被災空間の構成部位に基づく危険度評価と避難判断に関する研究

地震の経験差による比較

RESEARCH ON DANGER EVALUATION AND REFUGE JUDGMENT OF THE EARTHQUAKE STRICKEN SPACE BASED ON THE COMPONENTS Comparison by the experience-differences of earthquakes

本 橋 凡*, 岩田 伸一郎**
Bon MOTOHASHI and Shinichiro IWATA

This study elucidates how they evaluate the danger of the space based on the damaged condition of the each element that constitute the space and how the people draw an inference, when they encounter earthquakes inside the building. The evaluation-experience was conducted on the group of examinees who varies in experience-differences of earthquakes using the images of the earthquake-stricken space. This research shows that the tendency of the damage condition of the elements on images that were classified by on the ratio (refuge-rate) of the examinees that replied 'sheltered immediately.' This study derives the Fuzzy Measure, which shows the synergistic and counteracting effect when the plural elements are evaluated simultaneously, from the AHP Pairwise Comparison and choquet integral and also it makes the change of the Fuzzy Measures before and after the Great East Japan Earthquake clear.

Keywords : Evaluation of space, Refuge judgment, AHP pairwise comparison, Fuzzy measure

空間評価, 避難判断, AHP 一対比較, ファジィ測度

1. はじめに

地震発生時に慌てて建物から避難することは、転倒や落下物によるケガなどの二次的な被害を引き起こすリスクが高い。そのため、津波被害や土砂災害の危険性がある地域を除き、地震時の避難判断は火災時の避難判断のように一刻も早く屋外へ脱出することを目指す単目的問題とはならず、まずは「すぐに避難する」か「すぐには避難せずしばらく様子を見る」かの意思決定（以下、避難判断）が重要となる。

地震に遭遇したとき、人々は現場で得られる様々な情報から自身の身の危険さを量り、その程度（以下、危険度）に応じて避難判断を決定していると推測される。本研究グループでは、現場で得られるどのような情報が身の危険を感じさせるのかについてアンケート調査を行い、建物部位の破損状態に関する視覚情報が、地震の揺れの体感と同程度に危険度を高める要因であることを確認している^{1) 2)}。そこで、本稿では地震発生後に建物の状態以外の理由で早急に屋外へ避難する必要が生じない地域を前提として、避難判断が分かれる状況における被災空間の構成部位の破損状態に着目し、被災空間を再現した画像（以下、被災空間画像）を用いた評価実験に基づいて各部位の破損状態と危険度および避難判断との関係を分析する。

地震時の避難行動に関する既往研究は、①被災者へのアンケートやヒアリングに基づいて実際の災害時における人々の行動を事後の

に分析する研究^{4)~7)}、②条件を仮定して群衆行動の予測や避難経路などの評価を行う研究^{8)~11)}、③実空間あるいは仮想空間における被験者実験に基づいて被験者の行動や判断のパターンを明らかにする研究¹²⁾¹³⁾に大別され、仮定の被災空間画像を用いた評価実験に基づく本稿は③の研究に位置付けられる。①の研究では、実際に起こった特定の状況における避難時の実態を知ることができるが、想定される様々な状況に対して避難判断や避難行動の傾向を体系的に把握することは難しい。②の研究では、被災者が避難することを前提として避難行動をモデル化することが主題であり、避難行動に至る意思決定については中心的な課題ではない。③の研究では、信頼性の点において実空間における実験が優位であるが、本稿のように評価対象となる被災空間のパターン数が多い場合には、仮想空間を用いた実験が有効である。

被災空間画像に対する評価と実際の地震遭遇時の実空間に対する評価は必ずしも一致しないが、緊急時の判断は現場における心理的要因よりも平常時の判断傾向に依存することが報告されている¹⁴⁾。本稿の被災空間画像を用いた考察から得られる知見は、上記の平常時の判断傾向に該当し、今後被災者となる可能性のある人々の被災空間に対する潜在的な評価傾向と避難判断の関係を把握することは、被災者心理の視点から防災教育や避難誘導のあり方を考える際に有用な資料になることが期待できる。部位の破損状況に基づいて個々

本稿は、文献1)2)3)のデータをもとに分析をやり直し、全面的に再構成したものである。

* (株)スタートコーポレーション 修士(工学)

** 日本大学生産工学部建築工学科 准教授・博士(工学)

Starts Corporation, M. Eng.

Assoc. Prof., Department of Architecture and Architectural Engineering, College of Industrial Technology, Nihon University, Dr. Eng.

の被験者が独自に避難判断を行うための方法を示すことが本稿の目的ではない。

避難判断の決定に際し、被験者は特定の部位の危険度を評価する場合もあれば、複数の部位を組み合わせで評価する場合もある。後者の場合、特定の部位の破損状態が同時に起こると、空間全体の危険度が過剰に評価されたり過小に評価されたりする状況が予想される。そこで、このような各部位の評価の相乗相殺関係についてファジィ測度を用いて分析し、避難判断との関係について検証する。

東日本大震災（以下、大震災）時にどの程度の揺れを経験しているかが、被災空間画像の評価に強く影響する可能性がある。そこで、被験者として実際に大きな揺れを経験した関東在住の被験者グループ（以下、経験有）と揺れを経験していない関西在住の被験者グループ（以下、経験無）を設定し^{注2)}、両グループによる危険度の評価と避難判断の傾向を比較する。また、大震災を通して人々の地震に関する知識や関心は飛躍的に向上しており、危険度の評価と避難判断に対するこれらの変化の影響を無視することはできない。本研究グループは、大震災前に関東在住の被験者に実施した類似の評価実験データ¹⁾²⁾を所有していることから、対象とした被災空間画像や実験方法の詳細に違いはあるものの、このデータと大震災後の評価実験データを比べることで大震災前後の変化について検証を試みる。なお、東北被災地の住人のように実際に甚大な被害を受けた経験を有する方々については、危険度の評価や避難判断を空間の視覚情報に基づいて行っていると仮説を立てることは適切でないと考え、本稿の対象者からは除外している。

地震規模が大きく部位の破損が著しい場合や、地震規模が小さく目立った破損がほとんど生じない場合における避難判断は自明であることから、本稿では部位の破損状態に対する避難判断が分かれることが想定される震度5弱から震度6強の地震で生じる被災空間を考察対象とする。

2. 研究方法

2.1 分析のフロー

まず、大震災後の経験有と経験無の被験者グループを対象に、被災空間画像を用いて空間全体および画像中の個別部位に対する危険度の評価実験を行う。

考察1では、「すぐに避難する」「すぐには避難せずにしばらく様子を見る」の2択によって被災空間画像全体に対する避難判断を行ってもらい、「すぐに避難する」と回答した被験者数の割合（以下、避難率）に基づいて分類した画像ごとに、各被験者グループの危険度の評価と避難判断の傾向を探る。

被災空間画像全体の評価は、単純に各部位の個別評価の和とはならず、複数の部位を組み合わせる効果によって個々の部位の評価が相乗または相殺されて決定されていると予想される。このように複数指標の間に相乗相殺関係が存在し、必ずしも加法性が成り立たない問題を評価することのできる指標にファジィ測度がある。ファジィ測度は人の行動や判断などの曖昧な現象を扱う問題に適しているため、主観的評価の分析や不確実な知識の推論などに広く応用されており、建築学の分野においても環境に対する好みや心理の評価に適用した研究^{15)~17)}が発表されている。被災空間画像の全体評価と各部位の評価の関係は、独立してはいないが加法性は成立しないとい

う点において、ファジィ測度による評価に適した曖昧な関係である。そこで、考察2では相乗相殺効果を考慮した部位の組み合わせの危険度を評価する指標としてファジィ測度を求め、単体部位やその組み合わせの評価傾向に基づいて各被験者グループの特徴について考察する。さらに、大震災前の評価実験データから同様に各部位の評価のファジィ測度を求め、大震災前後における評価傾向の変化についても検証する。

