

2004 年新潟県中越地震における余震による木造家屋の

被害拡大に係わる要因分析

小山真紀

岐阜大学

A Factor Analysis of Wooden Dwelling's Damage Escalation due to Aftershocks

: The 2004 Mid Niigata Pref. Earthquake

Maki KOYAMA

Gifu University

Influential characteristics for damage escalation of wooden dwelling are pointed out by results of analysis using quantification theory type II for questionnaire data. Target respondents of the questionnaire survey are all household in a devastated area Ojiya city due to the 2004 mid Niigata prefecture earthquake. Explanatory variables for quantification theory type II are main shock's seismic intensity scale and eight building's characteristics. A response variable is damage escalate by aftershocks or not. The discriminant accuracy rate of each damage pattern after main shock is from 71.8% to 94.9%. These results can be used for secondary disaster protection activities.

1. 研究の背景

2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震(以下中越地震と表記)では 11 月 10 日までに最大震度が 5 弱以上の余震が 17 回も発生するなど規模の大きな余震が頻発した¹⁾(表 1)。他の地震と比較しても、マグニチュード 4.0 以上の余震の発生回数は近年の地震では飛びぬけて多い²⁾。これまで地震防災上の観点から余震について触れられることはあまりなかったが、中越地震のケースは余震の影響を考慮することの必要性を

表 1 中越地震における本震と余震の諸元

Date	Time	Latitude	Longitude	M (JMA)	Depth (km)	Seismic intensity (Max value)
2004/10/23	17:56	37° 17.3' N	138° 52.2' E	6.8	13	7
2004/10/23	17:59	37° 18.5' N	138° 51.5' E	5.3	16	5 Upper
2004/10/23	18:03	37° 21.0' N	138° 59.1' E	6.3	9	5 Upper
2004/10/23	18:07	37° 20.7' N	138° 52.0' E	5.7	15	5 Upper
2004/10/23	18:11	37° 15.0' N	138° 49.9' E	6	12	6 Upper
2004/10/23	18:34	37° 18.2' N	138° 55.9' E	6.5	14	6 Upper
2004/10/23	18:36	37° 15.1' N	138° 56.6' E	5.1	7	5 Lower
2004/10/23	18:57	37° 12.2' N	138° 52.0' E	5.3	8	5 Upper
2004/10/23	19:36	37° 12.8' N	138° 49.6' E	5.3	11	5 Lower
2004/10/23	19:45	37° 17.5' N	138° 52.7' E	5.7	12	6 Lower
2004/10/23	19:48	37° 17.6' N	138° 50.3' E	4.4	14	5 Lower
2004/10/24	14:21	37° 14.5' N	138° 49.7' E	5	11	5 Upper
2004/10/25	00:28	37° 11.9' N	138° 52.4' E	5.3	10	5 Lower
2004/10/25	06:04	37° 19.6' N	138° 57.0' E	5.8	15	5 Upper
2004/10/27	10:40	37° 17.3' N	139° 02.1' E	6.1	12	6 Lower
2004/11/4	08:57	37° 25.6' N	138° 55.1' E	5.2	18	5 Upper
2004/11/8	11:15	37° 23.5' N	139° 02.1' E	5.9	quite shallow	5 Upper
2004/11/10	03:43	37° 22.0' N	139° 00.2' E	5.3	5	5 Lower

震度 5 弱以上のもの。文献 1 の表を基に筆者が作成

意識させるものであった。これを受けて、中越地震における余震の影響を含めた総合的な調査を実施した^{補注}

(1)。調査の概要および調査票の全体については文献 3 を確認されたい。本研究では余震に着目した解析の第一段階として、余震による木造家屋の被害拡大に関する要因分析を行った。地震防災の視点に立った余震の影響に関する既往研究としては、組谷・高田⁴⁾がある。これは余震被害の理論モデルの構築を試みたものである。建物の損傷は確率論的に示されており、国レベル、地域行政レベルでの解析に適した手法であると思われる。一方本研究は中越地震における実データに基づいて、個々の建物特性と余震による被害拡大の有無との関係を明らかにしようとするものであり、世帯レベルの防災対策に適したものである。

