



## 被害発生確率を用いた耐震等級の説明の有効性

佐々木健人<sup>1)</sup>、小檜山雅之<sup>2)</sup>

1) 慶應義塾大学大学院理工学研究科、大学院生

E-mail : scarlet-sky@z5.keio.jp

2) 慶應義塾大学理工学部、専任講師、博士 (情報学)

E-mail : kohiyama@sd.keio.ac.jp

### 要約

住宅購入時の意思決定を支援する耐震等級の説明に関し、被害発生確率を用いた説明方法が有効であることをアンケート調査により検証した。調査対象は横浜市・川崎市・東京都23区在住の持ち家志向を持つ30代・40代の市民とし、759人の有効回答を得た。調査項目は地震発生リスク認知と耐震性能の選好性に関する項目等とした。集計結果から、回答者が地震発生リスクを過大に認知していること、求める耐震性能にばらつきがあることなどが明らかになった。また、耐震性能の説明として震度の大きさに対する被害発生確率の提示が有効であること、耐震等級ごとの地震被害リスクとコストの情報を提供しリスクを過大視するバイアスを除去したのちも高い耐震性能を要望する傾向などが確認された。

キーワード： リスクコミュニケーション、耐震等級、被害発生確率、アンケート調査

### 1. 緒言

建築基準法（以下、基準法）は建築物の構造等に関する最低限の基準を定めており、基準法より高い性能水準や、基準法で規定されている以外の性能項目を設定することは、建築主や設計者の任意となっている。しかし、建物の耐震性能を判断するのに十分な情報が設計者から提示されず、建築主に明確な耐震性能の要望がなかった場合、一般に低コストの建物を目標に設計が行われるため、基準法の最低基準より高い水準の耐震性能で設計されることは少ないと考えられる。

1995年兵庫県南部地震以降、地震災害に関連したリスクコミュニケーション<sup>注1)</sup>として、耐震診断士の派遣や、自治体の相談窓口の設置、インターネットを介した情報提供などが精力的に進められてきた。それとともに性能設計という考え方が一般の建築物に普及し始め、2000年には住宅の品質確保の促進等に関する法律<sup>1)</sup>（以下、品確法）が施行され、耐震性能を評価する指標として耐震等級が規定された。耐震等級の等級1, 2, 3は、基準法が規定する最低限の地震荷重のそれぞれ1倍、1.25倍、1.5倍に耐えうる水平耐力があることに相当する。これにより、住まい手が望む住宅の耐震性能を設計者に要求することが以前に比べて格段に容易となった。

しかし、現状の耐震等級の説明では耐震性能（水平耐力）の優劣しかわからないため、専門知識を持たない一般市民にとっては、その性能が自分にとって十分なのかどうか判断しにくいと考えられる。したがって、住まい手が各等級の耐震性能を理解し、自身の要望を満足させる耐震等級を見極めることができるよう、地

震発生リスクや建物被害リスクを明示するといった方策が必要であろう。

耐震性能をわかりやすく説明するため、SEAOC VISION 2000<sup>2)</sup>の耐震メニュー、JSCA<sup>3)</sup>の性能メニュー、神田ら<sup>4)</sup>の建物安全性を定量的に評価するシステム、日本建築学会<sup>5)</sup>の耐震性能メニュー2004、井戸田ら<sup>6)</sup>・嶺岡ら<sup>7)</sup>の耐震性能マトリクスなど、様々な提案がなされている。一般市民の地震発生リスク認知や建物耐震性能のニーズを調査した既往研究には、Palm and Carroll<sup>8)</sup>、久木・石川<sup>9)</sup>、吉井<sup>10)</sup>、平田・石川<sup>11), 12), 13), 14)</sup>、内閣府<sup>15), 16)</sup>、豊田・木根原<sup>17)</sup>、吉村<sup>18)</sup>などがあり、リスク認知やニーズの傾向が明らかになりつつある。

そこで本論は、今後も住宅の耐震性能の表示に用いられていくと考えられる品確法の耐震等級に注目し、まず持ち家居住者・持ち家購入希望者が持つ地震発生リスク認知の構造、耐震性能の選好性などを明らかにする。そして、住宅耐震性能の選択の意思決定を支援するため、被害発生確率を用いた説明の有効性を検証し、リスクやコストに関する情報を提供することで住宅の耐震性能の選好性の変化を分析する。

## 2. アンケート調査概要

本研究では、地震災害に対するリスク認知、耐震性能の選好性、確率による性能説明の効果などを分析するため、横浜市、川崎市、東京都23区内に在住の、今後20～30年間持ち家に住む意思を持つ30代・40代の男女1000人にアンケート調査を実施した。調査期間は2006年11月1日～2日であり、耐震偽装問題<sup>注2)</sup>の影響を受けている可能性が高い。アンケートの調査方法は、調査会社を介しインターネットでウェブページに回答を入力する形式をとった。

回答データについて、明らかに矛盾する回答をした回答者のデータを除外する作業を行ったところ、759サンプルが有効であった。有効回答者の年齢・男女別の人数を表1に示す。

表1 性別・年齢別のアンケート有効回答者数

年齢	性別		合計
	男性	女性	
30代	191	179	370
40代	191	198	389
合計	382	377	759

また、アンケート調査の質問に建物供用期間に応じた被害発生確率を用いた個所があり、この確率を横浜市における地震ハザード曲線<sup>19)</sup>をもとに評価しているため、回答者の居住地は上記のように横浜市近辺に限定した。よって、他地域では地震発生確率なども異なるため、集計結果は全国を代表するものではない。

## 3. 調査結果と考察

### 3.1 地震発生リスクの認知

リスクコミュニケーションでは、利害関係者のより正確なリスク認知を目標としている。そこで、まず地震発生リスクの認知に関して調査・分析を行った。

耐震等級（構造躯体の倒壊等防止）の等級1の建物に要求される水準が、“極めてまれに発生する地震による力に対し、倒壊・崩壊等しない程度”であることを説明した後に、説明文中の“極めて稀に発生する地震”の揺れの大きさが震度でどれくらいと想像するか回答してもらった（図1）。ここで、建設省住宅局住宅生産課<sup>20)</sup>は、極めて稀に（数百年に一度程度）発生する地震による力は基準法施行令第88条第3項に定める地震力に相当するものであり、たとえば東京を想定した場合、震度6強から震度7程度と説明している。回答結

果を見ると、震度6強と答えた割合が28.7%と一番多いものの、54.9%の人がそれよりも小さな震度を回答した。これにより、基準法で想定している大地震の揺れを半数程度が過小に認知している可能性がある。また、平田・石川（2007）<sup>11)</sup>もアンケート調査で同様の結果を得ており、基準法での人命確保の目標レベルが震度6強程度であることの周知が大切であると述べている。

続いて、自身が将来遭遇すると思う最大の地震動の大きさを震度で回答してもらったところ（図2）、58.6%の人が震度7であった。前述の文献19)で震度6強から7程度の地震動の再現期間が数百年と想定できることから、回答者は将来の大地震への危機感が強く、地震発生リスクを過大視している傾向が窺える。

2つの回答から、基準法の耐震基準を満足する建物は、安全ではないと考える人が多いと推定し得るが、非常に安全、安全と回答した人は52.6%と半数以上で、危険、非常に危険と回答した人は7.1%であった（図3）。この不整合の原因としては、しばらく大地震が発生していないのでそろそろ発生するのではと考えていること、耐震基準を詳細には理解していないが、経験上安全と認知していることなどが挙げられる。

