

2001年芸予地震の調査に基づく住宅室内危険度評価システムの構築

Construction of a Housing Indoor Risk Evaluation system Based on Investigation of the 2001 Geiyo Earthquake

村上 ひとみ¹, ○佐藤 昌志¹
Hitomi MURAKAMI¹ and Masashi SATOU¹

¹山口大学大学院 理工学研究科 環境共生工学専攻

Div. of Environmental Systems Eng., Graduate School of Sci. Eng., Yamaguchi Univ

The 2001 Geiyo earthquake was located in Akinada and caused great damage in Hiroshima and Ehime prefecture. The household questionnaire survey was carried out by the committee of Hiroshima prefecture. This study utilizes these data to examine indoor and furniture damage, related injuries and preparedness behaviours. Based on these findings, a software to evaluate indoor furniture and contents damage due to an earthquake was developed.

Key Words : 2001 Geiyo earthquake, Indoor contents damage, Human Casualty, Furniture damage function, Indoor risk evaluation system,

1. はじめに

1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災における死者は約6400人にのぼり、その中の約8割が建築物の倒壊によるものだった。2001年3月24日(土)午後3時28分に発生した芸予地震では家屋倒壊による被害は少なかったが、屋内外被害により多くの人的被害の報告がされている¹⁾。

わが国における地震に伴う人的被害は、家屋建物倒壊による場合と家具倒壊に代表される室内変容による場合が多い。確かに、建物倒壊における人的被害の方が顕著に見られる。しかし、生活のために必要な家具や什器に伴う室内被害もより低い震度で広い領域にわたって発生することから大変重要な問題として挙げられる。地震の激しい揺れで家具や什器が転倒したり、家具内のものが床の上に散乱することは、居住者を負傷させる原因になり、しかも地震発生後に避難行動や消火・防災行動を起こす時に妨げとなり、大きな被害をもたらすのは見て取ることができる。住宅室内で家具、什器の転倒、散乱により負傷者が多数発生している中、自治体では地震対策として家具固定を呼びかけているが実施率が低い。

本研究では2001年芸予地震における室内被害と人的被害を把握するために、実際に芸予地震で被害が顕著に見られる地域にアンケート調査を実施し、芸予地震で起こった被害の原因や分布を明らかにする。そして芸予地震と他年に起こった地震とを比較することで芸予地震の特性を考察していく。その知見を元にユーザに分かり易い住宅室内の地震危険度評価システムを構築し、一般のユーザの地震の事前対策に役立てることを目的とする。ところで、平常的において実際に生活している住宅環境を物理的に地震時の被災状態にするのは現実問題として不可能である。そこで地震時の被災状況を想定するためにパーソナルコンピュータ上に、ユーザの生活空間を作成し、その空間に仮想的に地震を起こすことによって今の生活空間がどれだけ危険であるかを分かり易く表示できるようにする。また震度によって被害の大きさが違ってくる上に、生活空間にある家具や什器を固定することや、家具内のものが散乱するか否かによっても地震時の被害が変わってくるので、そのことも条件として設定で

きるようにし、今生活している空間がどの程度危険であるかを表示する。そして得られた結果は、実際に生活空間を入力した居住者が、今後地震の事前対策を進める上で大きな手助けになるものと考えられる。

2. 2001年芸予地震の室内被害・人的被害の調査と分析

2.1 調査傾向

芸予地震(M=6.7)は2001年3月24日に安芸灘の深さ約52kmを震源として発生した。そこで広島県は地震による住宅の室内被害と人的被害の要因分析により対策を検討するため、2002年10月~11月にアンケート調査を行った。対象地域は特に被害が顕著に見られた広島県の9市町村20地区(表1)である。図1に調査地区を記す。なお、広島市と呉市においては、それぞれ12階建ての集合住宅を1つの地区として調査対象に含めている。配布部数は1244部、回収部数は841部で、全体の回収率は67.6%である。

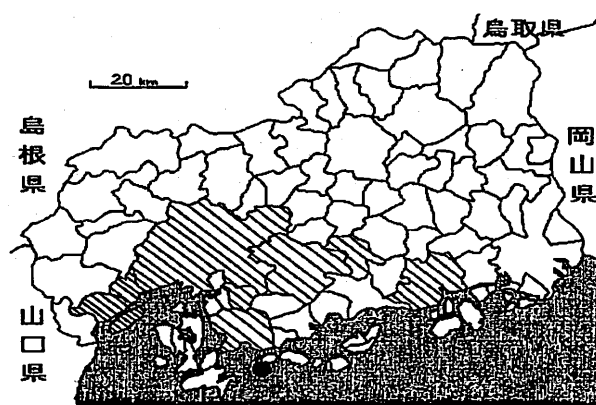


図1 アンケートの調査地区
(斜線部分が調査市町村、黒丸は震央)