本論文の構成は、次のとおりである。1 章で研究の背景と既往研究について述べた。2 章では調査の概要と用いたデータおよび解析手法について述べる。3 章では分割表の解析を通じて余震による木造家屋の被害拡大と建物の立地および建物そのものの特性との関係を明らかにする。4 章では数量化 II 類の手法を用いて 3 章で得られた各要因を説明変数とし、余震による被害の拡大の有無を目的変数とした分析を行った結果を示す。5 章では、アンケート調査設計上の観点から、より少ない説明変数による予測の可能性と適正変数の選択について述べ、得られた結果について考察する。6 章ではまとめと今後の課題について述べる。

2. 調査と用いたデータ

本調査は新潟県小千谷市の全世帯を対象として本震からほぼ 1 年後の 2005 年 9 月より実施した。調査票による郵送調査とし、小千谷市役所の協力を得て広報に挟み込んで配布、同封した封筒によって郵便回収という手法をとった。小千谷市の全世帯数は約 12,000 世帯であり、回収率は 34%(4,431 通)であった。本調査は 2 部構成となっており、地震の揺れから被害(本震および余震)、避難や復興に至る非常に幅の広い調査であることが特徴である。調査項目はおおむね以下のようである。

第一部:揺れ・被害等アンケートによる震度算定法⁵⁾に係わる設問群および建物基礎、形状等耐震診断値の算出に係わる設問群(47 問)

第二部:家族構成員それぞれにおける人間行動と人間被害(本震・余震)、建物被害(本震、余震)と補修、避難と住まいおよび生活再建支援に係わる設問群(48 問)

なお、本調査では建物被害に関する設問は本震による被害程度、余震後の被害程度および行政によるり災判定の 3 つについて調べている。このうち本震および余震による建物被害程度は建物被害パターンチャート⁶⁾によって調査しており、り災証明の区分よりも詳細な被害程度の把握が可能である。木造家屋における各被害パターンを図 1 に示す。建物被害は揺れの大きさ、立地する地盤や地形条件および建物そのものの特性に従う。余震による建物被害の拡大も基本的に同様であると考えられることから、調査票の回答から関連する項目を以下のように抽出した。揺れの大きさは第一部の回答から算出されたアンケートによる本震震度階級(以下アンケート震度と記載)、余震による被害拡大の有無は第二部の本震による被害パターンと余震による被害パターンとの差分で判断する。立地する地盤、地形条件および建物特性は第一部の該当する設問群の回答を用いた。なお、本来であればそれぞれの余震による揺れの大きさも併せて考慮すべきところであるが、全余震のアンケート震度を求めることは回答者の負担が大きすぎることに、そもそも短期間に頻発した余震すべてを識別して回答することはほぼ不可能であることから、余震のアンケート震度は得られていないため、余震個別の揺れは考慮できていない。ただし、気象庁によって公表されている中越地震の本震および余震における面的震度分布¹⁾を見ると、各余震による空間震度分布において本震による空間震度分布を大きく覆すような傾向は認められない。これを踏まえ、本研究では小千谷市内における累積的な余震震度分布は本震震度分布とおおむね同じ傾向を示す、つまり本震でよく揺れたところは余震でもよく揺れたと考えると、揺れの指標としては本震アンケート震度のみを用いることとした。なお、第一部の設問項目のうち、地盤、地形および建物特性に係わる設問群は以下のとおりである。