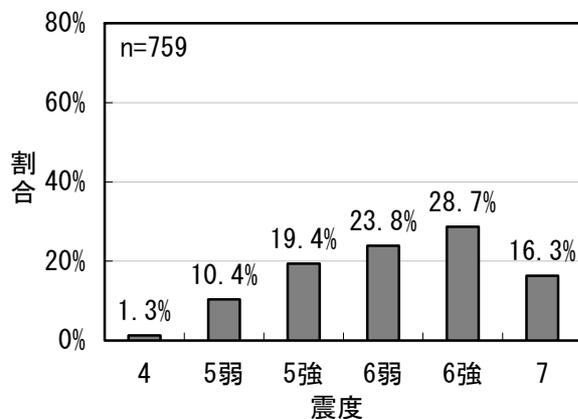


図1 耐震等級の説明にある「極めて稀に発生する地震」で想像する震度

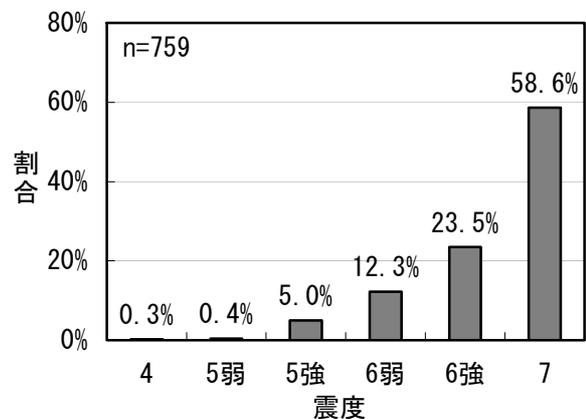


図2 自身が将来遭遇すると思う最大の地震動の震度

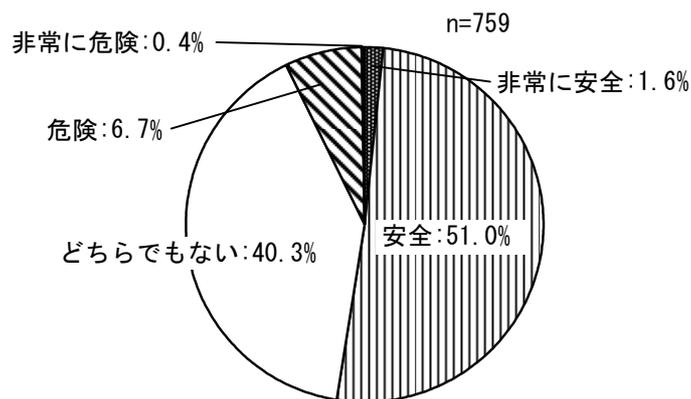


図3 建築基準法を満たす建物はどう思うかの回答割合

再現期間に対し想像する震度の大きさを平均してX年に1回住まいが遭遇する最大の地震の揺れ（X=1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 300, 500, 1000）を選択する形式で回答してもらった（図4）。回答結果を見ると、再現期間が5年から100年までの間では、回答者が想像する震度は大きくばらついている。再現期間が300年を超えると

ばらつきは小さい。前述の文献 20)の説明で震度 6 強から 7 程度が数百年に 1 度としていることと良い対応が見られるが、これは震度 7 に上限がないことにも起因している。

自身が将来遭遇すると思う最大の地震動の震度 (図 2) を震度 7 と答えた 445 人に対し、震度 7 の地震動の再現期間が何年と思っているかを集計したところ (図 5), 57.0%が 100 年~300 年と想像していることがわかった。また、住んでいる町や周辺の町に被害を及ぼすような大地震が発生するのは何年後くらいと思うかの回答を図 6 に示す。10 年後と答えた割合が 37.4%と一番多く、30 年後までに発生するであろうと考えている人は 85.1%に達している。これらのことから、大地震発生危機感が高いことがわかる。

以上より、一般市民が認知する地震発生リスクは過大である傾向が複数の回答より確認することができた。また、地震発生リスクに関連する設問で性別によるクロス集計を行ったが、平田・石川 (2007) <sup>12)</sup>が指摘するのと同様に、男女間の地震発生リスク認知に有意な差は見られなかった (カイ 2 乗検定の結果:  $p>0.05$ )。

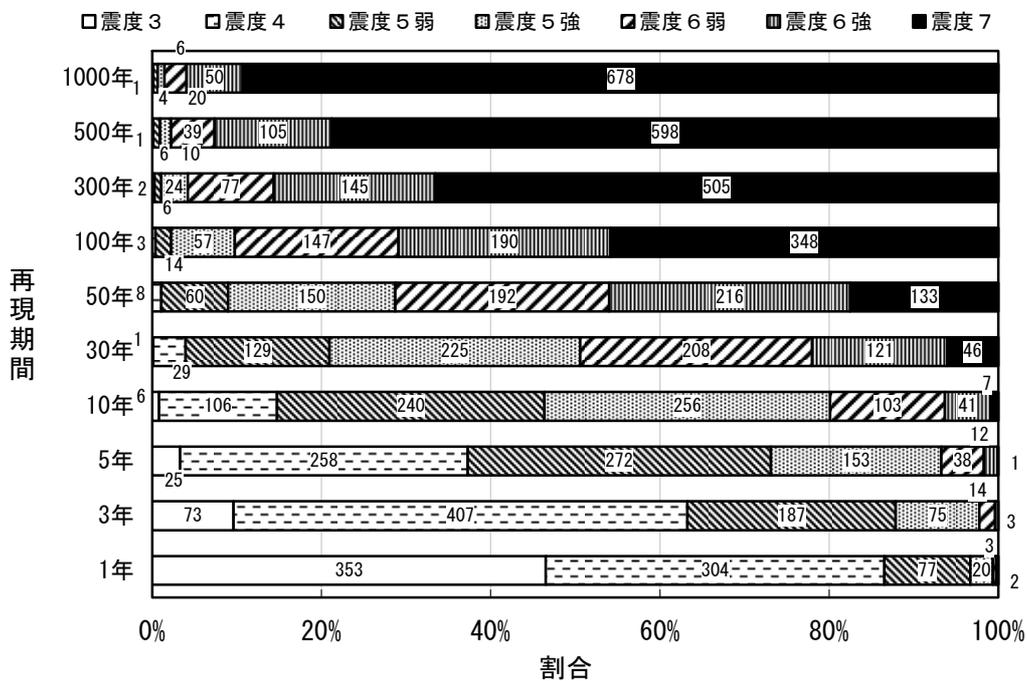


図 4 各再現期間に対して想像する震度

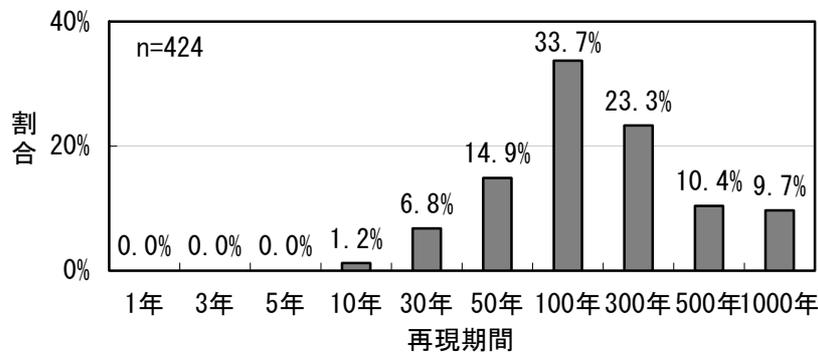


図 5 将来震度 7 の地震に遭遇すると思う人が考える震度 7 の地震動の再現期間 (回答集計結果)

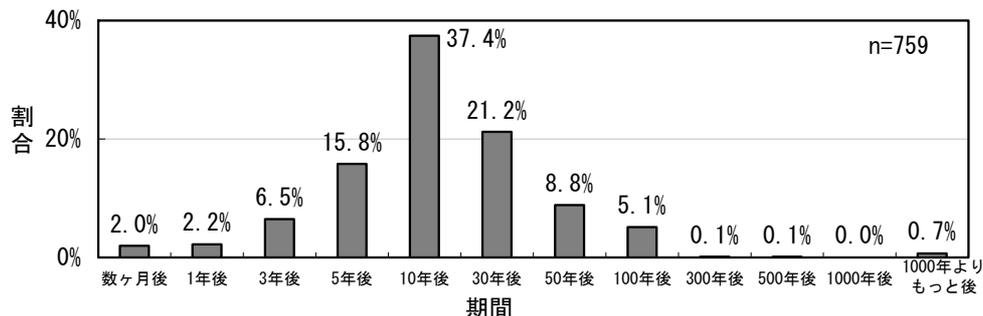


図6 被害を及ぼすような大地震の発生時期の回答

### 3.2 建物被害リスクの認知

基準法に基づく耐震設計では、極めて稀に（数百年に一度）発生する地震による力に対して倒壊せず、稀に（数十年に一度）発生する地震に対して損傷を生じないことを目標としている。文献20)は、東京を想定した場合、稀に発生する地震を震度5強に相当すると説明している。