表1 アンケート調査地区と計測震度、回収部数、回収率

調査地区	9市町村	計測震度	回収部数(部)	回収率(%)
1~5	広島市	5.2~5.3	261	74.6
6~10	呉市	5.2~5.4	287	75.7
11,12	三原市	5.2	65	65.0
13,14	廿日市市	5.2	76	76.0
15	熊野町	5.5	43	86.0
16	大野町	5.6	63	90.0
17	宮島町	4.7	6	13.3
18	河内町	5.9	11	22.0
19,20	東広島市	4.4~4.9	29	29.0
	合計		841	67.6

アンケート内容としては、芸予地震発生から1年半が経過していることより、項目は住まい、地震時の室内被害(6種類の部屋)、家具固定、家具被害(5種類の家具)、家族(7つの項目)、地域や県・市町村の防災情報から成る。各世帯の地震対策と地震に対しての意識など、計26問となった。

2.2 室内被害の傾向

表2に各家具の種別と被害率を記す。この表から冷蔵庫の被害が少ない事が見て取れる。家具の中でも重心が低い家具は、被害が少ない。本棚と食器棚に関して、「2.上の物が落ちた」の項目が多いのは、家具が揺れると本や食器といった家具の中に収納してあるものに被害が出ているためと考えられる。

表2 各家具の被害率(%)

	テレビ	本棚	食器棚	冷蔵庫	タンス
無被害	61.6	54.5	38.6	77.1	63.3
上の物が落ちた	14.7	26.7	36.7	8.5	22.2
ずれた	13.6	12.3	19.9	13.8	12.2
倒れた	6.2	4.9	2.1	0.3	1.7
飛んだ	4.0	1.6	2.8	0.3	0.6
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表3に全地域平均の部屋別の被害率を記す。居間、台所が他の部屋より「一部散乱」や「半分散乱」の割合が高く、比較的危険であった事や、玄関・階段に被害が少なかった事が見て取れる。これは居間や台所に家具を置いていた世帯が多いことが原因と考えられる。どの部屋も「一部散乱」のカテゴリーが25%以上であることから、被害の大きさが分かる。

表3 全地域の部屋別の被害(%)

	居間	台所	寝室	子供部屋	玄関・階段	風呂・トイレ
散乱なし	41.9	41.7	60.7	64.6	70.2	66.1
部屋の一部散乱	48.3	46.9	33.0	28.0	25.9	29.5
部屋の半分散乱	5.1	5.6	3.9	4.3	1.7	3.0
部屋の大部分散乱	2.5	3.0	1.5	1.8	1.4	0.9
部屋の一面散乱	1.9	1.6	0.6	0.9	0.5	0.8
転倒した家具が重なり合うほどに散乱	0.3	1.2	0.9	0.4	0.3	0.6
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

次に、芸予地震の前後における、家具の固定など安全対策について聞いた。質問としては、「地震前、家の中にある家具をどの程度固定していたか」(単一選択式)と、「地震後、それらの家具をどのように変更したか」

(多項目選択式)の2問である。2つの問いのクロス表(表4)より地震前に「全く家具を固定していなかった」と答えた世帯で、地震後「特に対策していない」と答えた世帯が74.9%もあることや、地震前に「大部分の家具を固定していた」と答えた世帯で、地震後「家具の固定方法を変更した」と答えた世帯が8.3%と低いことから、家具固定に関する意識は薄いと考えられる。

表4 地震前後の家具の対策(%)

地震前	全く固定していなかった	一部の家具を固定した	半分以下の家具を固定していた	大部分の家具を固定していた
地震後				
特に対策していない	74.9	51.9	38.5	25
家具を固定した	5.9	16	30.8	33.3
家具の固定方法を変更した	0.8	0.9	15.4	8.3
家具の置き方を工夫した	17.3	28.3	15.4	15.7
その他	1.4	2.8	0	16.7