2.2 対象空間と構成部位の設定

大震災後の2012年10月に実施した評価実験では、経験有の被験者として関東在住の大学生25名（工学系の様々な学科に所属する男性15名と女性10名）、経験無の被験者として関西在住の大学生25名（同じく工学系の様々な学科に所属する男性15名と女性10名）を選定した。対象空間は、「柱」、「壁」、「天井」、「窓」、「棚」、「机」の6部位から構成される空間とし、用途は被験者たちが日常的に利用する環境に置き換えてイメージしやすい大学研究室と設定した（図1右）。

一方、大震災前の2009年9月に実施済の評価実験では、被験者は関東在住の大学生50名（工学系の様々な学科に所属する男性25名と女性25名）で、対象空間の用途は商業施設という設定であった（図1左）。構成する部位についても、「柱」、「壁」、「天井」、「窓」、「棚」^{注3)}の5部位である点で大震災後の被災空間画像と異なるため、考察1において大震災前後を比較することは難しい。一方の考察2では、双方の被災空間画像に共通する部位の組み合わせについては、大震災前後で相乗相殺効果の変化を比較することが可能である。

2.3 被災空間画像の作成と評価の方法

空間の様々な被災状況を表現する被災空間画像は、各部位の破損状態の画像を組み合わせで作成する。気象庁震度階級¹⁸⁾に基づいて震度5弱から震度6強の地震時における6部位の破損程度を確認し、部位ごとに表1に示す3段階の破損レベル（〔無〕、〔中〕、〔大〕）の画像を用意した。これらの画像を組み合わせることで、729パターンの被災空間画像を作成することが可能であるが、破損状態が〔無〕と〔大〕が同時に起こることは想定しにくいことから、これらの組み合わせを含むパターンを除いて127パターンに絞り込んだ。さらに、127パターンの被災空間画像を用いて別の被験者20名に「この空間からすぐに避難しますか」というアンケートを行い、90%（18名）以上の被験者の回答が「Yes」または「No」のどちらかに偏ったパター

図1 被災空間画像（左：大震災前実験、右：大震災後実験）^{注4)}

表1 破損レベルと破損状態

	〔無〕	〔中〕	〔大〕
柱	破損なし	亀裂が入る	亀裂が広がり一部が剥がれ落ちる
壁	破損なし	亀裂が入る	亀裂が広がり一部が剥がれ落ちる
天井	破損なし	一部のパネルが外れる	一部のパネルが落ちる
窓	破損なし	ガラスに亀裂が入る	ガラスが割れ落ちる
棚	破損なし	中もモノが飛び出す	倒れる
机	破損なし	机上のモノが倒れて床に落ちる	机がズレて椅子が倒れる

図2 大震災後実験に用いた42パターンの被災空間画像（上段）と大震災前実験に用いた30パターンの被災空間画像（下段）

ンを避難判断が自明なパターンとして除外することで、最終的に評価実験に使用する 42 パターンの被災空間画像（図 2 上段）を決定した。42 パターンについては、その全てが破損レベル[無]または[中]の部位で構成されており、一つの部位が破損レベル[大]となると、ほとんどの被験者が「すぐに避難する」と回答することが判明した。大震災前の評価実験についても、同様の手順で評価実験に用いる 30 パターンの被災空間画像（図 2 下段）を決定している。

評価実験の手順として、研究室に在室中に大きな地震に遭遇した場面であることを説明した後、本震が治まった直後の室内の状態として提示した 42 パターンの被災空間画像に対する避難判断を 2 択で回答してもらった。また、被災空間画像全体の危険度とそれを構成する 6 部位の個々の危険度について、[とても危険 / やや危険 / どちらでもない / やや安全 / とても安全]の 5 段階で評価してもらった。

- その他、被災空間画像の提示方法については以下の通りである。
- ・評価実験は 1 名ずつ行う。
 - ・着座姿勢の被験者に対し、画面までの距離が 60 センチとなるように設置した 27 インチ液晶モニターに被災空間画像を 1 枚ずつ提示する。
 - ・各被災空間画像は 1 度だけ提示する。
 - ・提示順はランダムとし、その順番は被験者ごとに異なる。
 - ・評価時間は 1 画像あたり 30 秒を目安とする。
(注視時間：10 秒間、回答時間：20 秒)

3. 避難率に基づく被災空間画像の比較（考察 1）

42 パターンの被災空間画像について、経験有と経験無の各被験者グループが評価した危険度の平均値と避難率の結果を図 3 に示す。個々の被災空間画像の危険度を算出するにあたっては外れ値の発生が予想される。外れ値となる評価を行う被験者は被災空間画像ごとに異なるため、外れ値を除外しようとする、同一の被験者の回答を有効と見なしたり無効と見なしたりすることになり好ましくない。外れ値は異常値であるとは限らないため、評価実験の結果については、特には選別を行わず全被験者の回答を有効回答と扱っている。図 3 の横軸は被災空間画像の画像番号を示し、避難率の低い順に並べている。さらに、どのような部位の破損状態の被災空間画像が避難判断において「すぐに避難する」または「すぐには避難せずにしばらく様子を見る」と評価されるのかを把握するために、避難率の値が 30%未満の画像を【避難率-低】、30%以上かつ 70%未満

の画像を【避難率-中】、70%以上の画像を【避難率-高】と定義し、それぞれのカテゴリに分類される被災空間画像の画像番号、画像数、危険度平均値、避難率を経験の有無別にまとめて表 2 に示す。

3.1 危険度および避難率の平均値

まず、全パターンの被災空間画像について両被験者グループの一般的な傾向を比較する。危険度の平均値は、経験有が経験無に対して 1 割ほど高く、避難率は経験有が経験無よりも 9.76%高い。これは、大震災で大きな揺れを経験していることが空間を危険と評価させ、同時に避難に対する意識を高めていることを示している。危険度と避難率の相関性については、大略的には危険度の高い画像の避難率が高くなる傾向を確認できるものの、避難率に大きな差が無い場合には危険度との大小関係が逆転することが多く、厳密には 2 つの指標が連動しているとは言い難い。

3.2 避難率別の画像数

表 2 を用いて避難率のカテゴリ別に画像数を比較すると、経験無では 11 画像あった【避難率-低】の画像数は経験有で 7 画像と少なく、反対に経験無では 5 画像あった【避難率-高】の画像数は経験有では約 3 倍の 14 画像と多い。【避難率-低】と【避難率-高】のカテゴリに分類された画像番号を見ると、【避難率-低】では経験有の 7 画像中 5 画像が経験無にも含まれ、【避難率-高】では経験無の 5 画像の全てが経験有にも含まれている。経験の有無によって評価される被災空間画像の序列が大きく変化してはいないことが分かる。

3.3 避難率別の部位破損状況

避難率の各カテゴリに分類された被災空間画像を構成する各部位の破損状況を調べ、各部位が破損している画像が含まれる頻度（以下、破損頻度）と 1 画像あたりに含まれる破損部位数について避難判断との関係を考察した。2.3 で既に説明したように、42 パターンの被災空間画像には破損レベル[大]を含む画像が無いことから、各部位の破損頻度はその部位が破損レベル[中]である比率を意味する。破損頻度をグラフ化して図 4 に示す。

【避難率-低】では、予想通り経験有と経験無の双方で部位の破損頻度が全般的に低い。経験有では破損頻度が 60%と比較的に高い机、棚、窓と、30%以下と低い柱、壁、天井に二分される。一方の経験無では、柱を除いて経験有よりも破損頻度は高く、特に棚は 81%と際立っている。経験有では、建物の強度に関係する躯体部位の破損頻度が低く、什器や窓などの移動や取り外しが可能な部位の損頻度が高くなる傾向が確認できる。

