

震度分布を既知情報とした人的被害の推定手法
- 死傷から閉じこめ者分布へ -

小山 真紀¹⁾・太田 裕¹⁾・村上 ひとみ²⁾

1) 東濃地震科学研究所

2) 山口大学大学院理工学研究科

A method of Estimating Occupants' Casualties and Entrapment in an Earthquake
- Based on Seismic Intensity Distribution Data -

Maki KOYAMA¹⁾, Yutaka OHTA¹⁾, Hitomi MURAKAMI²⁾

1) Tono Research Institute of Earthquake Science

2) Graduate school of science and engineering, Yamaguchi University

Summary

A grasp of situation of damage is very important in the huge earthquake disaster. Because, we need damage information when we do the Search And Rescue operation. In this study, the method is shown which estimates the situation of the human damage (specially entrapment) from the distribution of seismic intensity. So, entrapment person means who will be dead. An entrapment is generated as causing building damage and human damage. So, the method of estimation is the following. First, we estimate the building damage distribution from the seismic intensity distribution. Then, we estimate the human damage distribution from the building damage distribution. Finally, we estimate the entrapment distribution from the building and human damage distribution. It is the human distribution who needing the Search And Rescue operation. In short, the estimation of the entrapment distribution is possible, and we added the necessary information for the Search And Rescue operation.

1. はじめに

大規模な地震災害においては、地震後の被災現地の被害状況の迅速な把握が引き続く救助・救急活動に大きく影響する。特に、閉じこめられた人の救出については一般に 24 時間以内に行わなければ生存確率が大きく減少することが知られている。この限られた時間を有効に生かすためには、

いち早く地域被害の概要を知ることが重要な課題となる。これに応えるべく本研究では“持ち時間を有効に使うために重要な意味を持つ”と考えられる被害情報の推定を行う。これまで被害推定としては建物・人的被害ともに最悪の段階としての全壊棟数および死者数の推定を行ってきた。これは SAR (Search And Rescue) 活動などがすべ

て終了した時点での数値であるといえる。しかしながらこれでは SAR 活動に生かす数値としては不十分である。被害の全体像を把握するためには最終段階だけではなく、途中の段階(重傷者など)をも知る必要がある。よってここでは推定の枠を被害分布に拡張する。また、SAR 活動に必要な情報とは何かをさらに考えてみたとき、特に重要だと考えられるのは、SAR 活動を必要としている人の情報である。SAR 活動を必要としている人とはすなわち閉じこめられた状態にある人である。閉じこめられた状態にある人は SAR 活動がなかった場合には確実に死に向かっていく人であり、死の候補者ということができる。この死の候補者(閉じこめ者)について知ることができれば、これは SAR 活動において非常に有用な情報となりうると考えられる。そこで本研究では、閉じこめ者についても同様に推定する手法を提案する。なお、推定は 1995 年兵庫県南部地震時に大阪市立大学の中川らが調査したアンケート震度調査データ¹⁾のうち神戸市のデータを抽出したものを元にして行った。

2. 被害推定の全体スキーム

上記にも述べたとおり震度分布情報を入力とする被害推定として、これまでは全壊棟数および死者数の推定を行ってきた。これはいわば SAR 活動後の最終結果としての数字であるということができる。このような推定は対象地域ごとの被害程度の概要を知るといえる意味では有効であると思われるが、被害の全体像を把握するためには不十分である。また、SAR 活動に直結する情報とは言い難い。そこで本研究では特に人命に密接に関わる部分(死傷者分布・閉じこめ者分布)に着目して推定を行うものとする。死傷者分布を知ることができれば、その地区でどれだけの人があるかのような状態にあるかを知ることが可能である。そうすれば、必要な医療規模などを考えるための重要な情報となるはずである。また、閉じこめ者分布を知ることができれば、“今まさに助けを必要としている人”がどれだけいるのかを把握することができる。地区ごとにこういった情報が得られるならば、どの地区にどれだけ救援が必要であるかという情報を与えることにもつながると考えられる。

死傷者の発生には建物被害が密接に関わっており、死傷者の分布を推定するためにはやはり建物被害の全体像を知る必要がある。これは人的被害を建物被害の関数で表すことができるということを示している。次に閉じこめ者の推定を行う