設問 5a:地形、設問 6a:地盤、設問 8a:建物階数、設問 9a:1 階部分の用途、設問 11a:建築時期、

設問 12a:延べ床面積、設問 13a:建物構造、設問 14a:屋根形式、設問 15a:外壁形式、

設問 16a:基礎形式、設問 17a:建物形状、設問 18a:筋交い、設問 19a:1 階壁量、設問 20a:建物状態

3. 分割表による解析

余震による木造被害の拡大状況を示したものが表 2 である。本震による被害パターンと余震による被害パターンとの比較から、木造家屋の 21%で余震による被害の拡大が見られ、地震防災上余震の影響も無視できないことを示唆している。表中、余震によって被害が軽減したように見えるものが若干認められるが、実際に壊れた建物が余震によって修復されたとは考えにくく、これらは余震によって最終的に至った被害程度ではなく余震のみの影響で生じた被害程度について回答したものではないかと考えられる。余震による木造被害の拡大に影響を及ぼす項目を明らかにするため、表 2 で示した建物被害を余震によって被害の拡大があった建物とそうでない建物の 2 分類に区分した。余震による木造被害の拡大有無と本震震度階級、地盤、地形および建物特性との関係を見るために分割表を作成した。これをグラフ化したものが図 2 である。これらの関係について簡単にまとめると、地形(設問 5a)は平坦地がもっとも拡大ありの割合が低く、崖の上、谷あいでは拡大ありの割合が若干増加している。地盤(設問 6a)は全体としては緩くなるほど拡大ありの割合が増加するよう見えるが、緩い地盤(粘土、砂質)と軟弱地盤(埋立地、泥炭地、湿地)では逆転がみられる。建物階数(設問 8a)では圧倒的に 2 階建て住宅が多く、平屋の件数が少ない。階数が増えると余震による被害拡大率が低くなるようにも見える。1 階部分用途(設問 9a)では住居が圧倒的に多数であり、用途による明確な差異はみられない。建築時期(設問 11a)では最近と数年前では違いが認められないが、古い建物ほど余震によって被害が拡大している傾向が見られる。延べ床面積(設問 12a)では面積の広さと被害拡大の有無に系統的な傾向は見られない。建物構造(設問 13a)では在来木造が多数を占めており、工法が新しくなるほど被害拡大率は低下するように見える。屋根形式(設問 14a)では、鉄板・スレート屋根の件数が多数を占めている。土ふき瓦と土なし瓦ではほとんど違いが見られないが、鉄板・スレート屋根では被害拡大率が低下している。外壁形式(設問 15a)では、被害の拡大は板張りでもっとも多くみられ、次いでモルタル、サイディングの順となっている。コンクリートはサイディングより被害の拡大が大きくなっているように見えるが、該当件数が少ないことに起因するとも考えられるため、これだけでコンクリートの方が弱いとはいえない。基礎形式(設問 16a)については高床基礎、鉄筋布基礎、無筋布基礎、大きなヒビあり布基礎の順に被害の拡大率も小さくなる。なお、小千谷市は豪雪地帯であるため基礎を相当程度高くして駐車場として利用しているケースがあり、これを高床基礎としている。

次に、これらの特性と余震による被害の拡大の有無との関係を統計的に確かめるため、Fisher の正確検定

表 2 本震後と余震後の木造家屋被害パターン

余震終了後の木造被害パターン

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	総数
D0	138	103	27	6	2	0	0	276
D1	16	1329	225	23	10	0	2	1605
D2	5	17	607	140	25	0	1	795
D3	0	1	11	202	72	0	1	287
D4	0	0	0	2	125	7	4	138
D5	0	0	0	0	0	1	0	1
D6	0	0	0	0	0	0	4	4
総数	159	1450	870	373	234	8	12	3106








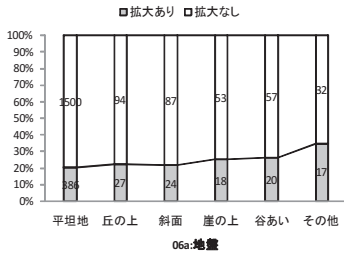
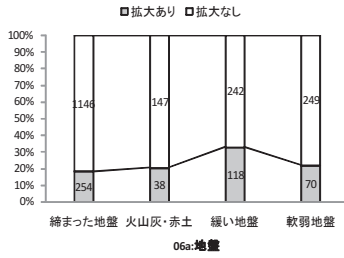
Damage Grade	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
破壊程度	無被害	一部破損		半壊	全壊		
木造							