図 3 危険度と避難率

表 2 被災空間画像中の各部位の破損状況

経験有								
避難率	画像番号	柱	壁	天井	窓	棚	机	破損部位数
【低】	9				×	×	×	3
	18		×			×		2
	26				×		×	2
	28		×		×			2
	29			×		×	×	3
	33				×	×		2
	38	×					×	2
7 画像		危険度平均値 2.84		避難率 20.10%		2.29		
【中】	1			×		×		2
	3	×	×	×			×	4
	5	×						1
	7	×				×	×	3
	11		×	×	×			3
	13		×	×			×	3
	14	×		×		×		3
	15	×	×			×		3
	21	×			×		×	3
	22	×	×					2
	23		×	×		×		3
	25		×			×		2
	27	×		×				2
	30			×	×	×	×	4
	31	×				×		2
	34		×			×	×	3
	37	×		×			×	3
	39			×	×	×		3
	40		×		×		×	3
	41		×		×		×	3
	42	×			×	×		3
21 画像		危険度平均値 3.38		避難率 47.08%		2.76		
【高】	2		×		×	×	×	4
	4	×	×		×	×		4
	6		×	×		×	×	4
	8	×		×		×	×	4
	10		×	×	×	×		4
	12	×	×	×	×		×	4
	16	×	×	×				3
	17	×		×	×			3
	19		×	×	×	×	×	5
	20	×	×	×	×		×	5
	24	×	×		×		×	4
	32	×	×		×			3
	35	×	×	×	×			4
	36	×	×			×	×	4
14 画像		危険度平均値 4.03		避難率 80.15%		3.93		

経験無								
避難率	画像番号	柱	壁	天井	窓	棚	机	破損部位数
【低】	1			×		×		2
	9				×	×	×	3
	18		×			×		2
	23		×	×		×		3
	25		×		×	×		3
	26				×		×	2
	28		×		×			2
	29			×		×	×	3
	33				×	×		2
	34		×			×	×	3
	39			×	×	×		3
11 画像		危険度平均値 2.71		避難率 18.18%		2.55		
【中】	2		×		×	×	×	4
	3	×	×				×	3
	4	×	×		×	×		4
	5	×						1
	6		×	×		×	×	4
	7	×				×	×	3
	10	×		×	×	×		4
	11		×	×	×			3
	13		×	×			×	3
	14	×		×		×		3
	15	×	×			×		3
	16	×	×	×				3
	17	×		×	×			3
	19		×	×	×	×	×	5
	21	×			×		×	3
	22	×	×					2
	27	×		×				2
	30			×	×	×	×	4
	31	×				×		2
	32	×	×		×			3
	36	×	×			×	×	4
	37	×		×			×	3
	38	×					×	2
	40		×		×		×	3
	41	×			×	×		3
	42		×	×	×		×	4
26 画像		危険度平均値 3.26		避難率 48.71%		3.16		
【高】	8	×		×		×	×	4
	12	×		×	×		×	4
	20	×	×	×	×		×	5
	24	×	×		×		×	4
	35	×	×	×	×			4
	5 画像	危険度平均値 3.83		避難率 75.00%		4.20		

※網掛けされた画像番号は、経験有と経験無で避難率のカテゴリが一致

図 4 経験有無別・避難率別の部位破損頻度

1 画像に含まれる破損部位数の平均は、経験有で 2.29 部位と机、棚、窓のうちの 2 部位が破損しても避難の必要性がないと判断されていることが推測できる。経験無では 2.55 部位と経験有より 1 割ほど高いものの、3 部位には届いていない。それにも係らずに棚の破損頻度が 80%を超える高い値であることは、ほとんどの被験者が棚の破損を避難判断と結びつけていないと考えられる。

【避難率-中】では、経験有と経験無の双方で【避難率-低】よりもグラフの形状が整形な六角形に近づく点で共通している。

1 画像に含まれる破損部位数の平均は、経験有で 2.76 部位、経験無で 3.16 部位と共に 3 付近の値となっており、3 部位の破損が避難の必要性を意識する目安になっていることが予想される。

【避難率-高】では、経験有の柱、壁、天井、窓の破損頻度が 69～79%と、棚、机の 50～57%に比べて高い。一方で、経験無は壁、天井、窓、机の破損頻度が 60～80%、柱が 100%、棚が 20%と破損頻度のはらつきが大きい。経験有では、机や棚の破損頻度が他の部位よりも低く、躯体部位である柱と壁の破損頻度についても、経験無と比べて大小関係が逆転している点が特徴として挙げられる。経験無については、棚の破損が避難判断を迷わせる要因になっている可

能性が推測できる。

1 画像に含まれる破損部位数の平均は、経験有で 3.93 部位、経験無で 4.20 部位と共に 4 付近の値である。各部位の破損頻度に関しては特徴的な差を確認できる一方で、破損部位数に関しては大差が見られない。

4 ファジィ測度に基づく部位の組み合わせ評価（考察 2）

4.1 AHP 一対比較を用いた部位の重要度

評価実験で得られた各部位の危険度の 5 段階評価値を用いて、被災空間画像全体の評価における部位相互の重み付けを単純に比較することはできない。危険度の値が同じであっても、ガラスの破損による怪我が心配される窓の危険度 5 と、建物の倒壊による生命の危険が心配される柱の危険度 5 では、同じ危険度 5 でも避難判断時の重み付けは大きく異なる。そこで、6 部位の危険度の大小関係を直接的に比較可能にするための補正值として、AHP 一対比較を用いて避難判断を下す際の 6 部位の評価の重み付け（以下、重要度）を導く。

AHP 一対比較は、互いに共通の尺度を持たない複数の評価基準が存在する問題において代替案の序列を決定する手法であり、その過程で評価基準の“重み”が導かれる。2 択の避難判断を“代替案”、6 部位の種類を“評価基準”と設定したとき、導かれる重みを 6 部位の重要度と解釈することができる。AHP 一対比較の評価実験は被験者にとって判断が容易で、細かい差を識別する問題に適しているという長所を持つ。

AHP 一対比較を用いて個々の被験者に固有の重要度を求めた後、以下に提案する手順で複数被験者の重要度の平均値を算出する。

1. 評価実験とは異なる 10 名の被験者に同じ地震規模で起こる 6 部位の破損状態のペア画像を提示し、避難判断においてどちらの部

位の破損状態を重視するのかを 5 段階^{注5)}で回答してもらうことで、個々の被験者の重要度を示すペア比較マトリクスを導く。

2. 複数のペア画像を評価するプロセスではどうしても整合性がない回答となることも想定され、このような整合性がない被験者の回答を除外するために、式 1 に示す Satty の定理を用いて整合度 C. I. ≤ 1.5 となる被験者の回答を選別する。
3. 選別された個々の被験者のペア比較マトリクスに対し、式 2 に示す幾何平均法^{注6)}を用いて合成ペア比較マトリクスを算出する。
4. 合成ペア比較マトリクスから、各行の値の幾何平均を求める。全ての行の幾何平均の和を分母として各行の幾何平均を除した値が、各部位の重要度となる。

$$\text{整合度 C. I.} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \dots \text{(式 1)}$$

$\lambda_{\max}$: 最大固有値, n : 固有値数

一対比較により得られる各被験者のペア比較マトリクス A, B, C, …が

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & 1 & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & 1 & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & 1 & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad \dots$$

であるとき、n 名の被験者の合成ペア比較マトリクス X は

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & 1 & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ただし、} x_{ij} = \sqrt[n]{a_{ij} \times b_{ij} \times c_{ij} \times \dots} \quad \dots \text{(式 2)}$$

表 3 大震災前後における 6 部位の重要度

	柱	壁	天井	窓	棚	机	計
大震災後	0.443	0.268	0.160	0.058	0.042	0.028	1.000
大震災前	0.370	0.197	0.287	0.103	0.044	–	1.000