にあたり、閉じこめ者の発生要因を考えると閉じこめ者には建物の被害に起因するものと人的被害に起因するものとが考えられる。これは、たとえケガをしていなくとも建物の崩壊によって脱出不可能な場合、また建物被害としては十分脱出可能な場合でも重度の人的被害を受けており脱出不可能な場合があるということからである。よって閉じこめは建物被害と人的被害の関数として表すことができる。ここで震度が被害のパラメータとしてよく知られていることから、震度分布情報を初期情報として被害の推定を行っていく。おおまかな推定の流れとしては、図 1 に示すように震度分布からまず建物被害分布を推定し、次に推定された建物被害分布から人的被害分布を推定する。最後に推定された建物被害分布および人的被害分布から閉じこめ者分布を推定する。

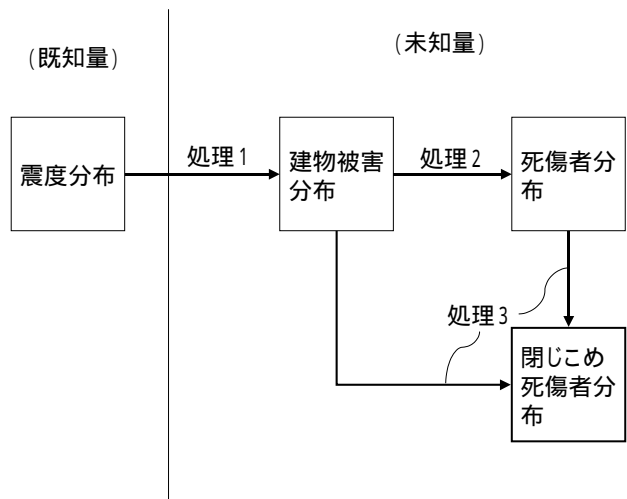


図 1 推定の流れ。

2.1 建物被害分布の推定

2.1.1 前提条件

現段階では推定の手法の提案を第一の目的としているため、対象建物を木造のみに限定することとする。また、建物の新旧によって地震時の建物被害に大きな差が出ることが分かっていることから建物の新旧を考慮して推定を行っていく。ここで建物の新旧の境を建築基準法が改訂された昭和 45 年とすることにする。これは建築の分野では一般的な分類であることによる。以上をふまえて神戸市の建物の新旧の割合²⁾をしらべると旧：新 2：3であることから、以後の計算はこの割合に沿って行うこととする。

2.1.2 推定手法

震度分布と建物被害の関係を考えて、たとえ同じ震度であっても建物の被害が同じであるとは言えない。これはたとえば同じ震度6弱という場所であっても建物の壊れ方が同じになるとは限らず、震度6弱を示す場所の中でも建物被害の分布は様々であるということである。よって考え方としてはそれぞれの震度領域ごとの建物被害分布を足し合わせることで、すべての震度領域の建物被害分布を推定していくという手法が考えられる。推定のイメージを図2に示す。棒グラフが震度分布を表しており、震度分布グラフと重なっている曲線が震度から建物被害度を推定する関数を表している。ここで用いた関数は岡田らによるバルナラビリティ関数³⁾である。ここで建物被害度は被害の少ない方から0~1の間の数値で表される。図中のバルナラビリティ関数上に示した分布形がその震度領域における建物被害分布を表している。

推定の手順としては、まず建物の新旧別に各震度領域における建物被害分布を推定し、これを新旧の別に足しあわせる。このことにより建物新旧別の建物被害度分布を推定することができる(図中では左端の2曲線で表されている)。次に、推定された建物被害度分布を旧:新 2:3の割合に従って補正を行う。これによってすべての震度領域における建物被害度分布の推定を行うことができる。