2.3 人的被害の傾向

はじめにアンケート回答世帯で記入のあった家族構成員の年齢と性別を示す。性別は男性が932人(45.1%)で女性が1050人(50.8%)であった。男女ともに50歳代と60歳代が多い。

次に地震時にどこに滞在していたかという質問を行った。「自宅」「自宅以外の屋外」「屋外」「その他」という項目の中から選択してもらう質問形式を取った。図2に年齢と滞り場所の分布を示す。年齢が増すにつれて、自宅にいた人の比率が上り、屋外にいた人の比率が下がっていることが見て取れる。

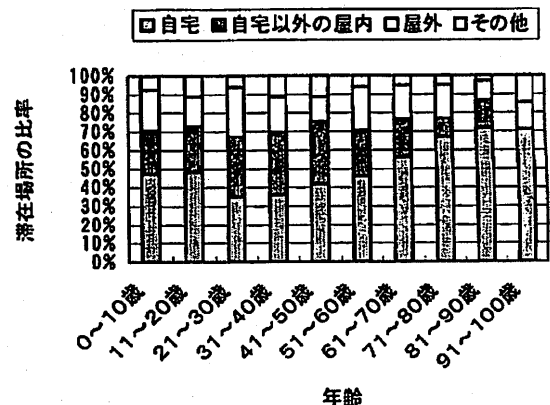


図2 年齢と滞り場所の分布

次に地震時に何をしていましたかという質問を行った。「睡眠」「調理」「食事」「仕事・授業」「休憩」「移動」「その他」という項目の中から選択してもらう質問形式を取った。図3に年齢と地震時の行動を示す。芸予地震が発生した2001年3月24日が土曜日であったことより、休憩を取っていた人が多数見られる。休憩中であるため突然の地震に対処できなかった為に被害がでたということが考えられる。また地震発生時刻が15時27分という昼食時をはずれたことから、調理をしている人と睡眠を取っていた人少なかった。その点に関しては、1995年兵庫県南部地震の発生時刻が5時46分という朝早くの時間帯であったため、睡眠中で逃げ遅れた方もおられると思う。しかし芸予地震では、昼過ぎという比較的行動中の方が多かったため人的被害に大きな影響を与えな

かったと思われる。

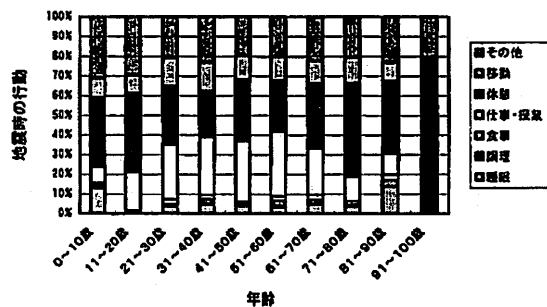


図3 年齢と地震時の行動

次に地震発生時の負傷程度を質問した。「負傷なし」「軽傷」「重傷」という項目の中から選択してもらう質問形式を取った。図4に年齢別による負傷率を示す。年齢グループに分けた時、分母も小さく負傷者が0人で負傷率が0%となる年齢層もあるが、年齢と共に負傷者が増加する傾向が見られる60歳代が1.7%という一番高い負傷率となっている。

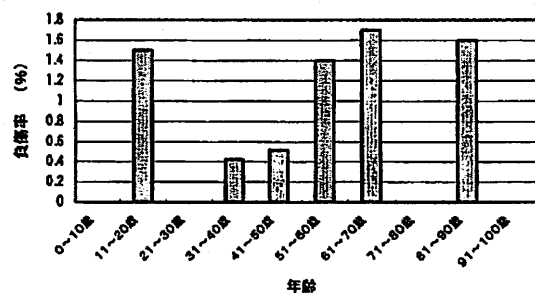


図4 年齢別による負傷率

次に滞在所による負傷者数の数を見た(図5)。重傷者はいないので軽傷者の数を見ていくことにする。軽傷を負った人は地震時に「自宅」にいた傾向が見られる。この人達は、家具の転倒・落下物・ガラス等が原因で軽傷を負っている。また「自宅以外の屋内」で軽傷を負った人の原因は家屋の倒壊と答えている。このことより、芸予地震による室内の被害はかなり大きかったといえる。

表5 地震時の滞在所と負傷程度

	自宅	自宅以外の屋内	屋外	その他	無回答	合計
負傷なし	876	462	355	114	10	1817
軽傷	10	2	1	1	0	14
重傷	0	0	0	0	0	0
無回答	72	26	27	31	78	234
合計	958	490	383	146	88	2065
負傷率(%)	1.13	0.43	0.28	0.87	—	0.76