表 4 大震災前のファジィ測度と相乗相殺量

組み合わせ評価 部位	【避難率-低】			【避難率-中】			【避難率-高】			個別評価 部位
	F 測度	相乗相殺量	F 測度和	F 測度	相乗相殺量	F 測度和	F 測度	相乗相殺量	F 測度和	
{ 柱 }	0.056			0.063			0.063			
{ 壁 }	0.025			0.024			0.025			
{ 天 }	0.041			0.063			0.044			
{ 窓 }	0.011			0.011			0.011			
{ 棚 }	0.004			0.004			0.004			
{ 柱, 壁 }	0.081	>	0.000	0.081	>	0.043	0.131	>	0.044	{ 柱 } { 壁 }
{ 柱, 天 }	0.185	>	0.088	0.097	>	0.057	0.126	>	0.076	{ 柱 } { 天 }
{ 柱, 窓 }	0.086	>	0.018	0.067	>	0.019	0.074	>	0.020	{ 柱 } { 窓 }
{ 柱, 棚 }	0.067	>	0.007	0.060	>	0.007	0.067	>	0.007	{ 柱 } { 棚 }
{ 壁, 天 }	0.096	>	0.030	0.066	>	0.009	0.087	>	0.030	{ 壁 } { 天 }
{ 壁, 窓 }	0.045	>	0.008	0.036	>	0.008	0.035	>	0.008	{ 壁 } { 窓 }
{ 壁, 棚 }	0.032	>	0.003	0.029	<	-0.002	0.028	<	-0.002	{ 壁 } { 棚 }
{ 天, 窓 }	0.066	>	0.013	0.052	>	-0.007	0.074	>	0.013	{ 天 } { 窓 }
{ 天, 棚 }	0.050	>	0.005	0.045	>	-0.015	0.067	>	0.005	{ 天 } { 棚 }
{ 窓, 棚 }	0.017	>	0.001	0.016	<	-0.002	0.014	<	-0.002	{ 窓 } { 棚 }
{ 柱, 壁, 天 }	0.174	>	0.052	0.122	>	0.183	0.151	>	0.203	{ 柱 } { 壁 } { 天 }
{ 柱, 壁, 窓 }	0.173	>	0.080	0.092	>	0.084	0.098	>	0.086	{ 柱 } { 壁 } { 窓 }
{ 柱, 壁, 棚 }	0.141	>	0.056	0.085	>	0.058	0.092	>	0.058	{ 柱 } { 壁 } { 棚 }
{ 柱, 天, 窓 }	0.230	>	0.122	0.108	>	0.112	0.137	>	0.133	{ 柱 } { 天 } { 窓 }
{ 柱, 天, 棚 }	0.190	>	0.089	0.101	>	0.077	0.130	>	0.095	{ 柱 } { 天 } { 棚 }
{ 柱, 窓, 棚 }	0.101	>	0.029	0.072	<	-0.026	0.078	>	0.030	{ 柱 } { 窓 } { 棚 }
{ 壁, 天, 窓 }	0.138	>	0.068	0.070	>	0.046	0.091	>	0.068	{ 壁 } { 天 } { 窓 }
{ 壁, 天, 棚 }	0.112	>	0.042	0.070	>	0.021	0.091	>	0.040	{ 壁 } { 天 } { 棚 }
{ 壁, 窓, 棚 }	0.054	>	0.014	0.041	>	0.013	0.039	>	0.013	{ 壁 } { 窓 } { 棚 }
{ 天, 窓, 棚 }	0.078	>	0.022	0.056	<	0.000	0.078	>	0.020	{ 天 } { 窓 } { 棚 }
{ 柱, 壁, 天, 窓 }	0.243	>	0.109	0.133	>	0.285	0.161	>	0.309	{ 柱 } { 壁 } { 天 } { 窓 }
{ 柱, 壁, 天, 棚 }	0.353	>	0.227	0.126	>	0.220	0.155	>	0.239	{ 柱 } { 壁 } { 天 } { 棚 }
{ 柱, 壁, 窓, 棚 }	0.199	>	0.103	0.097	>	0.105	0.102	>	0.106	{ 柱 } { 壁 } { 窓 } { 棚 }
{ 柱, 天, 窓, 棚 }	0.194	>	0.081	0.112	>	0.140	0.141	>	0.159	{ 柱 } { 天 } { 窓 } { 棚 }
{ 壁, 天, 窓, 棚 }	0.080	<	-0.001	0.082	>	0.055	0.102	>	0.076	{ 壁 } { 天 } { 窓 } { 棚 }
{ 柱, 壁, 天, 窓, 棚 }	0.278	>	0.141	0.137	>	0.336	0.165	>	0.358	{ 柱 } { 壁 } { 天 } { 窓 } { 棚 }

※網掛けは相殺効果

上記の手順で導いた重要度を表3に示す。大震災前の重要度についても、同様に算出している。

4.2. ファジィ測度とショケ積分型重回帰式

4.1で求めた重要度と式3に示すショケ積分式を用いて、経験有と経験無のそれぞれについて部位の組み合わせに対する危険度のファジィ測度を求める。ファジィ測度は、値が大きいかほど単体部位また

は部位の組み合わせが危険と評価されていることを意味する。さらに、部位の組み合わせのファジィ測度と単体部位のファジィ測度の和との差を相乗相殺量と定義し、この値によって相乗相殺効果を判定する。相乗相殺量が正の場合は相乗効果を意味し、負の場合は相殺効果を意味する。