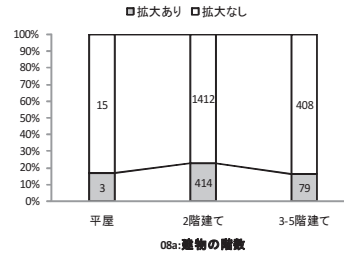
図 1 木造家屋の被害パターン



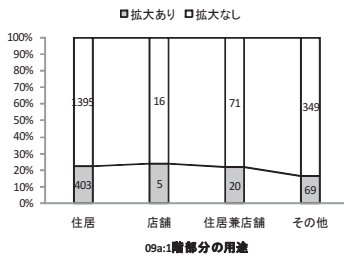
(a) 設問 5a: 地形



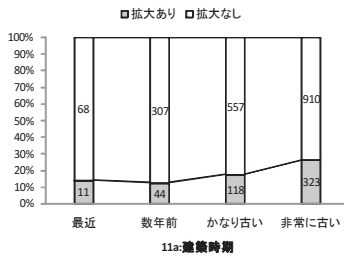
(b) 設問 6a: 地盤



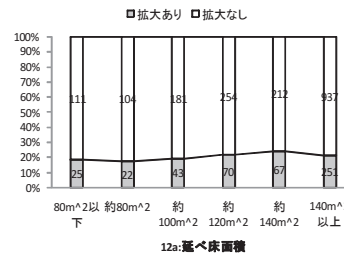
(c) 設問 8a: 建物階数



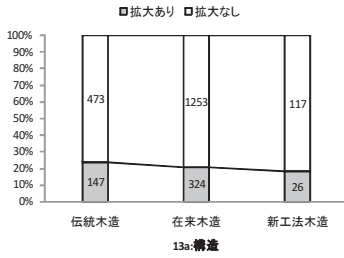
(d) 設問 9a: 1階部分用途



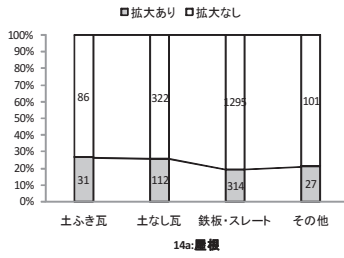
(e) 設問 11a: 建築時期



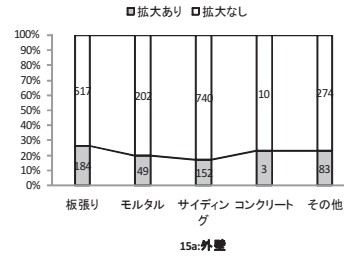
(f) 設問 12a: 延べ床面積



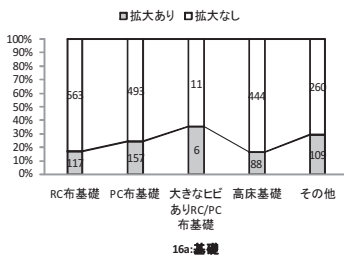
(g) 設問 13a: 建物構造



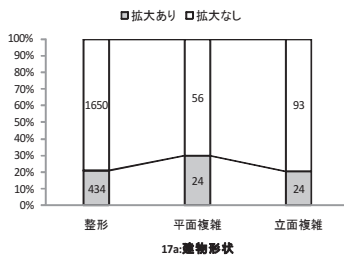
(h) 設問 14a: 屋根形式



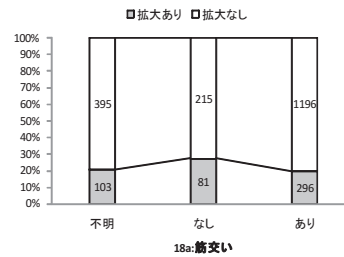
(i) 設問 15a: 外壁形式



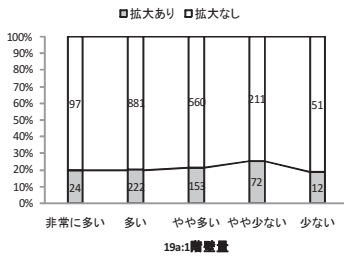
(j) 設問 16a: 基礎形式



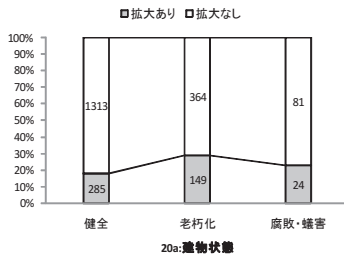
(k) 設問 17a: 建物形状



(l) 設問 18a: 筋交い



(m) 設問 19a: 1階壁量



(n) 設問 20a: 建物状態

図 2 建物特性と余震による被害の拡大

による独立性の検定を行った。解析は R の fisher.test 関数を用いた。検定の結果を表 3 に示す。表中の p-value の横のアスタリスクは、有意水準 5%(*)あるいは 1%(**)で余震による被害拡大有無と相関があると判定された特性であることを意味している。この結果、地盤、地形および建物特性に係わる 14 の項目のうち、余震による被害拡大有無と相関のある項目として以下の 8 項目が抽出された。

設問 6a:地盤, 設問 8a:建物階数, 設問 11a:建築時期, 設問 14a:屋根形式, 設問 15a:外壁形式,
設問 16a:基礎形式, 設問 18a:筋交い, 設問 20a:建物状態