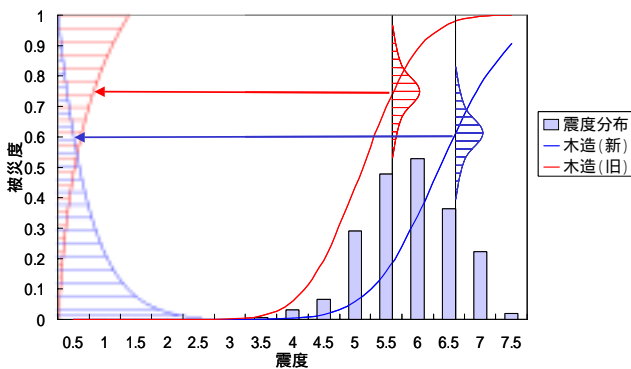


図2 建物被害推定のイメージ。

2.1.3 推定結果

以上の手法による推定結果を図3に示す。ここでは実際の値との比較を行うために全壊棟数のみの比較を行った。なお全壊棟数を算出するにあたり岡田らの手法³⁾に沿う形として、推定された

建物被害度が0.84より大きいものを全壊とした。この図では市区別ごとの全壊棟数について兵庫県南部地震時の実データの数値(観測値)と推定結果(推定値)を比較したものである。なお、推定値は地震直後の建物被害のみについて算出したものとなっており、観測値はその後の余震も含めての結果となっている。また、神戸市すべての震度分布によって神戸市の被害を推定し、区別の震度分布によって区別の被害を推定した。以上のことから推定値と観測値の厳密な比較は難しいため、オーダーとしての値の比較を行うと、両者はほぼ対応しているといえる。

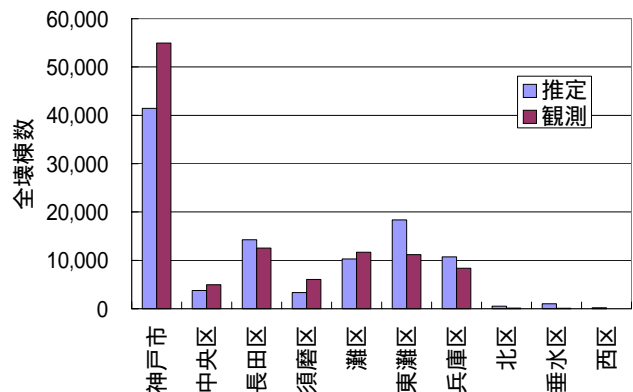


図3 建物被害推定結果の比較。

2.2 人的被害分布の推定

2.2.1 前提条件

建物被害度分布推定の時と同様に、現段階では推定の手法の提案を第一の目的としているため、建物被害によって発生した人的被害のみを対象として推定を行うものとする。火災などによる人的被害については、出火要因や地区特性などに大きく影響されるため、一つのモデルとして考えることが非常に困難であるため、ここでは推定の対象としない。

2.2.2 推定手法

人的被害度についても建物被害度推定の場合と同様に、同じ建物被害度であっても人的被害度も同じであるとは限らない。そこで人的被害度分布の推定も建物被害度分布の推定と同様の考え方で行う。ある建物被害度とき、もっとも多い人的被害度を代表的被害度とすると、そのときの人的被害度は代表的被害度の周りにばらついている。よって、各建物被害度の時の人的被害度

の分布を足しあわせることで、全体についての人的被害度分布を推定することができる。ここで推定のイメージを図4に示す。この図で棒グラフは建物被害度を表す。棒グラフに大きく重なる曲線は、建物被害度から人的被害度を推定する関数を示す。人的被害度の推定については岡崎⁴⁾の式を用いた。ここでも人的被害度は被害の少ない方から0~1の間の数値で表される。図中の人的被害推定関数上に示した分布形がその建物被害度における人的被害分布を表している。これをすべての建物被害度について足しあわせることにより全体の建物被害度における人的被害度分布を推定することができる(図中では左端の曲線で表されている)。