ある震度に対し平均的な新築建物がどの程度の被害を生じると思うか回答してもらった（図7）。震度6強の地震で倒壊しないと考えている割合が92.1%と、基準法を満足する建物を安全と回答した割合が高いことに対応しているが、3.1節での基準法で想定している大地震の揺れを半数程度が過少に認知している可能性があるという結果と食い違いが生じている。これは、回答者が平均的な新築建物は基準法が想定する地震動の大きさ以上の地震動に対しても耐えられるであろうと考えているためだと思われる。一方、震度5強の地震で損傷を生じない（無被害）と考えている割合は41.3%しかおらず、損傷に関しては建物被害リスクをやや過大視する傾向が確認された。

また、図7のデータを、被害が生じない震度の観点で被害程度別に集計を行った（図8）。平田・石川<sup>11)</sup>は平均的な価格の住宅が耐えられる震度の回答を得ているが、その回答結果は本論における小さな被害が生じない震度の回答結果の分布に近い。「耐えられる」といった場合に、一般市民は必ずしもその意味を専門家と同様に解釈していない恐れがあるといえよう。

地震による建物被害のリスクをどのように捉えているかさらに分析するため、他のリスクと比較したときの大小関係を回答してもらった。基準法で定められた最低限の耐震性能の家に30年住む場合、地震による被害（倒壊）が発生するリスクと、地震以外の住宅に関係するリスクのどちらが大きいと思うかの回答を図9に示す（「正しい選択肢」の判別、各リスクの具体的な数値に関しては注3)を参照）。回答者の認識と実際のリスクの評価結果とは差異が生じており、建物被害リスクを他リスクとの大小関係で説明することは必ずしも理解の助けとはならないといえる。これは、他リスクと地震被害リスクの一方もしくは双方にバイアスが存在する可能性があるためである。リスク認知は、回答者の属性や調査の期間などによって変動する恐れがある。さらに、風水害や犯罪被害のリスクは地域差が大きく、「正しい選択肢」も地域によって異なってくる問題もある。これらのことより、他リスクとの比較によって説明を行う際には、個人によって認知のばらつきが少ないリスクを選択し、それぞれ数値で確率を示すなど十分に注意が必要である。

### 3.3 建物耐震性能の選好性

各震度に対して納得できる被害を聞いたところ、図10に示すように、震度に対して想像する平均的な新築建物の被害（図7）に似た分布となった。震度6強の地震に対しても補修負担額200万円以下の比較的小さな被害を望む回答者が50%を超えており、基準法を満たす最低限の耐震性能を持つ住宅<sup>注4)</sup>では、この要望に応えられないことが確認された。

また、将来遭遇すると思う最大の地震動（図2）による被害で納得できる被害程度を集計により明らかにした（図10の最上段）。このグラフからも、耐震性のニーズは多様であることがわかる。性能設計ではこの住まい手のニーズをなるべく明確にし、それに応じた設計を行うことが肝要である。

上記の納得できる被害（図 10）と平均的な新築建物に対して想像する被害（図 7）のクロス集計を行った結果を図 11 に示す。約半数の回答者（震度 6 強：49.7%，震度 7：52.0%）は、自身の住宅の被害が平均的な新築建物に対して想像する被害と同程度であれば納得できることがわかった。

