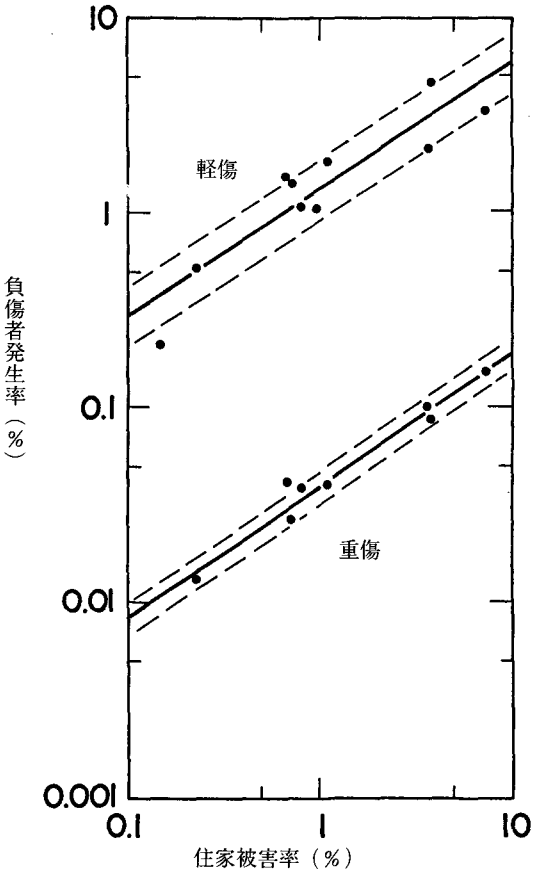

図6　家屋被害率と受診患者・入院患者の発生率の関係
（1978年宮城県沖地震による仙台市での被害）；
仙台市（1979）の調査結果から作成

2）調査結果が，10の地域（市の行政区）に分けて集計されている。

これらの特長を利用して，住家被害率と負傷者発生率の関係を地域べつに調べてみた（図6）。負傷者発生率は，重傷と軽傷に分けて計算した。住家被害率は，「ゆれ」の強さの地域的な違い（地盤の影響などによる）を反映して，広い範囲に分布した。住家被害率と負傷者発生率は正の相関を示し，両者の関係は，つぎのように求められた：

重傷：$\log_{10} R = 0.676 \cdot \log_{10} H - 1.409$ ……(viii)

軽傷：$\log_{10} R = 0.660 \cdot \log_{10} H - 0.105$ ……(ix)

ただし，

R：負傷者発生率（％）

H：住家被害率（％）

C_R：相関係数

図6からも明らかなように，回帰直線の傾きは，負傷程度の違い（重傷・軽傷）に係わらず，ほとんど変わらない。このことは，どのような負傷程度を問題にしようとも，負傷者発生率の予測式は，式(viii)（または，これとほぼ等しい傾きをもつ式(ix)）と同じ傾きをもった直線になることを示している。入院患者・受診患者（入院を要しない）の場合にも，その発生率は，式(viii)と同じ傾きの直線で表せることが分かった。

重傷者と入院患者の発生比が0.75（表6）であることを利用し，式(viii)をつぎのように変形して，入院患者数を予測する式を導いた：

$\log_{10}R=0.676\cdot\log_{10}H-1.409+\log_{10}(0.75)$
$\therefore\log_{10}R=0.676\cdot\log_{10}H-1.534$
ただし，
R：入院患者の発生率（%）
H：住家被害率（%）

重傷者と，入院を要しない受診患者の発生比が8.62（表6）であることを利用し，式(viii)をつぎのように変形して，受診患者数（入院を要しないもの）を予測する式を導いた：

$\log_{10}R=0.676\cdot\log_{10}H-1.409+\log_{10}(8.62)$
$\therefore\log_{10}R=0.676\cdot\log_{10}H-0.473$
ただし，
R：入院を要しない受診患者の発生率（%）
H：住家被害率（%）

4．おわりに

この報告では，地震による死者数と負傷者数を予測する方法を，最近の調査例や研究成果のなかから選んで紹介した。

死者数の予測には，死亡原因の予防的な排除を目的とした防災対策の展開に寄与できることが重要であると考え，死者数を原因べつに予測する方法を注目した。取り上げた死亡原因は，木造建物の倒壊・地震火災・地震水害・ブロック塀の倒壊の4つであり，考えうる死亡原因のごく一部に過ぎない。これ以外の原因については，現在のところ，これといった予測方法は提案されおらず，今後の開発が期待される。ただし，被害データが不足しているために，予測方法の開発には多くの困難が伴うことが予想される。