表5 大震災後のファジィ測度と相乗相殺量

組み合わせ評価 部位	経験有									経験無									個別評価 部位
	【避難率-低】			【避難率-中】			【避難率-高】			【避難率-低】			【避難率-中】			【避難率-高】			
	フ ァ ジ ィ 測 度	相 乗 相 殺 量	フ ァ ジ ィ 測 度 和	フ ァ ジ ィ 測 度	相 乗 相 殺 量	フ ァ ジ ィ 測 度 和	フ ァ ジ ィ 測 度	相 乗 相 殺 量	フ ァ ジ ィ 測 度 和	フ ァ ジ ィ 測 度	相 乗 相 殺 量	フ ァ ジ ィ 測 度 和	フ ァ ジ ィ 測 度	相 乗 相 殺 量	フ ァ ジ ィ 測 度 和	フ ァ ジ ィ 測 度	相 乗 相 殺 量	フ ァ ジ ィ 測 度 和	
{柱}	0.077			0.086			0.087			0.068			0.086			0.092			
{壁}	0.037			0.039			0.040			0.045			0.040			0.040			
{天}	0.018			0.019			0.019			0.016			0.019			0.020			
{窓}	0.006			0.006			0.006			0.005			0.006			0.006			
{棚}	0.004			0.004			0.004			0.005			0.004			0.004			
{机}	0.003			0.002			0.002			0.003			0.002			0.002			
{柱, 壁}	0.193	> 0.080	0.114	0.208	> 0.083	0.125	0.217	> 0.089	0.127	0.189	> 0.075	0.114	0.211	> 0.085	0.126	0.226	> 0.095	0.131	{柱}{壁}
{柱, 天}	0.135	> 0.040	0.095	0.146	> 0.041	0.105	0.149	> 0.043	0.106	0.122	> 0.038	0.084	0.146	> 0.042	0.105	0.160	> 0.048	0.112	{柱}{天}
{柱, 窓}	0.096	> 0.012	0.083	0.104	> 0.013	0.092	0.107	> 0.013	0.093	0.085	> 0.012	0.074	0.105	> 0.013	0.092	0.113	> 0.015	0.098	{柱}{窓}
{柱, 棚}	0.090	> 0.009	0.081	0.099	> 0.009	0.090	0.099	> 0.009	0.091	0.082	> 0.009	0.073	0.099	> 0.009	0.090	0.104	> 0.009	0.095	{柱}{棚}
{柱, 机}	0.085	> 0.006	0.080	0.094	> 0.006	0.088	0.095	> 0.005	0.089	0.077	> 0.006	0.071	0.094	> 0.006	0.088	0.099	> 0.005	0.094	{柱}{机}
{壁, 天}	0.072	> 0.018	0.054	0.077	> 0.019	0.058	0.080	> 0.020	0.060	0.078	> 0.017	0.061	0.079	> 0.020	0.059	0.080	> 0.021	0.060	{壁}{天}
{壁, 窓}	0.049	> 0.006	0.043	0.051	> 0.006	0.045	0.053	> 0.006	0.046	0.057	> 0.006	0.051	0.052	> 0.006	0.046	0.052	> 0.007	0.046	{壁}{窓}
{壁, 棚}	0.045	> 0.004	0.041	0.047	> 0.004	0.043	0.048	> 0.004	0.044	0.056	> 0.005	0.050	0.048	> 0.004	0.044	0.047	> 0.004	0.043	{壁}{棚}
{壁, 机}	0.042	> 0.003	0.039	0.044	> 0.003	0.041	0.045	> 0.002	0.043	0.051	> 0.003	0.048	0.045	> 0.003	0.042	0.044	> 0.002	0.042	{壁}{机}
{天, 窓}	0.027	> 0.003	0.024	0.028	> 0.003	0.025	0.028	> 0.003	0.025	0.024	> 0.003	0.021	0.028	> 0.003	0.025	0.029	> 0.003	0.026	{天}{窓}
{天, 棚}	0.024	> 0.002	0.022	0.025	> 0.002	0.023	0.025	> 0.002	0.023	0.022	> 0.002	0.020	0.025	> 0.002	0.023	0.026	> 0.002	0.024	{天}{棚}
{天, 机}	0.021	> 0.001	0.020	0.023	> 0.001	0.021	0.023	> 0.001	0.022	0.020	> 0.001	0.018	0.023	> 0.001	0.021	0.023	> 0.001	0.022	{天}{机}
{窓, 棚}	0.011	> 0.001	0.011	0.011	> 0.001	0.010	0.010	> 0.001	0.010	0.011	> 0.001	0.010	0.011	> 0.001	0.010	0.010	> 0.001	0.010	{窓}{棚}
{窓, 机}	0.009	> 0.000	0.009	0.009	> 0.000	0.008	0.009	> 0.000	0.008	0.008	> 0.000	0.008	0.009	> 0.000	0.008	0.009	> 0.000	0.008	{窓}{机}
{棚, 机}	0.007	> 0.000	0.007	0.007	> 0.000	0.006	0.006	> 0.000	0.006	0.008	> 0.000	0.008	0.007	> 0.000	0.006	0.006	> 0.000	0.006	{棚}{机}
{柱, 壁, 天}	0.313	> 0.182	0.131	0.330	> 0.187	0.144	0.344	> 0.197	0.147	0.301	> 0.172	0.129	0.335	> 0.190	0.145	0.365	> 0.213	0.151	{柱}{壁}{天}
{柱, 壁, 窓}	0.232	> 0.112	0.120	0.246	> 0.115	0.131	0.254	> 0.121	0.133	0.225	> 0.106	0.119	0.249	> 0.118	0.131	0.269	> 0.132	0.138	{柱}{壁}{窓}
{柱, 壁, 棚}	0.221	> 0.103	0.118	0.235	> 0.106	0.129	0.242	> 0.111	0.131	0.217	> 0.098	0.119	0.238	> 0.108	0.130	0.251	> 0.116	0.135	{柱}{壁}{棚}
{柱, 壁, 机}	0.210	> 0.094	0.116	0.224	> 0.097	0.127	0.233	> 0.103	0.130	0.206	> 0.090	0.116	0.227	> 0.099	0.128	0.242	> 0.108	0.134	{柱}{壁}{机}
{柱, 天, 窓}	0.163	> 0.062	0.101	0.174	> 0.064	0.111	0.179	> 0.067	0.112	0.148	> 0.059	0.089	0.175	> 0.064	0.111	0.191	> 0.074	0.118	{柱}{天}{窓}
{柱, 天, 棚}	0.155	> 0.056	0.099	0.166	> 0.057	0.109	0.169	> 0.059	0.110	0.142	> 0.053	0.089	0.167	> 0.058	0.109	0.179	> 0.064	0.115	{柱}{天}{棚}
{柱, 天, 机}	0.147	> 0.050	0.097	0.158	> 0.051	0.107	0.161	> 0.053	0.109	0.134	> 0.048	0.087	0.159	> 0.051	0.107	0.171	> 0.057	0.114	{柱}{天}{机}
{柱, 窓, 棚}	0.112	> 0.024	0.088	0.120	> 0.024	0.096	0.121	> 0.024	0.097	0.101	> 0.023	0.078	0.120	> 0.024	0.096	0.127	> 0.025	0.101	{柱}{窓}{棚}
{柱, 窓, 机}	0.106	> 0.020	0.086	0.114	> 0.019	0.094	0.115	> 0.020	0.095	0.095	> 0.019	0.076	0.114	> 0.020	0.094	0.121	> 0.021	0.100	{柱}{窓}{机}
{柱, 棚, 机}	0.100	> 0.016	0.084	0.108	> 0.016	0.092	0.108	> 0.015	0.093	0.091	> 0.015	0.076	0.108	> 0.016	0.092	0.112	> 0.015	0.098	{柱}{棚}{机}
{壁, 天, 窓}	0.091	> 0.030	0.060	0.095	> 0.031	0.064	0.099	> 0.033	0.066	0.148	> 0.082	0.066	0.097	> 0.032	0.065	0.100	> 0.034	0.066	{壁}{天}{窓}
{壁, 天, 棚}	0.085	> 0.027	0.058	0.090	> 0.028	0.062	0.092	> 0.028	0.063	0.142	> 0.076	0.066	0.091	> 0.028	0.063	0.092	> 0.029	0.063	{壁}{天}{棚}
{壁, 天, 机}	0.080	> 0.024	0.057	0.085	> 0.024	0.060	0.087	> 0.025	0.062	0.134	> 0.071	0.064	0.086	> 0.025	0.061	0.088	> 0.026	0.062	{壁}{天}{机}
{壁, 窓, 棚}	0.059	> 0.012	0.047	0.061	> 0.012	0.049	0.062	> 0.012	0.050	0.068	> 0.012	0.056	0.061	> 0.012	0.050	0.061	> 0.012	0.049	{壁}{窓}{棚}
{壁, 窓, 机}	0.055	> 0.009	0.046	0.056	> 0.009	0.047	0.058	> 0.009	0.049	0.063	> 0.010	0.053	0.057	> 0.010	0.048	0.058	> 0.010	0.048	{壁}{窓}{机}
{壁, 棚, 机}	0.051	> 0.007	0.043	0.053	> 0.007	0.045	0.054	> 0.007	0.046	0.062	> 0.009	0.053	0.053	> 0.007	0.046	0.052	> 0.007	0.045	{壁}{棚}{机}
{天, 窓, 棚}	0.034	> 0.006	0.028	0.035	> 0.006	0.029	0.035	> 0.006	0.029	0.031	> 0.006	0.026	0.035	> 0.006	0.029	0.036	> 0.006	0.030	{天}{窓}{棚}
{天, 窓, 机}	0.031	> 0.005	0.027	0.032	> 0.005	0.027	0.033	> 0.005	0.028	0.028	> 0.005	0.024	0.032	> 0.005	0.027	0.033	> 0.005	0.028	{天}{窓}{机}
{天, 棚, 机}	0.028	> 0.004	0.024	0.029	> 0.004	0.025	0.029	> 0.004	0.025	0.027	> 0.004	0.023	0.029	> 0.004	0.025	0.029	> 0.004	0.026	{天}{棚}{机}
{窓, 棚, 机}	0.015	> 0.001	0.013	0.014	> 0.001	0.012	0.013	> 0.001	0.012	0.014	> 0.001	0.013	0.014	> 0.001	0.012	0.013	> 0.001	0.012	{窓}{棚}{机}
{柱, 壁, 天, 窓}	0.372	> 0.235	0.138	0.389	> 0.239	0.150	0.405	> 0.253	0.153	0.357	> 0.222	0.135	0.394	> 0.244	0.151	0.430	> 0.273	0.158	{柱}{壁}{天}{窓}
{柱, 壁, 天, 棚}	0.355	> 0.220	0.136	0.372	> 0.225	0.148	0.384	> 0.234	0.150	0.343	> 0.209	0.134	0.377	> 0.228	0.149	0.404	> 0.249	0.155	{柱}{壁}{天}{棚}
{柱, 壁, 天, 机}	0.340	> 0.206	0.134	0.356	> 0.210	0.146	0.369	> 0.220	0.149	0.328	> 0.196	0.132	0.360	> 0.213	0.147	0.389	> 0.236	0.154	{柱}{壁}{天}{机}
{柱, 壁, 窓, 棚}	0.264	> 0.139	0.124	0.280	> 0.145	0.135	0.287	> 0.149	0.137	0.257	> 0.134	0.124	0.281	> 0.145	0.135	0.299	> 0.157	0.141	{柱}{壁}{窓}{棚}
{柱, 壁, 窓, 机}	0.252	> 0.129	0.123	0.265	> 0.132	0.133	0.275	> 0.140	0.136	0.245	> 0.124	0.122	0.268	> 0.135	0.134	0.287	> 0.148	0.140	{柱}{壁}{窓}{机}
{柱, 壁, 棚, 机}	0.240	> 0.119	0.121	0.254	> 0.123	0.131	0.260	> 0.127	0.133	0.236	> 0.115	0.121	0.256	> 0.124	0.132	0.269	> 0.132	0.137	{柱}{壁}{棚}{机}
{柱, 天, 窓, 棚}	0.187	> 0.082	0.105	0.198	> 0.083	0.115	0.202	> 0.085	0.116	0.171	> 0.077	0.094	0.199	> 0.084	0.115	0.214	> 0.092	0.121	{柱}{天}{窓}{棚}
{柱, 天, 窓, 机}	0.178																		