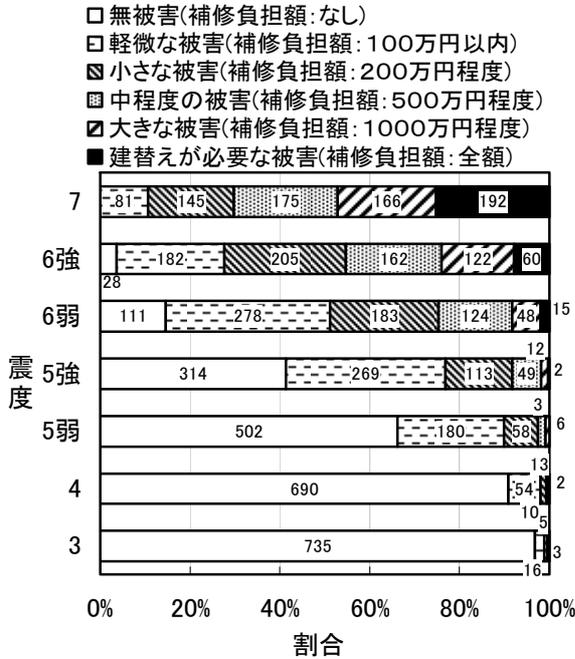


図 7 各震度に対する想像する平均的な新築建物の被害

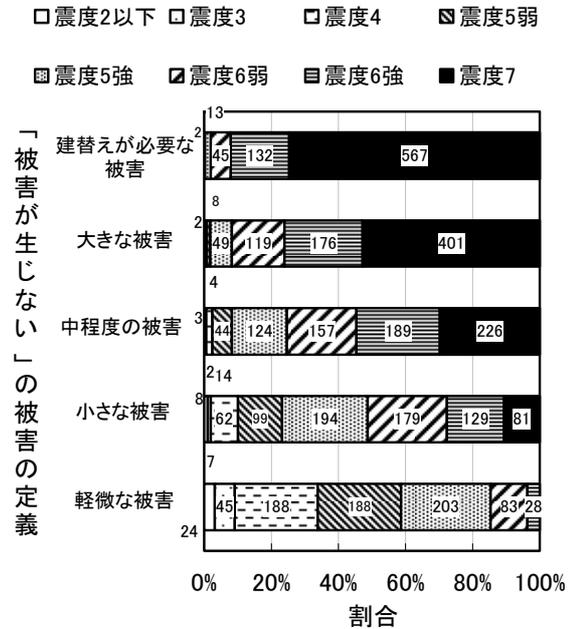


図 8 平均的な新築建物で各被害が生じないとされる震度（回答集計結果）

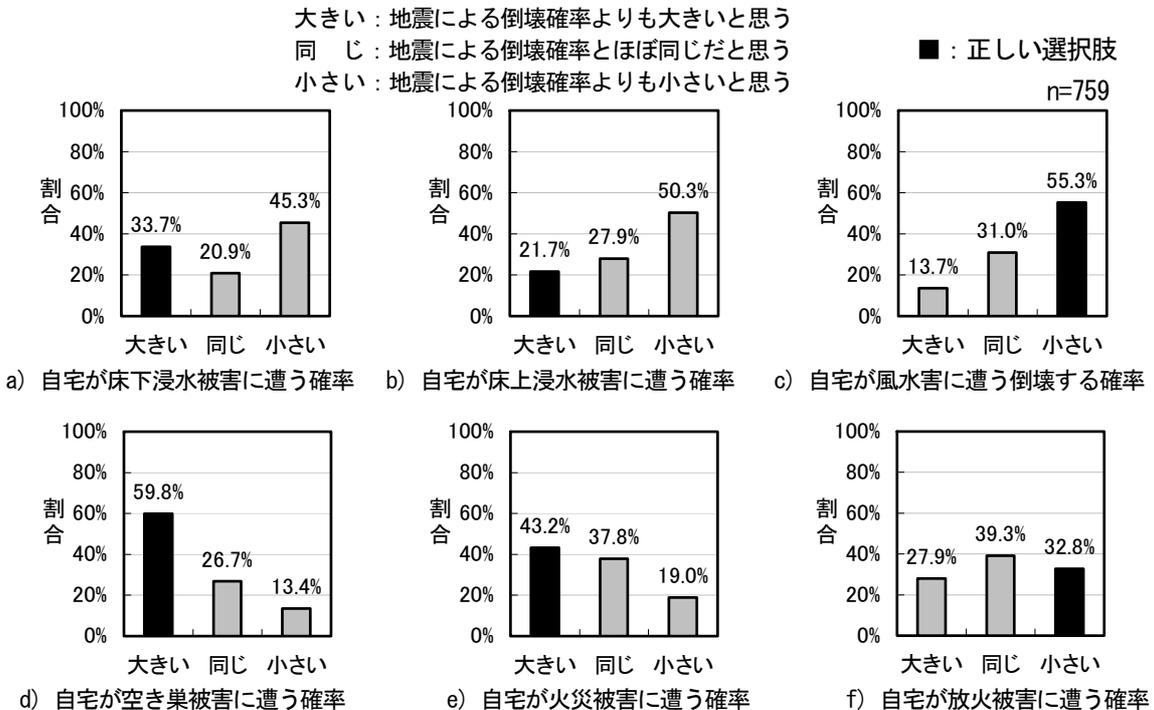


図 9 地震による住宅倒壊リスクと地震以外の住宅に関するリスクの大小関係の回答

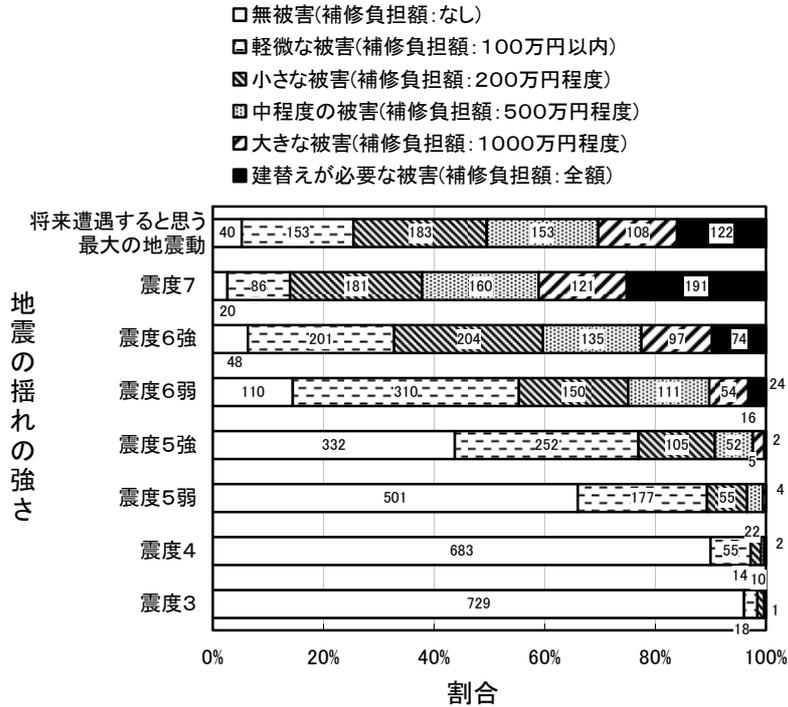


図10 地震の揺れの強さに対して納得できる被害程度

- A: 無被害 (補修負担額:なし)  
 B: 軽微な被害 (補修負担額:100万円以内)  
 C: 小さな被害 (補修負担額:200万円程度)  
 D: 中程度の被害 (補修負担額:500万円程度)  
 E: 大きな被害 (補修負担額:1000万円程度)  
 F: 建替えが必要な被害 (補修負担額:全額)

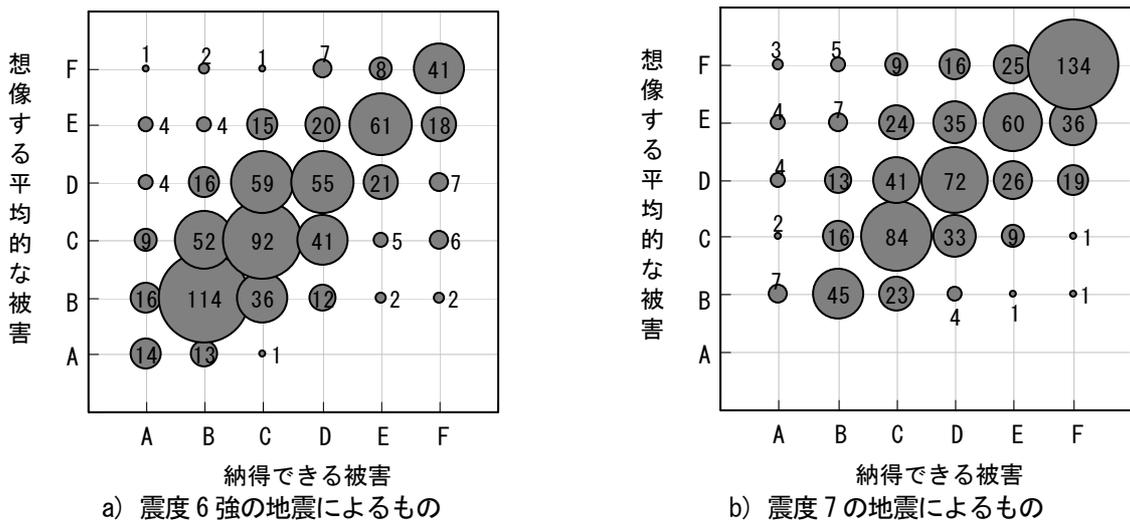


図11 納得できる被害程度と想像する被害程度の関係

また、自分が想像する平均的な建物の耐震性より低い耐震性能の住宅でも満足する割合、自分が想像する

平均的な建物の耐震性と同一耐震性能の住宅を望む割合、自分が想像する平均的な建物の耐震性より高い耐震性能の住宅を望む割合の比は、震度6強の地震によるものと震度7の地震によるものの両方とも約2:5:3であった。

### 3.4 耐震等級の理解の状況

本研究のアンケート調査は品確法が施行されてから6年後に行われたが、品確法を知っていると答えた人は全体の10%にも満たず、また、耐震等級を知っていると答えた人も全体の6%程度であった(図12)。したがって、アンケート調査時点ではまだ十分に制度が認知されていないといえる。

まず、品確法が規定する耐震等級の定義が専門知識を持たない一般市民にとってわかりやすいか調べるため、品確法の各耐震等級の定義を提示し、わかったか回答してもらった(図13)。その結果、わかりにくい、非常にわかりにくいといった否定的な回答の割合が最低で41.1%、最高で50.1%となった。これより、品確法の耐震等級の定義のみでは住宅購入希望者の約半数が理解しがたい状況であるといえる。また、男性よりもとくに女性にわかりにくいとする回答が多かった(カイ2乗検定の結果:  $p < 0.01$ )。

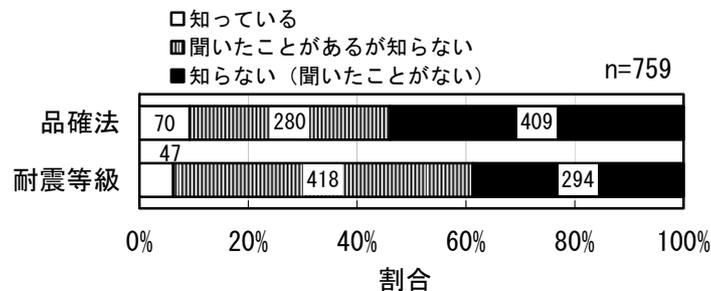


図12 品確法や耐震等級に対する認知の程度

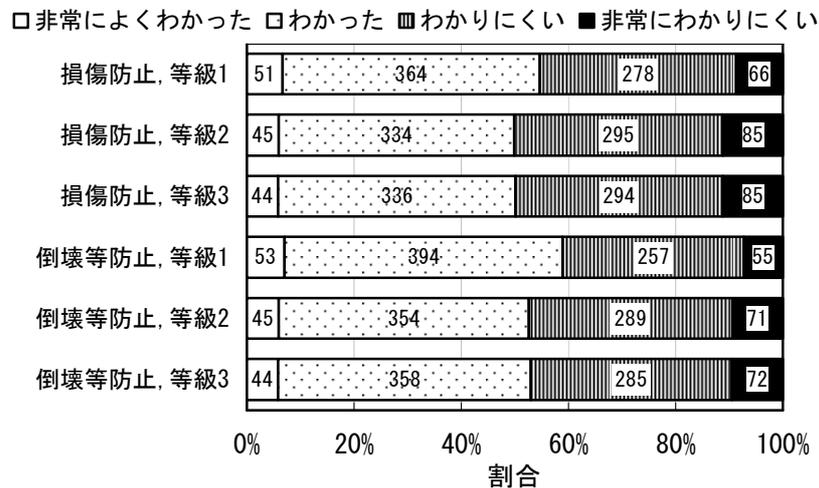
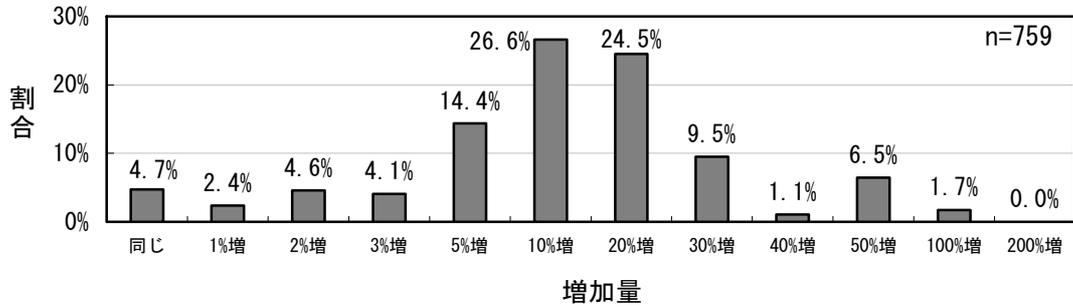