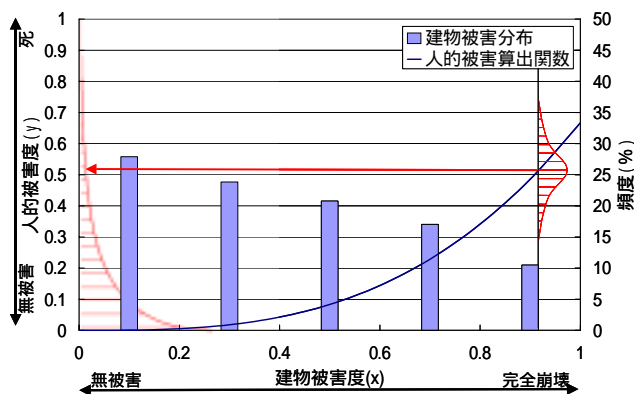


図4 建物被害推定のイメージ。

2.2.3 推定結果

人的被害の推定結果を図5に示す。ここでも建物被害の推定結果と同様に、死者数について兵庫県南部地震時の実際のデータ(観測値)との比較を行った。ここでは岡崎の論文に沿う形として人的被害度0.8以上のものを死者とした。推定値は地震直後の死者の数を表し、観測値はSAR活動もすべて終了した時点での死者の数を表す。また、推定値は火災による死亡を考慮に入れていないが、観測値は火災による死者も含まれているものとなっている。先ほどと同様に観測値と推定値の厳密な比較は難しいため、やはりオーダーとしての比較を行うと、両者の値はほぼ対応しているといえる。

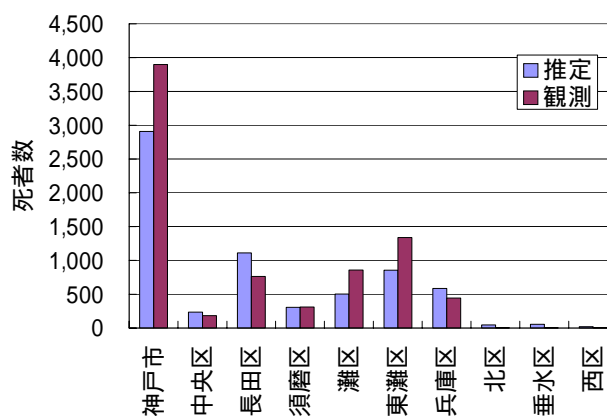


図5 人的被害推定結果の比較。

3 閉じこめ者分布の推定

3.1 前提条件

ここでいう閉じこめ者とは地震直後に閉じこめられ、自力で脱出することができない人、つまり救出を必要としている人を指すものとする。自力脱出ができないということは、SAR活動がなかった場合確実に死に向かっていくということであり、いわば「死の候補者」であると言える。この「死の候補者」を推定することによって引き続くSAR活動に有用な情報を与えることができるものと考えられる。しかしながらこれまで閉じこめ者までの推定は行われてこなかった。そこで我々は閉じこめ者という重要な情報を知ることが大切であるとの思いから、閉じこめ者を推定する手法について検討を行った。まず、閉じこめ者が発生する原因には、大きく分けて建物被害によるものと、人的被害によるものが考えられる。これは、ケガをしていなくとも脱出する空間がないために閉じ込められる場合と、脱出する空間があってもケガのために身動きがとれない場合ということができる。当然ながらこれらの要因が同時に生じることも多い。このことから閉じこめは建物被害と人的被害の関数によって表されると考えられる。本章では以上のような考えによって閉じこめ者の推定を行っていく。

3.2 推定手法

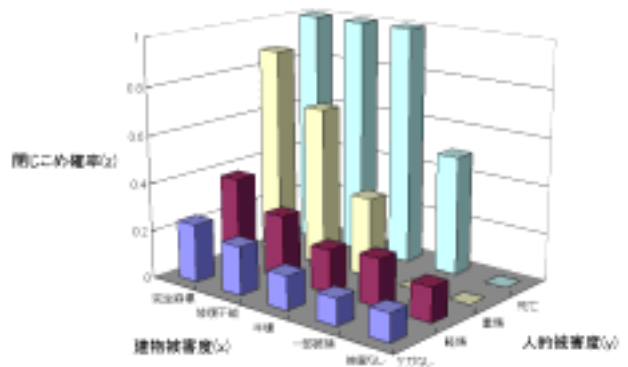
上にも書いたとおり、閉じこめが発生する要因には大きく分けて、建物被害によるものと人的被害によるものが考えられる。そこで実際には建物被害と人的被害と閉じこめとの関係がどのようになっているのかということをお調べした。ここでは