$$(C) \int f d \mu = \sum_{i=1}^n \mu(A_i)(t_i - t_{i-1}) \quad \cdots (式3)$$

$\mu(A_i)$: 重要度, t_i : 危険度の評価値

大震災前における5部位の全組み合わせパターンファジィ測度と相乗相殺量を表4に示す。また、大震災後における経験有と経験無について、6部位の全組み合わせパターンファジィ測度と相乗相殺量を表5に示す。大震災後においては、経験有と経験無の全ての組み合わせが相乗効果となっている。一方、大震災前については、数は少ないもののいくつかの組み合わせが相殺効果を示しており、これらの部位の組み合わせには必ず棚が含まれている。大震災前には棚からモノが落ちて散乱する状況が稀に危険度を減少させる可能性があったが、大震災を経てそのような傾向は見られなくなっている。

4.3 同一組み合わせのファジィ測度比較

大震災後の経験有/経験無と大震災前について、部位の同一組み合わせのファジィ測度を比較する。避難率ごとに図5に示すグラフを作成し、3者の差が特徴的にあらわれている部位の組み合わせを視覚的に抽出した。全般的な特徴として、部位数が増えるとファジィ測度は増加するが、部位の組み合わせによっては、部位数が少ない組み合わせの方がファジィ測度が高くなる場合も多い。

大震災後の経験有と経験無のファジィ測度は、【避難率-中】と【避難率-高】のほとんどの組み合わせで近い値となっている。【避難率-低】においても基本的には近い値であるが、経験無の{壁, 天井, 窓}と{壁, 天井, 棚}のファジィ測度が経験有に比べて大幅に高い点で他の避難率と異なる。

大震災前のファジィ測度については、【避難率-中】と【避難率-高】における各組み合わせのファジィ測度は類似した序列を示しているが、【避難率-低】では{柱, 壁, 天井}および{柱, 壁, 天井, 窓}のファジィ測度が相対的に小さいことが特徴的である。このことから、「すぐには避難しない」と判断される被災空間画像において、2つの躯体部位が危険度を高める要因になっていないことが避難率の低さの原因になっていると推測される。

大震災前後のファジィ測度の比較については、どの避難率においても相違点が多い。大震災後と比べ、大震災前には躯体部位である柱と壁を共に含む組み合わせが必ずしも高い相乗効果を示しておらず、壁よりも天井を含む組み合わせの方が高いファジィ測度を示している。3部位の組み合わせに着目してみると、大震災後に対して全ての避難率で{柱, 壁, 窓}と{柱, 壁, 棚}のファジィ測度が小さく、反対に{柱, 天井, 窓}と{柱, 天井, 棚}のファジィ測度が大きい。この傾向は、4部位の組み合わせにおいても大震災前に{柱, 壁, 窓, 棚} < {柱, 天井, 窓, 棚}であったファジィ測度の関係が大震災後に逆転する結果として表れている。2部位の組み合わせにおいても、大震災前後で天井を含む組み合わせと壁を含む組み合わせのファジィ測度の大小関係が逆転することが確認できる。

4.4 大震災前後におけるファジィ測度の変化率

大震災の経験が、各部位の評価の相乗相殺効果にどのような影響を与えているのかについて考察する。ファジィ測度の値は組み合わせる部位数が多くなると一般的に大きくなる傾向があるため、大震災前後のファジィ測度の変化率に着目する。ファジィ測度の値が大

図5 同一組み合わせのファジィ測度比較

震災前後で30%以上の変化を示している部位の組み合わせを抽出し、経験の有無別に表6にまとめた。

全般的に、ファジィ測度が減少している組み合わせ数の方が増加している組み合わせ数よりも若干多く、個々の変化率の値も大きい。表4および表5の単体部位の危険度を比べると、大震災後の方が大震災前よりも高い値となっており、単体部位の危険度が既に高く評価されているために組み合わせによる相乗効果の余地が小さいことが理由として考えられる。

4.4.1 危険度を減少させる部位の組み合わせ

経験有の【避難率-低】において減少側に挙げられた11通りの組み合わせを見てみると、天井を含む組み合わせが7通り、窓を含む組み合わせが6通りと多く、全ての組み合わせが天井または窓を含んでいる。天井と窓の両方を含む組み合わせは2通りのみで、これらの部位は単独で他の部位の危険度の評価を減少させる作用を持つことが予想される。一方、経験無の【避難率-低】において減少側に挙げられた9通りの組み合わせを見てみると、天井を含む組み合わせが7通り、窓を含む組み合わせが5通りと、経験有と同様の傾向を確認できる。

【避難率-中】と【避難率-高】では、経験有と経験無で抽出される組み合わせが一致しており、【避難率-低】と同様に天井と窓のどち

表 6 大震災前に対する大震災後のファジィ測度変化率（上段：経験有 下段：経験無）

経験有	【避難率-低】				【避難率-中】				【避難率-高】			
	組み合わせ	大震災後	大震災前	変化率	組み合わせ	大震災後	大震災前	変化率	組み合わせ	大震災後	大震災前	変化率
増加	●〔柱、壁〕	0.193	0.081	58%								
	●〔柱、壁、天〕	0.313	0.174	44%	●〔柱、窓、棚〕	0.120	0.051	57%				
	●〔柱、壁、天、窓、棚〕	0.412	0.243	41%	●〔壁、棚〕	0.047	0.026	45%	●〔壁、棚〕	0.048	0.026	46%
	●〔壁〕	0.221	0.141	36%	●〔壁〕	0.039	0.024	37%	●〔柱、壁〕	0.217	0.131	39%
	●〔壁、棚〕	0.421	0.278	34%	●〔柱、壁〕	0.208	0.131	37%	●〔壁〕	0.040	0.025	39%
	●〔柱、壁、天、窓〕	0.037	0.025	31%	●〔柱、壁、棚〕	0.235	0.150	36%	●〔柱、壁、棚〕	0.242	0.149	38%
減少	〔柱、壁、窓、棚〕	0.085	0.112	-31%	●〔柱、天、窓、棚〕	0.198	0.281	-42%	●〔柱、天、窓、棚〕	0.202	0.280	-39%
	〔壁、天〕	0.072	0.096	-32%	●〔柱、天、窓〕	0.174	0.249	-42%	●〔柱、天、窓〕	0.179	0.250	-39%
	●〔窓、棚〕	0.163	0.230	-41%	●〔壁、天、窓、棚〕	0.110	0.157	-43%	●〔壁、天、窓、棚〕	0.113	0.159	-41%
	〔壁、天、窓〕	0.011	0.017	-52%	●〔壁、天、窓〕	0.095	0.137	-45%	●〔壁、天、窓〕	0.099	0.140	-42%
	〔壁、窓、棚〕	0.091	0.138	-52%	●〔窓〕	0.006	0.011	-81%	●〔窓〕	0.006	0.011	-79%
	●〔柱、天〕	0.115	0.185	-61%	●〔天、棚〕	0.025	0.052	-105%	●〔天、棚〕	0.025	0.052	-106%
	●〔窓〕	0.006	0.011	-77%	●〔天、窓、棚〕	0.035	0.078	-123%	●〔天、窓、棚〕	0.035	0.079	-124%
	●〔天、棚〕	0.024	0.050	-108%	●〔天、窓〕	0.028	0.066	-139%	●〔天〕	0.019	0.044	-126%
	●〔天、窓、棚〕	0.034	0.078	-127%	●〔天〕	0.019	0.063	-232%	●〔天、窓〕	0.028	0.068	-139%
	●〔天〕	0.016	0.041	-133%								
	●〔天、窓〕	0.027	0.066	-145%								