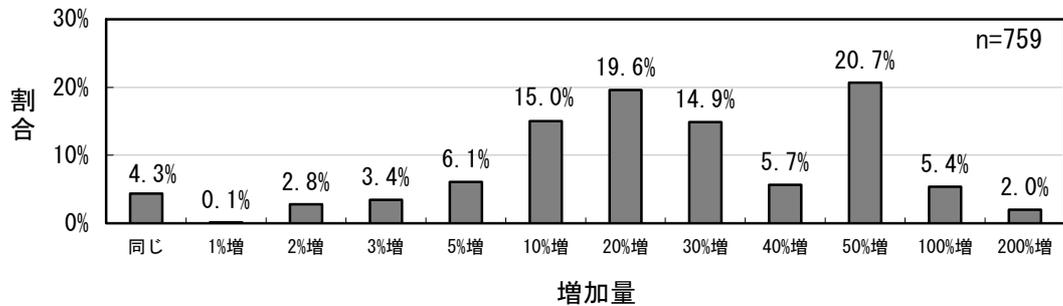
図13 品確法が規定する各耐震等級の定義のわかりやすさについての回答

次に、等級2、等級3の建物の価格(土地を除いた総工費)が、等級1と比べどれくらい増えると思うか回答してもらった結果を、それぞれ図14 a), b)に示す。実際には等級2で1~3%増、等級3で3~5%増と試算されるが<sup>注5)</sup>、それぞれ84.2%、83.3%の回答者が過大なコストを想像している。このギャップは住宅購入希望者にとっても施工業者にとっても不利益となるため、今後は耐震等級の説明においてコストの情報についても提供することが望まれる。

続いて、等級2、等級3の建物の30年間の被害（倒壊）発生確率が、等級1と比べるとどれくらい小さくなると思うか回答してもらった結果をそれぞれ図15 a), b)に示す。被害発生確率<sup>注6)</sup>の比は、等級2が等級1の1/5程度、等級3が等級1の1/10程度と評価されるため、等級2、等級3でそれぞれ70.5%、66.3%の回答者が耐震性能をより低く考えている傾向があるといえる。また、回答にばらつきがあることがわかる。

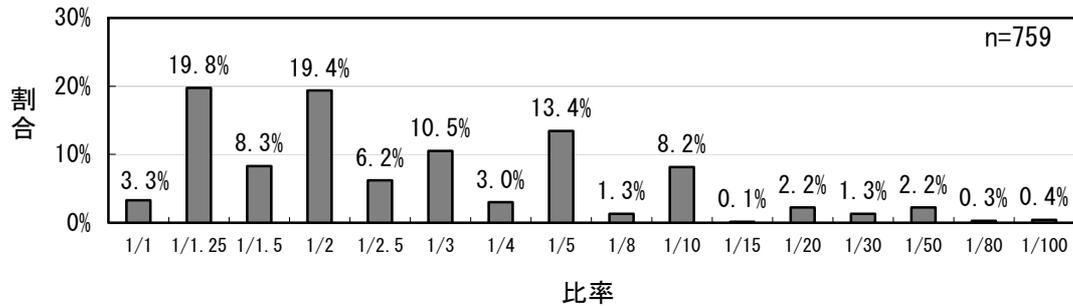


a) 等級2

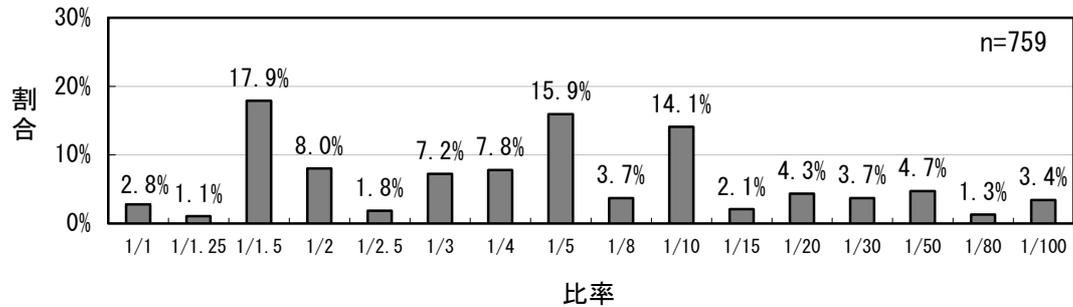


b) 等級3

図14 等級1を基準とした等級2、等級3の価格の予想



a) 等級2



b) 等級3

図15 等級1を基準とした等級2、等級3の被害発生確率の予想

### 3.5 確率による性能説明の効果

耐震性能の説明として、被害発生確率を用いた説明手法の有効性の確認を行う。表2に示すA～Fの説明を示し、B～FについてそれぞれAと比べてわかりやすさを回答してもらった(図16)。B～Fの全てにおいて、肯定的な回答の割合が否定的な回答の割合を上回っていることを確認した。

また、A～Fの説明の中で、どれが一番わかりやすさを回答してもらったところ(図17)、震度の大きさに対する被害発生確率を示した説明C、Dが合わせて55.2%の支持を得ていることが確認できた。一方、建物供用期間に応じた被害発生確率を示した説明E、Fは合わせても8.8%と支持があまり得られておらず、情報を提供しても耐震性能の理解を助ける効果は小さいといえる。

被害発生確率に関し、どのような表現が好まれるかを分析するため、表3に示すA'～D'の説明を示し、どれが一番わかりやすさを回答してもらった。X棟中Y棟が倒壊する、または倒壊しない、といった頻度による表現を用いた説明C'、D'は支持が得られず、確率の値をそのままパーセント表記する説明A'が多くの支持を得ていることが確認された。

等級1の被害発生確率を基準とした場合、等級2、等級3の被害発生確率の表現としてどのようなものが好まれるかを分析するため、表4に示すA''～C''の説明を示し、どれが一番わかりやすさを回答してもらった。その結果、各等級とも被害発生確率をパーセント表記で値を示す説明A''が77.5%と最も多く支持された。比率やポイント差のみで説明するより、正確にそれぞれの値を示した方が好まれる結果が確認された。

表2 耐震等級の説明方法I

選択肢	表現	説明内容	一番わかりやすいと思った回答者の割合
A	現行の説明	等級1の建物は、極めて稀に発生する地震の力に対して、崩壊、倒壊等しないとされる耐力をもつ。 等級2の建物は、極めて稀に発生する地震の力の1.25倍の力に対して、崩壊、倒壊等しないとされる耐力をもつ。 等級3の建物は、極めて稀に発生する地震の力の1.5倍の力に対して、崩壊、倒壊等しないとされる耐力をもつ。	16.6%
B	耐力に置き換えた表現	等級1の建物は、建築基準法で定められた最低基準の耐力をもつ。 等級2の建物は、等級1の1.25倍の耐力をもつ。 等級3の建物は、等級1の1.5倍の耐力をもつ。	19.4%
C	震度の大きさに対する被害発生確率を示した表現	震度6強の地震の揺れで倒壊する確率は、 等級1の建物では1.3%、 等級2の建物では0.11% (等級1の約12分の1)、 等級3の建物では0.021% (等級1の約65分の1)。	29.4%
D		震度7の地震の揺れで倒壊する確率は、 等級1の建物では28%、 等級2の建物では7.9% (等級1の約4分の1)、 等級3の建物では3.5% (等級1の約8分の1)。	25.8%
E	建物供用期間に応じた被害発生確率を示した表現	今後30年間に地震で倒壊する確率は、 等級1の建物では0.50%、 等級2の建物では0.10% (等級1の約5分の1)、 等級3の建物では0.039% (等級1の約10分の1)。	5.1%
F		今後50年間に地震で倒壊する確率は、 等級1の建物では0.86%、 等級2の建物では0.19% (等級1の約5分の1)、 等級3の建物では0.080% (等級1の約10分の1)。	3.7%