表 3 余震による被害拡大有無と各種特性の独立性の検定結果

設問	設問概要	p-value	
5a	地形	0.1687	
6a	地盤	1.61E-07	**
8a	建物階数	0.00586	**
9a	1階部分用途	0.05707	
11a	建築時期	2.05E-09	**
12a	延べ床面積	0.6351	
13a	建物構造	0.1774	
14a	屋根形式	0.01727	*
15a	外壁形式	0.0002318	**
16a	基礎形式	7.03E-07	**
17a	建物形状	0.1512	
18a	筋交い	0.01677	*
19a	壁量	0.4017	
20a	建物状態	5.54E-07	**
	本震震度階級	2.19E-14	**

Fisherの正確検定

*5%有意水準で相関あり

**1%有意水準で相関あり

4. 数量化 II 類によるモデル化

(1) 本震被害パターンを考慮しない場合

数量化 II 類は質的な説明変数を用いて質的な外的基準の値を予測するための手法である⁷⁾。ここでは前章で余震による被害の拡大有無と相関があると判定された 8 項目の設問回答および本震震度階級を説明変数とし、余震による被害拡大有無を外的基準とした分析を行った。分析は R 上で青木⁸⁾による関数 qt2 を用いて行った。算出されたカテゴリースコアを表 4 に示す。得られたカテゴリースコアによって余震の有無を判別した結果、推定群と実績群は表 5 のようになり、判別の中率は 64.1%であった。この結果は、ある程度の予測はできるもののそれほど高い判別の中率とはいえず、精度のよい判別のための工夫が必要である。精度向上の一つの考え方として、余震による被害の拡大は、本震による被害パターンによって様相が異なることが想定されるため、これを考慮することによってより精度のよい予測が可能になると思われる。次節で本震被害パターンを考慮した分析について述べる。

(2) 本震被害パターンを考慮した場合

前節では本震による被害パターンは考慮しないままに余震による被害の拡大有無について分析してきたが、実際には、余震による被害の拡大は揺れの大きさ、地盤および建物特性だけではなく、本震による被害パターンにも影響を受けると考えられる。そこで、本震による被害パターン別に前項同様数量化 II 類による分析を

行った。算出されたカテゴリースコアを表 6 に示す。得られたカテゴリースコアによって余震の有無を判別した結果、推定群と実績群は表 7 のようになり、判別の中率は本震による被害パターンに応じて、本震被害パターン D0 で 76.9%, D1 で 71.8%, D2 で 72.7%, D3 で 92.0%, D4 で 94.9%であった。これらはいずれも本震被害パターンを考慮しない場合の 64.1%を大きく上回っており、大幅な予測精度の向上がみられた。