兵庫県南部地震時の状態について淡路島北淡町の調査によるデータを用いた。淡路島北淡町における建物被害と人的被害と閉じこめとの関係を図6(a)に示す。この図から、建物被害度が深刻になるにつれて閉じこめ確率が上昇する傾向が見られる。建物被害度が小さい場合の人的被害度を除いては、建物被害度の傾向と同様に人的被害度についても被害が深刻になるにつれて閉じこめ確率が上昇する傾向が見られる。しかしながら、建物被害度が小さい場合の人的被害度において上に述べたような傾向が見られないことは不自然である。そこでこの部分のデータを調べたところ、建物被害なしの場合の重傷者および死亡者の閉じこめについては、この状態に該当するデータがないために、見かけ上、閉じこめが発生しないように見えていることが分かった。建物被害なしの場合であっても、重傷の場合においては当然閉じこめられる人が多数発生するはずである。ましてや死亡が発生したならば当然その人は閉じこめられた状態(閉じこめ確率=1)となるはずである。また、建物被害度が一部破損であり人的被害度が死亡の場合を見ると、死亡にもかかわらず自力脱出できた人がいる(閉じこめ確率=1)。これは実データによると該当する2名中1名が脱出できたためであるが、一般的には死亡した状態で自力脱出することは不可能である。よって、建物被害度が小さい場合の人的被害度についても、被害が深刻になるにつれて閉じこめ確率が上昇する傾向が見られると考えられる。

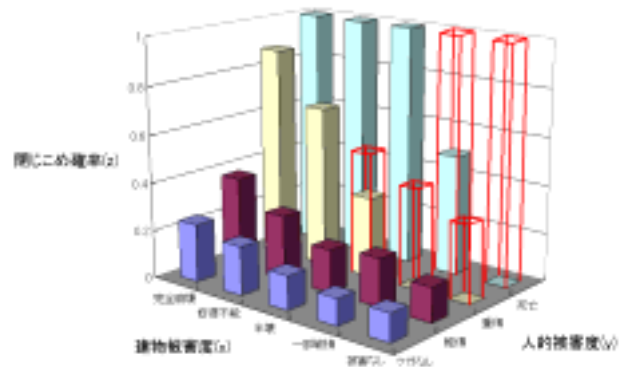
これらのことを考慮に入れた上で、データが存在しない部分などについて建物被害、人的被害および閉じこめの関係を推定したものを図6(b)に示す。この図で表されるように、建物・人的被害度が深刻になるにつれて閉じこめ確率が上昇するという関係から、閉じこめは建物被害度 x と人的被害度 y の関数として表すことができる。ここでは北淡町の調査結果から、閉じこめを以下のような式で表すこととした。

$$z(x, y) = (k \cdot x + y - k \cdot x \cdot y)^m \quad (1)$$

ここで $z(x, y)$ は建物被害度が x であり、人的被害度が y である時の閉じこめ確率を表している。また k, m はパラメータであり、脱出の困難さの違いを表すものである。今回は北淡町の調査結果より $k^m = 0.3, m = 2$ とした。式(1)で表される閉じこめ確率と建物被害度および人的被害度の関係を図7に示す。



(a)実データのみ



(b)実データをもとに推定

図6 建物・人的被害度および閉じこめ確率の関係。

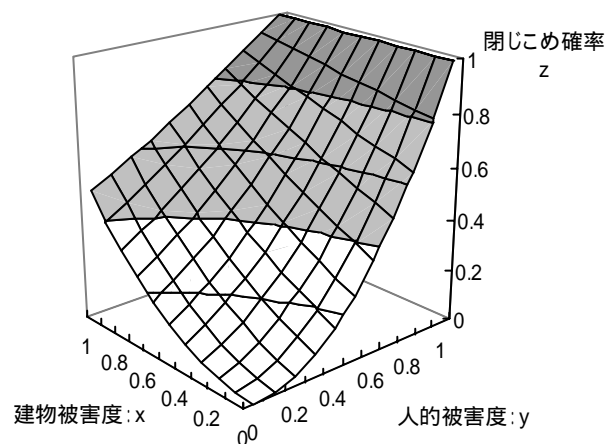


図7 推定式による建物・人的被害度および閉じこめ確率の関係。

この図を見ると、式(1)によって建物・人的被害度が深刻になるにつれて閉じこめ確率が上昇するという関係が再現されていることがわかる。また、人的被害度が1(死亡)のとき閉じこめ確率も1であり、建物被害度が1(完全崩壊)のときには自力脱出が可能であることも再現されている。以上によって式(1)を用いることによって建物被害度および人的被害度から閉じこめ確率を推定することができる。