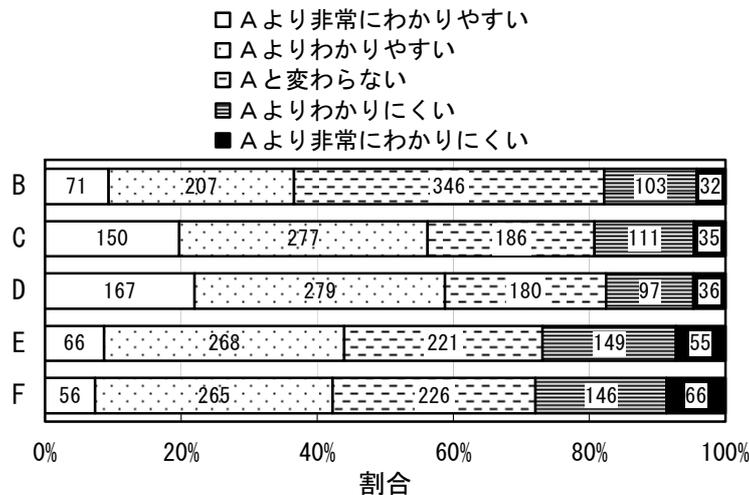


図 16 品確法の説明 A と比べ、B~F の説明をどう思うかの回答

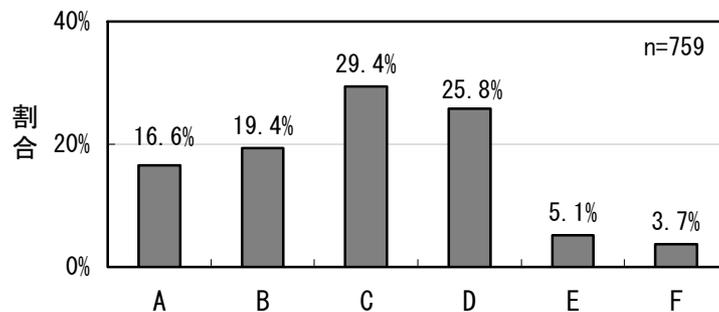


図 17 A~F の説明の中で一番わかりやすいと思う説明

表 3 耐震等級の説明方法 II

選択肢	表現	説明内容	一番わかりやすいと思った回答者の割合
A'	倒壊確率	震度 7 の地震の揺れで倒壊する確率は、 等級 1 の建物では 28%、 等級 2 の建物では 7.9%、 等級 3 の建物では 3.5%です。	58.1%
B'	非倒壊確率	震度 7 の地震の揺れで倒壊しない確率は、 等級 1 の建物では 72%、 等級 2 の建物では 92%、 等級 3 の建物では 97%です。	26.2%
C'	倒壊頻度	震度 7 の地震の揺れで倒壊する棟数の割合は、 等級 1 の建物では 10 万棟中 2 万 7690 棟、 等級 2 の建物では 10 万棟中 7900 棟、 等級 3 の建物では 10 万棟中 3460 棟です。	13.8%
D'	非倒壊頻度	震度 7 の地震の揺れで倒壊する棟数の割合は、 等級 1 の建物では 10 万棟中 7 万 2310 棟、 等級 2 の建物では 10 万棟中 9 万 2100 棟、 等級 3 の建物では 10 万棟中 9 万 6540 棟です。	1.8%

表 4 耐震等級の説明方法Ⅲ

選択肢	表現	説明内容	一番わかりやすいと思った回答者の割合
A”	確率	震度7の地震の揺れで倒壊する確率は、 等級1の建物では28%、 等級2の建物では7.9%、 等級3の建物では3.5%です。	77.5%
B”	確率比	震度7の地震の揺れで倒壊する確率は、 等級1の建物では28%、 等級2の建物では等級1の約4分の1、 等級3の建物では等級1の約8分の1です。	19.1%
C”	ポイント差	震度7の地震の揺れで倒壊する確率は、 等級1の建物では28%、 等級2の建物では等級1よりも20ポイント減少、 等級3の建物では等級1よりも24ポイント減少します。	3.4%

次に、アンケート調査を介して得た知識をもって住宅の耐震性能の選好性にどのような変化が生じたか確認を行った。まず、耐震等級の各等級の性能、コストについての知識を得る前であるアンケートの序盤（情報提供前）に品確法の耐震等級の定義のみを提示し、どの等級の住宅に住みたいかを回答してもらった。そして、各等級の被害発生確率やコストの増加率の情報などを提示したアンケートの最後（情報提供後）に、再びどの等級の住宅に住みたいかを回答してもらった。これらの結果を図18に示す。情報提供後も等級2以上の住宅と回答する割合が90.1%であり、多くの人が高い耐震性能の住宅を望んでいることが判明した。

3.1節において地震発生リスクを過大視する傾向が確認されたが、正確な建物被害リスクの情報を与えると、高い耐震性能の住宅を選択する人が少なくなるのではとの懸念が考えうる。しかし、等級2、等級3の被害発生確率の低減率や建設費用の増加率の情報を提供したことで、逆に高い耐震性能の住宅を選択する人が多くなったことが確認された（マクネマー検定の結果： $p \ll 0.01$ ）。高い地震発生リスクのバイアスを緩和しても高い耐震性能の住宅の選好性が変わらないという知見は、今後の地震発生リスクコミュニケーションを推進する上でも非常に重要といえる。

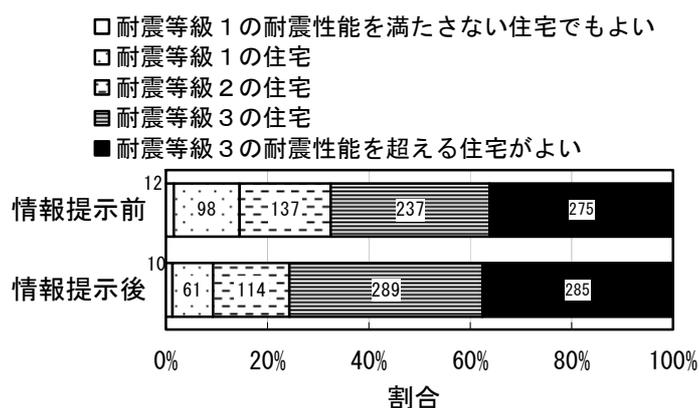


図 18 耐震性能の選好性の変化

また、納得する被害程度と耐震性能の選択とのクロス集計による分析では、情報提供前では有意な差が見られなかった（カイ2乗検定の結果： $p > 0.05$ ）が、情報提供後は震度6強、震度7などで有意な差が見られた（同検定の結果は、震度6強： $p < 0.05$ 、震度7： $p \ll 0.01$ ）。情報提供後、震度7の地震に対し小さな被害以下

を望む人は、等級3の耐震性能を超える住宅を選ぶ割合が有意に増えた（マクネマー検定の結果： $p<0.05$ ）。アンケートを介した情報提供で各個人の要望に合う耐震性能の選択を促せたと考えられる。

その他、地震被害に遭遇した知り合いの有無、子供の有無、収入の額、現在の住まいの形式、戸建志向とマンション志向、将来遭遇すると思う地震の大きさ、年齢、性別といった属性について耐震等級の選好性とクロス集計を行い分析したが、有意な差は見られなかった。

3.3節で、平均的な建物より低い耐震性能の住宅で満足する人が2割、平均的な建物と同じ耐震性能の住宅で満足する人が5割いたが、等級1を平均とした場合、図18の結果は矛盾が生じている。このことより、一般的に建てられている建物の平均的な耐震性を、等級1ではなく等級2や等級3の高い耐震性能だと思っている可能性がある。もしくは、等級を示した説明と、平均的な建物の耐震性能と比較した説明では、一般市民の耐震性能の捉え方が異なる恐れがある。

#### 4. 結言

本論文では、横浜市・川崎市・東京都23区在住の持ち家志向を持つ30代・40代の市民の地震発生リスク認知や耐震性能の選好性、確率による耐震等級の性能説明の効果などをアンケート調査により明らかにした。本研究によって明らかになった知見は以下のとおりである。