経験無	【避難率-低】				【避難率-中】				【避難率-高】			
	組み合わせ	大震災前	大震災後	変化率	組み合わせ	大震災前	大震災後	変化率	組み合わせ	大震災前	大震災後	変化率
増加	●〔柱、壁〕	0.081	0.189	57%					●〔壁、棚〕	0.026	0.047	45%
	●〔柱、壁、天〕	0.174	0.371	53%					●〔柱、壁〕	0.131	0.226	42%
	●〔壁〕	0.025	0.045	45%	●〔柱、窓、棚〕	0.051	0.120	57%	●〔壁〕	0.025	0.040	38%
	●〔壁、棚〕	0.032	0.056	42%	●〔壁、棚〕	0.026	0.048	46%	〔柱〕	0.063	0.092	32%
	●〔柱、壁、天、窓〕	0.243	0.387	37%	●〔壁〕	0.024	0.040	39%	〔柱、壁、窓〕	0.184	0.269	32%
	〔柱、壁、棚〕	0.141	0.217	35%	●〔柱、壁〕	0.131	0.211	38%	〔柱、壁、窓、棚〕	0.208	0.299	30%
	●〔柱、壁、天、窓、棚〕	0.278	0.405	31%	●〔柱、壁、棚〕	0.150	0.238	37%	〔柱、棚〕	0.073	0.104	30%
	〔柱、天、棚〕	0.190	0.142	-34%	●〔壁、天、窓、棚〕	0.157	0.112	-40%	●〔柱、天、窓〕	0.250	0.191	-30%
減少	〔柱、天、窓〕	0.230	0.148	-55%	●〔壁、天、窓〕	0.137	0.097	-41%	●〔柱、天、窓、棚〕	0.280	0.214	-31%
	●〔窓、棚〕	0.017	0.011	-58%	●〔柱、天、窓、棚〕	0.281	0.199	-41%	●〔壁、天、窓、棚〕	0.159	0.113	-40%
	●〔柱、天〕	0.185	0.102	-82%	●〔柱、天、窓〕	0.249	0.175	-42%	●〔壁、天、窓〕	0.140	0.100	-40%
	●〔窓〕	0.011	0.005	-115%	●〔窓〕	0.011	0.006	-80%	●〔窓〕	0.011	0.006	-80%
	●〔天、棚〕	0.050	0.022	-124%	●〔天、棚〕	0.052	0.025	-105%	●〔天、棚〕	0.052	0.026	-103%
	●〔天、窓、棚〕	0.078	0.031	-149%	●〔天、窓、棚〕	0.078	0.035	-122%	●〔天〕	0.044	0.020	-119%
	●〔天〕	0.041	0.016	-161%	●〔天、窓〕	0.066	0.028	-137%	●〔天、窓、棚〕	0.079	0.036	-120%
	●〔天、窓〕	0.066	0.024	-178%	●〔天〕	0.063	0.019	-230%	●〔天、窓〕	0.068	0.029	-132%

●は経験有 / 経験無で共通する組み合わせ

らか一方が含まれる組み合わせが多い。

以上のことから、天井の剥がれや窓ガラスの破損は、大震災前には危険度を高める要因であったが、大震災後には建物の強度に対する関心や知識が高まったことで、建物の強度と直接的には無関係なこれらの部位の破損が危険を煽る要因ではなくなっていると推論できる。

4.4.2 危険度を増加させる部位の組み合わせ

経験有の【避難率-高】において増加側に挙げられた4通りの組み合わせを見てみると、全ての組み合わせが壁を含んでいる。一方、経験無の【避難率-高】において増加側に挙げられた8通りの組み合わせには経験有で挙げられた4通りの組み合わせが全て含まれる。柱を含む組み合わせと壁を含む組み合わせがそれぞれ6通りあり、そのうちの4通りは柱と壁を共に含む。

【避難率-低】と【避難率-中】では、経験有と経験無で抽出される組み合わせがほぼ一致しており、【避難率-高】と同様に全ての組み合わせが壁か柱を含み、壁と柱をともに含む組み合わせも多い。

以上のことから、大震災後は躯体部位である柱と壁の破損状態が危険と評価される傾向が強くなっていることが分かる。危険度を低減させる部位の組み合わせと同様に、大震災で揺れを経験していない被験者にも同じ傾向が見られる。また、【避難率-高】で抽出された組み合わせ数については経験無の方が多いことから、経験無の被験者は経験有の被験者よりも危険度を煽られやすい傾向がある。

5. まとめ

本稿の考察から得られた知見を以下にまとめる。

一般的に、大震災時に大きな揺れを経験した被験者は、経験していない被験者に比べて危険度を10%程度高く評価する傾向があり、それに伴って避難率も10%程度高くなる。大略的には避難率の高い被災空間画像が危険度も高く評価される傾向があり、危険度の差が非常に大きい場合には避難率の大小関係も一致するが、危険度と避難率は必ずしも比例関係とはならない。つまり、「すぐに避難する」か「すぐには避難せずにしばらく様子を見る」かの避難判断は、空間全体に対する危険度の評価の大きさだけでは説明できない。

避難率に基づいて被災空間画像を分類してみると、揺れの経験の有無に係らず避難率の分類傾向は一部の画像を除いておおよそ類似している。避難率によって分類した被災空間画像を構成する各部位の破損状態に評価には経験による差が見られ、東日本大震災で大きな揺れを経験した被験者は経験していない被験者と比べて躯体部位とその他の部位を明確に区別して評価する傾向がある。

危険度の評価における各部位の相乗相殺効果については、大震災を経て全ての部位の組み合わせで相乗側に作用する傾向が鮮明になっている。大震災後の2つの被験者グループの評価傾向は類似しているが、大震災前後との相違点は多いことから、地震に関する知識や関心の向上が危険度の評価や避難判断の傾向を変化させた要因ではないかと推測される。大震災前には、天井や窓を含む組み合わ

せの危険度が高く評価されていたが、大震災後は天井と壁の評価が逆転し、躯体部位の評価を軸として避難判断が下される傾向が強くなっている。

以上の知見は、あくまで特定の用途の空間について被験者を大学生に限定して行った評価実験から得られたものである。今後、一般的な知見として信頼性を高めるためには、他の用途の空間についても多様な属性の被験者による評価実験を実施し、被験者や空間の属性による影響を検証する必要がある。また、今回は評価対象として被災空間画像を採用したが、評価実験の精度を向上させるためには、バーチャルリアリティの技術を活用して評価対象の現実感を高めることが課題である。

参考文献

1) 須藤裕介, 岩田伸一郎, 早川貴子, 大室真悟: 震災時における室内空間の心理的評価と避難行動の選択に関する研究(その1) 不安要因と避難行動の決定要因について, 日本建築学会大会学術講演概要集, E-1, pp. 1025-1028, 2010. 7