3.3 推定結果

以上の手法によって、地震直後の神戸市において20万人を超える人が閉じこめられていたと推定された。(図7)。これは神戸市の人口の約15%にあたる。この推定結果だけ見ると多く推定されすぎているようにも思えるが、北淡町での調査結果では閉じこめられた人の割合19%となっていることから、この推定結果は実際の値に近い値を示しているものと思われる。

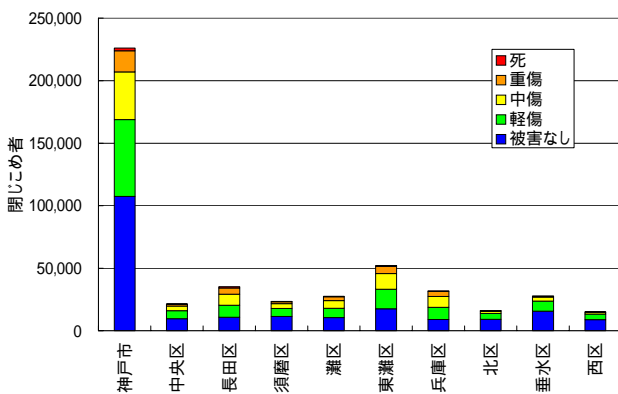


図7 閉じこめの推定結果。

4. 考察とまとめ

これまでの推定手順によって、建物・人的被害度分布および閉じこめ者を推定することができた。特に人的被害度分布の推定が可能になったことで、地震直後の被害の全体像把握のために重要な情報を与えることができるようになる。これは地震直後の初動体制に役立つ情報となると考えられる。さらに閉じこめ者の推定ができたことでSAR活動に直結する情報を与えることができるようになると思われる。

本研究では地震の発生(震度分布情報)から閉じこめ者の分布が生じるところまでのプロセスを推定する手法を提案した。この手法によって地震発生時の震度分布情報から建物被害分布、人的

被害分布および救出活動に有用な情報となりうる閉じこめ者分布の推定を行うことができることを示した。しかし、現状では考え方としての妥当性は検証したものの、以下の点においてより詳細な検討が必要である。

- ・対応できる建物種別の拡大にむけて。
- ・推定に用いたパラメータの信頼性。(現在は北淡町データのみに頼っている)
- ・各被害度の推定分布と、実際の被害度の分布との整合性。(現在は死亡、全壊のみ)
- ・死亡者について地震直後の数とその後の数を考慮に入れた検証。
- ・調査エリアに対する適正データ数の検証。
- ・震度情報の入手方法。

今後これらを実データに基づいて明らかにしていくことで、より実際に近い推定が可能になるものと思われる。そうなれば地震直後のSAR活動においても信頼度の高い有用な情報を提供することができるようになると考えられる。また、激甚災害時における人命の救出を考えると、人的被害の発生メカニズムを解明していくことが非常に重要な意味を持つ。人の被害がどのように起こっているのかを知らなければ、有効な対策を立てることが困難であるからである。しかしながら人的被害の発生メカニズムは建物などの建造物、家具、救出活動および地域特性など様々な要因から生じており、その解明は容易なことではない。とはいえどもその要因を一つ一つ明らかにしていくことが次への重要なステップになる。本研究では地震発生から閉じこめ者の発生という死者発生プロセスの一部についての推定を試みたが、このような結果が死者発生要因を明らかにしていくためには重要であるのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 大阪市大兵庫県南部地震アンケート震度調査研究グループ(代表、中川 康一): アンケート調査による兵庫県南部地震の震度分布, 日本応用地質学会関西支部平成9年度研究発表会概要集, 3-6, 1997.
- 2) 損害保険料率算定会: 地震災害予測の研究, 地震保険調査研究 41, 123, 1996.
- 3) 岡田 成幸・鏡 洋史: 震度による地震災害系統評価のためのバルナラビリティ関数郡の構成, 地震第2輯第44巻, 93-108, 1991.
- 4) 岡崎 信弘: 自身に伴う死傷者発生過程の解明と予測式の構成, 山口大学大学院理工学研究科平成10年度修士論文, 24-26, 1997.