- ・ 本研究の回答者に地震発生リスクを過大視する傾向が存在した。
- ・ 地震による建物倒壊リスクを住宅に関係する他のリスクと比較し説明する場合、バイアスを回避するため、それぞれのリスクを数値で示すことが必要である。
- ・ 納得できる被害から推定される耐震性能のニーズは多様である。
- ・ 地震発生リスクに関して、再現期間が5年から100年程度で想像する震度のばらつきは大きい。
- ・ 品確法の耐震等級の説明を約50%の人がわかりにくいと考えている。
- ・ 等級2、等級3の建物の建設費を実際より高く見積もっている。
- ・ 等級2、等級3の建物の耐震性能を実際より低く見積もっている。
- ・ 耐震性能の説明には、震度の大きさに対する被害発生確率を提示すると比較的理解が得られやすい。
- ・ 供用期間と倒壊確率を用いた耐震性能の説明は、上記ほどの理解は得られない。
- ・ 耐震性能の比較を行う際には、被害発生確率を比率やポイント差のみで説明するより、それぞれの確率を数値で示す方がわかりやすい。
- ・ 平均的な建物の耐震性能を等級1ではなく、等級2や等級3と思っている可能性がある。
- ・ 等級を示した説明と、平均的な建物の耐震性能と比較した説明では、一般市民の耐震性能の捉え方が異なる恐れがある。

地震発生リスクを過大視している人々に、正しいリスクの認知を促すことはリスク回避行動を抑制する危険があるかもしれない。しかし、本研究のアンケート調査では、供用期間に対する建物倒壊確率を提示しバイアスを緩和した後高い耐震性能を選ぶ人が増えた。これは、耐震性能の向上による建物被害リスクの低減効果や建設費用に関する情報を提示したことによるものと考えられる。納得できる耐震性能の選択に相関が生じるようになったことも確認され、アンケート調査票の情報による耐震性能の説明の効果が見られたと考えられる。

また、情報提供後に耐震等級3を超える耐震性能の住宅に住みたいと答えた割合は37.5%と比較的大きいものであった。したがって、今後、品確法に等級3よりも高い等級を導入することも検討に値すると思われる。ただし、実際には高い耐震性能を実現するために間取り等に制約が生じる場合があるので注意が必要である。住宅を購入する際には、間取りのほか耐震性能より重視される項目が種々あるため、現実の行動がアンケート回答どおりになるわけではないことに注意しなければならない。

2007年4月から、品確法の評価方法基準にその他の地震対策として、免震建築物（免震層を配置した建築物）に関する表示事項が追加される。品確法が作られた趣旨の一つは、等級により性能の比較を容易にする

ことであるが、等級1～3と免震建築物の比較には十分な説明が必要であると考えられる。本研究では被害発生確率による説明の有効性が確認されたが、今後これらの説明方法の改善に向け研究を継続したい。

## 謝辞

本研究の一部は財団法人トステム建材産業振興財団の助成による。本研究では建物被害確率の評価に(独)防災科学技術研究所の地震ハザードステーション J-SHIS の地震ハザード曲線、(財)震災予防協会、(社)日本建築学会、米国海洋大気局、(独)防災科学技術研究所の地震観測記録を用いた。また、日本女子大学家政学部住居学科石川孝重教授、平田京子准教授より有益な意見を賜った。以上、記して謝意を表す。

## 注釈

### 注1)

文献21)はリスクコミュニケーションを「リスクコミュニケーションとは、対象の持つポジティブな側面だけでなく、ネガティブな側面についての情報、それもリスクはリスクとして公正に伝え、関係者が共に考えるコミュニケーション」と定義している。

### 注2)

一級建築士であったA氏が2005年までに多数の物件の構造計算書を偽装していたことを、2005年11月17日に国土交通省が公表したことに端を発する事件。建築基準法で定められた耐震強度に満たない建物が多く発覚した。

### 注3)

リスクの大小の判別と具体的数値の評価は以下のように行った。損害保険料率算出機構<sup>22)</sup>によると、20年間の資料に基づく風水害による年間の住宅被災件数は、床下浸水は10万棟、床上浸水は2万棟、全壊は約470棟である。警視庁<sup>23)</sup>によると、住宅への空き巣の認知件数は2006年1～6月東京都において5,740件である。消防庁<sup>24)</sup>によると住宅の火災発生件数(放火も含む)は2005年において18,751件、住宅の放火による火災発生件数は2005年において1,737件である。これらの被害発生件数を平成15年住宅・土地統計調査<sup>25)</sup>の各対象地区の戸数(全国は5389万戸、東京都は618.9万戸)で割った後、30年間の被害発生確率に換算した(表5)。この確率と、注6)で評価される確率とを比較し、大小関係を決定した。

表5 住宅に関係する災害の被害発生確率

自宅が遭遇する被害	対象地区	30年間の被害発生確率
床下浸水被害	全国	5.6%
空き巣被害	東京都	5.6%
床上浸水被害	全国	1.1%
火災被害	全国	1.0%
地震により住宅(等級1)が倒壊	横浜	0.51%
放火被害	全国	0.10%
風水害により住宅が倒壊	全国	0.026%

### 注4)

本文中に記した「基準法を満たす最低限の耐震性能を持つ住宅」とは、倒壊等の防止に関しては標準せん断力係数 $C_0=1.0$ の地震荷重にほぼ等しい保有水平耐力を持っている住宅のことを指す。なお、実際に建っている木造建物は、基準法を満足するぎりぎりの耐震性能を持つように設計しても、雑壁や非耐力壁などの影響により、 $C_0=1.0$ の地震荷重の3倍以上の保有水平耐力を持つ場合もある<sup>26)</sup>。

注5)

等級1の建物と等級2、等級3の建物の価格(土地を除いた総工費)の比率は次に示す方法で評価を行った。神田ら<sup>27)</sup>によると、まず、躯体コストは建設費用全体の26.7%とされている。また、等級2、すなわち標準せん断力を1.25倍として設計すると躯体コストは4~10%増となり、等級3、すなわち、標準せん断力を1.5倍として設計すると躯体コストが13~18%増となる。したがって、等級2の建物の建設費用は等級1に比べ約1~3%増、等級3は約3~5%増となる。この算出された建設費用は非木造建物のものである。木造建物に関しては、中田<sup>28)</sup>は2%程度の建設費用の増加で耐震性を25%~50%上げることができると試算しており、上記の試算と大きくは異なっていない。なお、後述の注6)のとおり、被害発生確率の評価では木造建物モデルを用いたが、アンケート調査では建物構造種別に関する情報は一切示されていないことを付記する。

注6)

本アンケート調査では2階建て木造建物の被害発生確率の評価結果を示した。各等級の被害発生確率については、以下のように評価した。

まず、被害関数を作成するため、2質点系モデルを考えた。建物の復元力特性と剛性を小檜山<sup>29)</sup>が用いたモデル(ポリリニア型ばねスリップ型ばねの混合ばね)とし、ここで、等級1に関しては層間変形角1/120 radのときの1層、2層の復元力がそれぞれ $0.2(m_1+m_2)g$ 、 $0.27m_2g$ となるものを基準とし、文献30)を参考に、その2倍の復元力を与えた。 $m_1$ 、 $m_2$ はそれぞれ1層、2層の質量、 $g$ は重力加速度である。次に、地震動900波<sup>31)</sup>を入力し、時刻歴応答解析を行った。等級2、3に関しては、等級1のモデルの剛性と耐力を1.25倍、1.5倍し、同様に行った。そして、被害発生の判定を文献32)、33)に従い、1層目もしくは2層目の最大層間変形角が1/15 rad以上となったものを倒壊とし、最大地動速度と被害の有無の関係を2項回帰モデルに回帰することにより、各等級の被害関数を構築した(表6)。

供用期間に応じた被害発生確率の評価は、構築した被害関数と、横浜における地震ハザード曲線<sup>19)</sup>のデータを内挿、および外挿したものを用いて行った(表7)。震度に対する被害発生確率の評価は、藤本・翠川<sup>34)</sup>による震度と最大地動速度の関係の経験式から、震度6強の地震を63 cm/s以上、震度7の地震を120 cm/s以上と設定し、構築した被害関数に代入することで行った(表8)。

なお、実際の耐震等級の等級1、等級2、等級3では、それぞれ等級1以上、等級2以上、等級3以上の耐震性能を持つという評価の結果である。したがって、本研究で算出した確率は、各等級の最低レベルの建物をモデル化したものに基づいているので注意が必要である。