負傷者の予測には，緊急医療体制を整備するための目標設定に寄与できることが重要であると考え，入院患者数と受診患者数を予測する方法を提案した。はじめに，多くの地震（1964－1984）の被害資料を使って，受診患者の発生率（上限）を予測した。つぎに，1978年宮城県沖地震による仙台市の被害記録を分析し，入院患者と受診患者の発生率を予測する式を構成した。

人的被害の予測には，地震時の人口分布の問題がつきまとう。人口分布の変動は，死傷者の発生分布に影響を及ぼす。予測式を構成する段階においても，また，その予測式を適用する段階においても，この問題に留意する必要がある。とりわけ，原因べつ死者数や程度べつ死者者数などのような，詳しい予測を行おうとすれば，それに見合うだけの正確さで，発災時の人口分布の影響を評価する必要が生じる。今後は，発災時の人口分布を考慮し，予測の精度を向上することによって，手法の改善を図っていく。

〔謝辞〕1923年関東地震の被害資料を用いた分析には，山谷公二さん（当時，東京都立大学;現在，北海道庁）の果たした役割が大きい。記して，感謝する。

文　献　一　覧

太田　裕・後藤典俊・大橋ひとみ
1983　「地震時の死者発生数予測に関する実験式の一構成」『地震・第2輯』，Vol. 36，No. 3，pp.463－466.

小坂俊吉・塩野計司
1982　「地震による負傷者について－1982年浦河沖地震を例とした予備的考察・その1」『総合都市研究』，No.17，pp.85－108

小坂俊吉・堀口考男
1986　「広域避難シミュレイション法による大震火災の群集行動解析」『土木学会論文集』，No.365/Ⅳ－4，pp.51－59.

東京消防庁
1987　『震災対策に関する調査研究の解説』pp.

東京都防災会議（編）
1978　『東京区部における地震被害の想定に関する報告書』，491pp.

東京都防災会議（編）
1985　『多摩地域における地震被害の想定に関する報告書』，576pp.

塩野計司・小坂俊吉
1984　「日本海中部地震の負傷者（その2）」『総合都市研究』，No.23，pp.93－105.

塩野計司・小坂俊吉
1987　「地震による負傷者の発生」『地震・第2

輯』, Vol. 40, No. 4, pp.625－628.
仙台市医師会
1979 「Ⅰ, 傷病者発生状況について」『宮城県沖地震における仙台医療圏の被災状況－昭和53年6月12日17時14分発生－』, pp. 2－5.
仙台市総務局防災対策室（編）
1979 『'78宮城県沖地震①災害の記録』, 宝文堂.
望月利男・宮野道雄・四戸英雄・田代 侃
1980 「仙台市におけるブロック塀の調査報告」『総合都市研究』, No.11, pp.39－46.
望月利男・宮野道雄・松田磐余
1982 「比較的最近の地震による人的被害の実態」『総合都市研究』, No.17, pp.77－84.
Shiono, K. and S. Kosaka
1988 "Injuries in Earthquakes: Consideration of Local Social Characteristics in the Construction of Estimation Schemes."Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. VIII, pp. 989－994.

Key Words（キー・ワード）

Earthquake（地震）, Human Casualty（人的被害）, Death（死亡）, Injury（負傷）, Damage Estimation（被害予測）, Disaster Planning（防災計画）

ESTIMATION OF EARTHQUAKE FATALITIES AND INJURIES

Keishi Shiono* and Shunkichi Kosaka*
*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University
Comprehensive Urban Studies, No. 38, 1989, pp.113−127

In the course of reviewing existing procedures, we proposed several methods for estimating earthquake casualties.
We discussed methods to estimate deaths attributed to the following phenomena:
1) collapse of a wooden buildings
2) fires
3) floods
4) collapse of a masonry walls around yards.
We derived empirical formulas to estimate injuries on two levels of seriousness:
1) requiring medical attendance (but not hospitalization)
2) requiring hospitalization.