3. 室内危険度評価システムの構築

3.1 家具被害関数

家具の被害関数²⁾は以下の正規分布関数で与えられる。

$$V(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^I \exp\left[-(I' - I_0)^2 / 2\sigma^2\right] dI'$$

ここに、 I_0 : 被害を起こす平均震度、 σ : 標準偏差

家具の被害関数は、テレビ・本棚・食器棚・冷蔵庫・タンスの5種類があり、それぞれの家具に対して「上の物が落ちた」「ずれた」「倒れた」「飛んだ」の4つの被害レベルが存在する。縄田(2001)が鳥取県西部地震のデータから作成した家具被害関数と、芸予地震のアンケートから得られた地区別被害率を計測震度を横軸にプロットしたところ、ややはずれている箇所もあるが、およそ傾向に合っていることが分かった。図5にテレビの例を示す。今回システムを作成するにあたり、各家具の被害関数は鳥取県西部地震の家具被害関数を使うことにした。

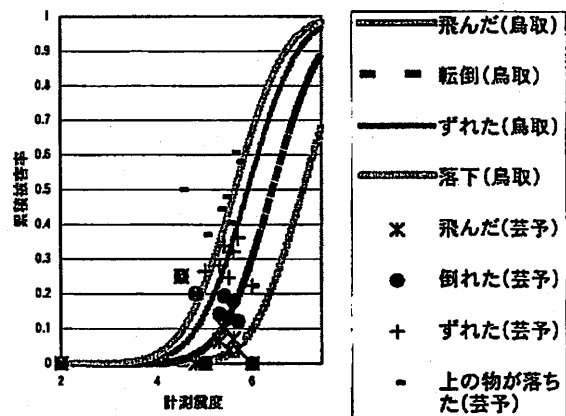


図5 鳥取県西部地震によるテレビの被害関数と芸予地震の被害率

3.2 危険度評価手法

危険度評価手法³⁾において単位区画 x_{ij} に対する転倒危険度を $D_A(x_{ij})$ とすると、

$$D_A(x_{ij}) = \Pr\left(\bigcup_{k=1}^l St_k(x_{ij}) A_k\right)$$

で表す。また単位区画 x_{ij} に対する転倒散乱危険度を $D_B(x_{ij})$ とすると、

$$D_B(x_{ij}) = \Pr\left(\bigcup_{k=1}^l (Stf_k(x_{ij}) A_k \cup Sf_k(x_{ij}) B_k)\right)$$

で表す。ここで、

A_k : 家具 k が転倒する事象

B_k : 家具 k が散乱する事象

l : 評価すべき全家具数

$St_k(x_{ij})$: 家具 k が区画 x_{ij} に「転倒」の影響を及ぼすかどうかの関数

$Sf_k(x_{ij})$: 家具 k が区画 x_{ij} に「散乱」の影響を及ぼすかどうかの関数

$Stf_k(x_{ij})$: 家具 k が区画 x_{ij} に「転倒散乱」の影響を及ぼすかどうかの関数

である。この2式によって転倒危険度と転倒散乱危険度をシステム上に演算し、表示する。これら2種の危険度は確率なので、定義域は0~1である。システムを構築

する上で、プログラミング言語として、Visual Basic 6.0を用いた。

筆者らの研究室で開発してきた既往の住宅室内危険度評価システムは、入力方法、表示方法が難しい上に、転倒・転倒散乱危険度の推定に問題があった。ここではシステムの改訂とそのシステムの実用化を目指す。

本システムの流れとして、まずユーザが部屋の間取りを壁で作成し、間取りの中に家具を入力していき、評価を行いたい部屋を設定する。次に震度を入力すると危険度が推定されて色分け表示される。壁・家具を入力すると住居情報として、一度ファイルに保存される。そして新規作成・評価の終了をすると初期化されるようになっている。また、家具や震度を変更し、危険度の違いを見ることが可能である。また、システムのユーザは、一般市民である。

本システムはメイン画面の前に7つの「初期説明画面」(図6)を経由する。ここでユーザに対して壁や家具等の入力方法を分かり易く説明する。

メイン画面を図7に示す。壁入力や家具入力等は画面上部のメニューバーより選択することで操作する。画面右に現在処理中の作業または提示している結果が表示される。画面右下は家具の詳細、部屋の詳細が表示される。