表6 構築した被害関数のパラメータ

耐震等級	対数平均	対数標準偏差
等級1	5.0210	0.3944
等級2	5.3422	0.3929
等級3	5.4709	0.3762

表7 供用期間に応じた被害発生確率

供用期間	耐震等級	被害発生確率
30年間	等級1	0.51%
	等級2	0.10%
	等級3	0.039%
50年間	等級1	0.86%
	等級2	0.19%
	等級3	0.080%

表8 震度に対する被害発生確率

震度	耐震等級	被害発生確率
震度6強	等級1	1.30%
	等級2	0.11%
	等級3	0.021%
震度7	等級1	28%
	等級2	7.9%
	等級3	3.5%

## 参考文献

- 1) 国土交通省住宅局住宅生産課：必携 住宅の品質確保の促進等に関する法律，改訂版 2006，創元社，2006.10
- 2) SEAC: VISION 2000 –Performance Based Seismic Engineering of Buildings, 1995.4
- 3) 日本建築構造技術者協会：建築の構造設計，オーム社，2002.7
- 4) 神田誠一，下村哲人，廣瀬隆治，崔恒，高田毅士，神田順：建物の確率論的構造性能評価システムに対するユーザーニーズ，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1 分冊，2003.9，pp. 1-2
- 5) 日本建築学会：危険度・耐震安全性評価小委員会「耐震メニュー2004」報告書，2004.3
- 6) 井戸田秀樹，森保宏，嶺岡慎悟：既存不適格木造住宅の耐震改修促進のための意思決定支援ツールの開発 その1 支援ツールの目的と概要，日本建築学会東海支部研究報告集，第 44 号，2006.2，pp. 265-268
- 7) 嶺岡慎悟，井戸田秀樹，梅村恒，森保宏：既存不適格木造住宅の耐震改修促進のための意思決定支援ツールの開発 その2 耐震診断の評点と損傷度の関係，日本建築学会東海支部研究報告集，第 44 号，2006.2，pp. 269-272
- 8) Palm, R. and Carroll, J.: Illusions of safety: Culture and Earthquake Hazard Response in California and Japan, Boulder, Colorado: Westview Press, 1998.
- 9) 久木章江，石川孝重：住宅の構造安全に居住者が求める性能およびその水準に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 513 号，1998.11，pp. 51-58
- 10) 吉井博明：地震長期確率評価情報の受容と意義—小田原市と静岡市の調査から—，総合都市研究，第 68 号，1999，pp. 165-174
- 11) 平田京子，石川孝重：社会的に要求される耐震安全性レベルの確率論的評価—ユーザーの要望をふまえた性能設計の構築に向けて—，日本建築学会構造系論文集，第 543 号，2001.5，pp. 23-29
- 12) 平田京子，石川孝重：ユーザーに分かりやすい性能表示のあり方—構造安全性能に対するユーザーの意識変化と合意形成—，日本建築学会関東支部研究報告集，2002.3，pp. 311-314
- 13) 平田京子，石川孝重：耐震性能に関する建築主とのリスクコミュニケーションのあり方—その1 市民の意識調査からみた対話に関する要望—，第 77 回日本建築学会関東支部研究報告集，Vol. 1，2007.3，pp. 185-188
- 14) 平田京子，石川孝重：耐震性能に関する建築主とのリスクコミュニケーションのあり方—その2 市民の耐震強度に関する意識と信頼のための条件—，第 77 回日本建築学会関東支部研究報告集，Vol. 1，2007.3，pp. 189-192
- 15) 内閣府政府広報室：「住宅耐震化による特別世論調査」の概要，<http://www8.cao.go.jp/survey/tokubetu/h16-taishin.pdf>，2004.9
- 16) 内閣府政府広報室：「地震防災対策に関する特別世論調査」の概要，<http://www8.cao.go.jp/survey/tokubetu/h17/h17-jisin.pdf>，2005.9
- 17) 豊田聖史，木根原良樹：日本社会における安心意識に関する分析，三菱総合研究所所報，<http://www.mri.co.jp/REPORT/JOURNAL/2005/jm05013102.pdf>，No. 44，2005.1，pp. 30-51
- 18) 吉村美保，目黒公郎，小檜山雅之：住宅の耐震補強工事に対する居住者の意識構造に関する研究，土木学会地震工学論文集，Vol. 28，2005.8，CD-ROM
- 19) 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション J-SHIS，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>，2006.9
- 20) 建設省住宅局住宅生産課：日本住宅性能表示基準のポイント 性能表示基準を理解するための手引き，ビルディングレター，第 416 号，2000.11，pp. 1-49
- 21) 日本リスク研究学会：リスク学辞典，増補改訂版，阪急コミュニケーションズ，2006.7
- 22) 損害保険料率算出機構：統計から見たわが国の自然災害の特徴，ディスクロージャー資料，No. 64，<http://www.nlro.or.jp/disclosure/risk>，2002.6
- 23) 警視庁生活安全総務課：[http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/seian/an\\_machi/sukuramu.htm](http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/seian/an_machi/sukuramu.htm)，2006.7
- 24) 総務省消防庁：消防白書，<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h18/index.html>，2006.12
- 25) 総務省統計局：平成 15 年 住宅・土地統計調査確報集計結果全国編統計表，<http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/>

2003/4.htm, 2005.3

- 26) 五十田博, 平野茂, 三宅辰哉, 古屋治, 箕輪親宏: 建築基準法の最低壁量を満足する新築木造住宅の倒壊実験, 日本建築学会構造系論文集, 第 618 号, 2007.7, pp. 167-173
- 27) 神田順, 浅野美次, 石井修, 鈴木哲夫, 橋元正美: 設計用地震荷重と建設費との相関に関する一考察, *Structure*, 日本建築技術者協会, 第 58 号, 1996.4, pp. 74-80
- 28) 中田捷夫: 住まいの Q&A 「地震に強い木造住宅にすると工費はいくらアップしますか?」, 日経住宅サーチ, <http://sumai.nikkei.co.jp/house/qahouse/seko20021007a2034a5.html>, 2002.10
- 29) 小檜山雅之: 順位相関係数に基づく 2 階建て木造建物の被害推定に適した地震動指標の分析, 日本建築学会構造系論文集, 第 605 号, 2006.7, pp. 55-62
- 30) 小檜山雅之, 山崎文雄: 耐震診断データに基づく木造建物の被害関数—加速度応答スペクトルによる一部損壊以上の被害評価—, 日本建築学会構造系論文集, 第 570 号, 2003.8, pp. 137-144
- 31) 山口直也, 小檜山雅之: 地域特性を考慮した被害関数に基づく地震時建物の被害推定精度の向上, 平成 14 年度～平成 15 年度科学研究費補助金 (基盤研究(B)(2)) 研究成果報告書, 2004.3
- 32) 損害保険料率算定会: 木造住宅の損壊被害率に関する研究 その 1, 地震保険調査研究 13, 1985.1
- 33) 損害保険料率算定会: 木造住宅の損壊被害率に関する研究 その 2, 地震保険調査研究 22, 1988.1
- 34) 藤本一雄, 翠川三郎: 近年の地震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法, 地域安全学会論文集, No. 7, 2005.11, pp. 1-6

(受理: 2007 年 4 月 2 日)

(掲載決定: 2007 年 10 月 22 日)

## Effective Explanation of Grades of Seismic Capacity

### Using Probability of Damage

Kento SASAKI <sup>1)</sup> and Masayuki KOHIYAMA <sup>2)</sup>

1) Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Keio University

2) Associate Professor, Faculty of Science and Technology, Keio University, Dr. Informatics

#### ABSTRACT

The questionnaire survey was conducted to clarify effective explanation of grades of seismic capacity using probability of damage. The panels living in Yokohama City, Kawasaki City or 23 Wards of Tokyo who were in their thirties to forties, and who wanted home ownership were selected and 759 valid answers were obtained. Questions regarding seismic risk perception and preference of seismic capacity of a house were asked. As a result, it was observed that the panels overrated seismic risk and demanded various seismic capacities. Additionally, it was revealed that explanation using the probability of damage in relation to seismic intensity was effective, and that a house with high seismic capacity was preferred even after information on risk of seismic damage, which might remove the bias of the overrated seismic risk, and on additional cost to improve seismic capacity were provided.

*Key Words: Risk Communication, Grade of Seismic Capacity, Probability of Damage, Questionnaire Survey*