2) 大室真悟, 岩田伸一郎, 早川貴子, 須藤裕介: 震災時における室内空間の心理的評価と避難行動の選択に関する研究(その2) 各部位の評価の相乗相殺効果について, 日本建築学会大会学術講演概要集, E-1, pp. 1027-1029, 2010. 7

3) 木橋凡: 東日本大震災前後における避難判断要因の変化に関する研究(被災体験のレベルに基づく空間構成部位の評価傾向), 日本大学生産工学研究科修士論文, 2013. 4

4) 金子美香: 2003年十勝沖地震における負傷要因の検討-室内被害・人間行動との関連, 日本建築学会大会学術講梗概集, B-2, pp. 741-742, 2004. 7

5) 室崎益輝, 流郷博史: 阪神淡路大震災における市民の初期対応行動に関する研究, 地域安全学会論文報告集, 第6号, pp. 205-212, 1996. 11

6) 中島康雅: 地震時における人間の心理・行動に関する研究-震度推定のための2つのアンケート調査に基づく分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F, pp. 209-210, 1990. 9

7) 中島康雅, 楠木紀男, 松田磐余: 2004年新潟中越地震における見附市のアンケート震度分布調査, 日本建築学会技術報告集, 第24号, pp. 465-470, 2006. 12

8) 位寄和久: 避難行動モデルに関する研究-火災状況の認識と心理状態を考慮したモデルの提案, 日本建築学会論文報告集, 第325号, pp. 125-132, 1983. 3

9) 加藤真吾, 林宏年, 長谷川修一, 野々村敦子, 松島学: 住宅密集地における地震時避難経路危険度評価マップの作成, 土木学会, 安全問題研究論文集, Vol. 4, 2009. 11

10) 北後明彦, 原田曜輔, 関沢愛, 掛川英史: 商業施設における地震時の避難シミュレーションに関する研究, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 第13号, pp. 43-48, 2009. 3

11) 大佛俊孝: 大震災時における都市内滞留者の帰宅意思と帰宅行動, 日本建築学会計画系論文集, 第73巻, 第634号, pp. 2679-2687, 2008. 12

12) 久保田勝明, 室崎益輝, 高橋一郎: モデル空間における壁面輝度が避難経路選択に及ぼす影響-建物内火災時の避難経路選択時の向光性に関する研究-, 日本建築学会計画系論文集, 第500号, pp. 1-7, 1997. 10

13) 森山修治, 長谷見雄二, 小川純子, 佐野友紀, 神忠久, 蛇石貴宏: 大規模地下街における避難行動特性に関する実験研究-実験概要と避難経路・避難出口の選択性-, 日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第637号, pp. 233-240, 2009. 3

14) 池田謙一: 緊急時の情報処理, 東京大学出版会, 1986

15) 宮腰淳一, 松下裕, 羽根義: ファジィ積分を用いた室内空間評価に対する意識構造分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, pp. 1615-1616, 1993. 7

16) 孫京廷, 吉田哲, 宗本順三: 金沢近郊居住者の好む都心の住宅類型及び周辺環境 一対比較による写真の選好度と町並み雰囲気ファジィ分析, 日本建築学会計画系論文集, 第590号, pp. 25-32, 2005. 4

17) 位寄和久, 両角光男: ファジィ解析を用いた都市空間の心理的評価構造分析, 日本建築学会計画系論文集, 第467号, pp. 105-112, 1995. 1

18) 国土交通省気象庁ホームページ, 気象庁震度階級関連解説書, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, (参照 2009. 8. 1)

19) 中森義輝: 感性データ解析 感性情報処理のためのファジィ数量分析手法, 森北出版, 2008. 8

20) 広瀬弘忠: 人はなぜ逃げおくれるのか-災害の心理学, 集英社, 2004

21) 目黒公郎監修: 東京直下大地震生き残り地図, 旬報社, 2005. 9

22) 神淡路大震災直後の避難場所の特性, 日本造園学会研究発表論文集 17, pp. 775-780. 1997

23) 林春男: いのちを守る地震防災学, 岩波書店, 2003. 6

24) 国土交通省国土計画局: 首都圏における東日本大震災の被害状況について, 2011. 6, <http://www.mlit.go.jp/>, (参照 2012. 9. 1)

注

注 1) 工学系の大学生 50 名を対象に、外出先の施設内で地震に遭遇した場合に想定される 10 項目 30 細目の状況から受ける危険度を [5: とても危険 /4: やや危険 /3: どちらでもない /2: やや安全 /1: とても安全] の 5 段階で評価するアンケート調査を行い、以下の表の結果を得ている。

項目	細目	状況	危険度平均	項目	細目	状況	危険度平均
天井	1	電灯が大きく揺れる	3.19	音	16	外から人が騒ぐ声がある	3.62
	2	天井の一部が剥がれ落ちる	3.78		17	外から大きな音がある	3.77
	3	大部分の天井が剥がれ落ちる	4.50		18	報知器の音がある	4.37
棚	4	不安定そうな棚が倒れる	3.31	通信	19	携帯電話が繋がらない	3.71
	5	大きな棚が一部倒れる	3.97		20	インターネットが繋がらない	3.61
	6	大きな棚が全て倒れる	4.43		21	公衆電話が繋がらない	3.84
壁	7	壁の一部に亀裂が入る	3.78	誘導	22	避難誘導の館内放送が流れる	3.88
	8	壁の大半に大きな亀裂が入る	4.27		23	避難に従業員等が指示する	3.91
	9	壁が剥がれている	4.59		24	周囲の人が避難を開始する	4.23
棚	10	棚の物が一部飛び出す	3.53	停電	25	停電したがすぐ電気がつく	2.85
	11	棚の物が大半飛び出す	4.09		26	停電後、点灯したが不安定	3.60
	12	棚の物が全て飛び出す	4.46		27	停電したまま電灯がつかない	4.44
窓	13	ガラスにヒビが入る	3.67	体感震度	28	揺れは感じるが移動は可能	3.66
	14	ガラスの一部が割れる	4.00		29	物に捕まらないと移動困難	4.50
	15	ガラスの大半が粉々に割れる	4.61		30	立っていることが困難	4.79

注 2) 阪神・淡路大震災(1995)以降、本稿の評価実験を実施した 2012 年 10 月までの間に関西地方では震度 5 弱以上の揺れは観測されていない(2013 年 4 月に発生した淡路島を震源とする地震は、関西地方で 18 年ぶりに観測された震度 5 弱以上の地震であった)。そのため、関西在住の被験者グループについては、被験者の年齢を考慮し、関西地方の出身者に限定することで、震度 5 弱以上の地震体験が無い(経験した記憶がない)被験者を選別している。なお、念のため大きな地震の被災経験の有無について質問し、経験有に該当しないことを確認している。関東在住の被験者グループについては、東日本大震災の発生時の居場所が震度 5 弱以上の地域²⁰⁾であったことを確認したほか、東日本大震災以外の地震によって、居住地が被災地となり具体的な被害を受けた経験がないことも確認している。

注 3) 部位の種類の変更については、大学研究室に不可欠な仕器である「机」を追加した。

注 4) 被災空間画像の評価実験では、被験者たちが日常的に利用している空間に置き換えてイメージしながら回答してもらうことを想定している。そのため、現実感の強すぎる写真ではなくイラスト風な画像を採用している。

注 5) 5 段階評価において、{5: 絶対的に重視する /4: かなり重視する /3: 重視する /2: 若干重視する /1: 同程度に重視する} と定義する。部位 A に対する部位 B の評価値が 3 であるとき、部位 B に対する部位 A の評価値は 1/3 となる。

注 6) 各値の差が大きい場合、これらの値の算術平均(和の平均)は特定の大きな値に強く影響を受ける。重要度が一人の被験者の重要度に左右されすぎないために、合成ベア比較マトリクス要素の算出では幾何平均を採用している。

(2013 年 3 月 24 日原稿受理, 2013 年 8 月 12 日採用決定)