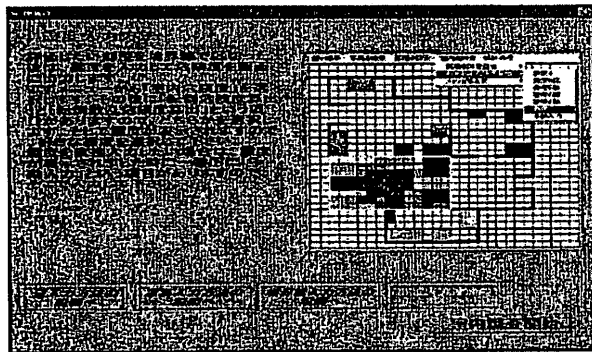


図6 システムの初期説明画面

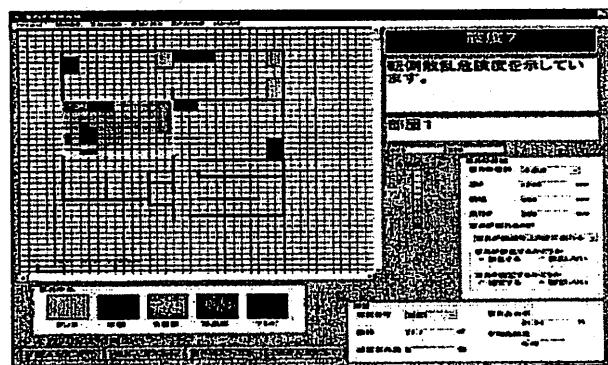


図7 システムのメイン画面

3.3 システムの評価

2003年9月に実際にこのシステムを一般市民と学生のべ15名の方に使ってもらい、システムの評価を行った。評価の方法として、使用後に用意したアンケートに答えてもらうという形をとった。

主な評価結果として、まず「このソフトを使用して、家具の固定を実施しようと思いましたが?」という質問で、「強く思った」・「思った」のカテゴリーを選択した人が7割弱と多かった(図8)。「思わない」と答えた人の中に、「実際に地震に遭ってどんなものかを体験

しないと分からない」と答えた人もいた。

次に「このソフトは使い易かったですか?」という質問をした(図9)。全員が普通以上である「使い易かった」というカテゴリーを選択していることより、本システムは従来のシステムと比較して操作方法が十分に簡単になったものと思われる。

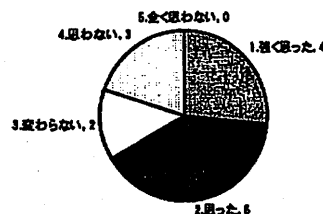


図8 評価アンケートの結果(家具固定の意識)(n=15)

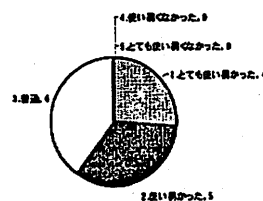


図9 評価アンケートの結果(使い易さ)(n=15)

システムの長所に関する意見として、「自分の部屋が危険である事がわかった」、「危険度の表示が分かり易い」「既往のソフトに比べて迷いがなくてよい」などが指摘された。また問題点として、「家具の種類を増やして欲しい」「家具の高さを考慮に入れて欲しい」等の意見があった。意見より、本システムはまだ改良の余地があると思われる。

4. まとめ

本研究では、2001年に起こった芸予地震において室内被害と人的被害の原因と分布、対策状況を明らかにするを調査するためにアンケート調査を行った。その知見を元に、ユーザにとって分かり易い室内危険度評価システムを構築した。

謝辞

本調査に協力して下さった住民の皆様、各市町村の防災担当各位、広島県危機管理室各位に深く感謝の意を表します。本調査は広島県地震防災対策調査検討委員会(担当村上委員)により実施された。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会：2000年鳥取県西部地震災害調査報告・2001年芸予地震災害調査報告、pp. 249～384, 2001
- 2) 岡田成幸：地震時の室内変容に伴う人的被害危険度に関する研究、その1居住空間危険度マイクロゾーニングの提案、日本建築学会構造系論文報告集、454、pp. 39～49、1993
- 3) 縄田光雄：地震に対する家具被害関数の検証と室内危険度評価ソフトウェアの開発、山口大学理工学研究科修士論文、2001