表 4 本震震度階級および 8 建物特性のカテゴリースコア

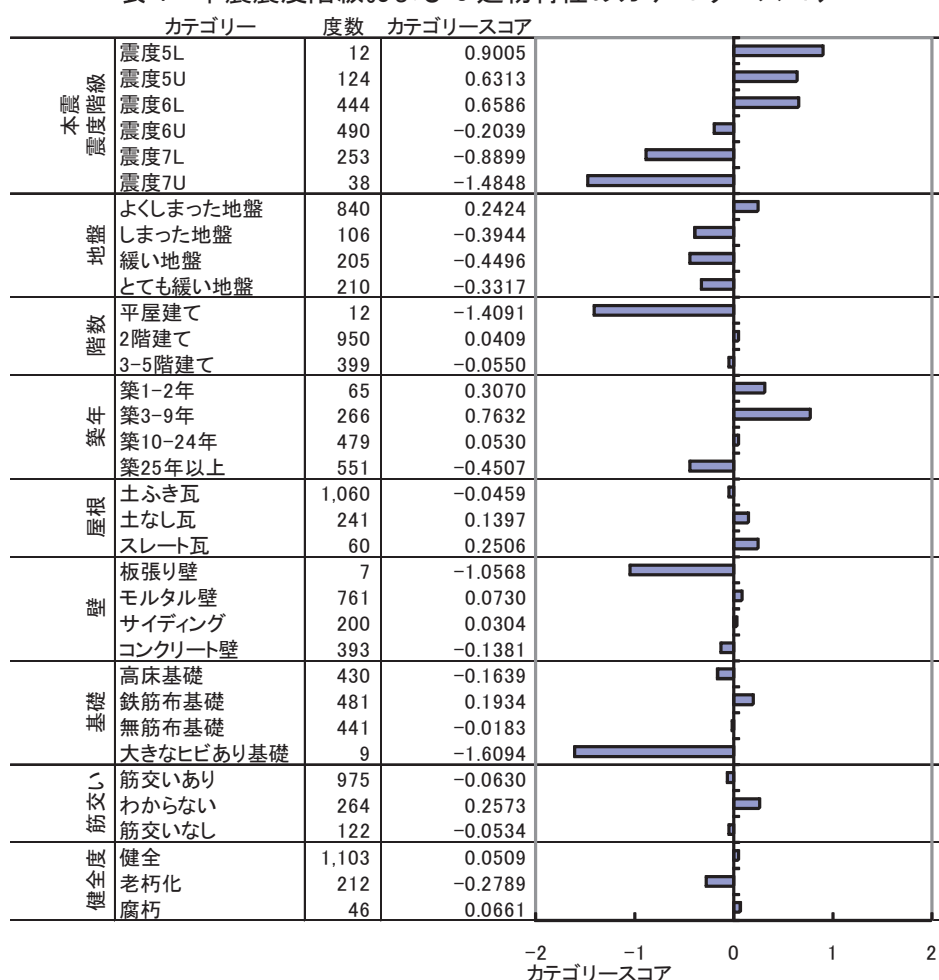


表 5 余震による被害拡大有無の推定結果と実データとの比較

推定群	実績群	
	拡大あり	拡大なし
拡大あり	151	383
拡大なし	106	721
的中率	64.1%	

5. 適正項目の選択

(1) 背景

各種の要因から予測を行う場合、予測に用いる項目が多いほど一般的に精度も高くなる。一方、実際の調査の場面においては、回答者の負担をあまり大きくできないために、多くの場合調査項目を制限せざるを得ないが、同時に調査者は1度の機会に多くのことがらを調査したいという相反した事情がある。そのため、今回のようにある事項を判別するためにいくつかの設問が必要な場合、精度をある程度維持しながら設問項目の削減が可能であれば、削減できた項目分、別の設問を調査に含めることができるという利点がある。この観点より、現在予測に用いている説明変数の削減について検討する。

(2) 建物特性間の関係

説明変数の選択を行う場合、説明変数相互に高い相関がある場合はいずれかの変数を除外するのが一般的である。そこで、建物特性相互に独立性の検定を行った結果を示したものが表 8 である。この結果、建物特性は相互に相関ありと認められたため、各カテゴリーの度数とカテゴリースコアのレンジを考慮して、建物特性の代表値として建築時期のみを採用した分析を行った。本震被害パターン別に本震震度階級および建築時期を説明変数とした数量化 II 類による分析を行った。算出されたカテゴリースコアによる的中率は本震被害パターン別に D0 で 67.1%, D1 で 69.6%, D2 で 70.0%, D3 で 59.7%, D4 で 46.2%であった。8 つの建物特性すべてを用いた場合と比較して的中率は低くなっているが、本震による被害パターン D3 以上で特に的中率が低い。D4 では的中率が 50%以下で、むしろ誤りの方が多くなっている。この結果から破壊が進んでくると建築時期とは別の要因による影響が大きくなることが推察される。

(3) CATDAP を用いた変数の選択

CATDAP は桂・坂元によって開発された、AIC (赤池情報量基準) を用いて、目的変数が質的データであれば、どんなデータであっても最適なカテゴリーゼーションを持つ最適な変数の組み合わせを検出することができるプログラムである⁹⁾。ここでは CATDAP を用いた説明変数の選択を試みた。変数選択は以下の手順で行った。本震被害パターン別に本震震度および 8 つの建物特性と余震による被害拡大の有無の分割表を作成し、これを CATDAP の入力として本震被害パターンごとに最適な変数の選択を行った。選択された各設問項目は表 9 に示すとおりであり、個別に選択された以下の 4 項目を本震被害パターン全体を通じて分析に用いることとする。

設問 6a: 地盤, 設問 8a: 建物階数, 設問 11a: 建築時期, 設問 18a: 筋交い

本震被害パターン別に本震震度階級および上記の 4 項目を説明変数とした数量化 II 類による分析を行った。算出されたカテゴリースコアによる的中率は本震被害パターン別に D0 で 67.4%, D1 で 70.2%, D2 で 68.4%, D3 で 74.7%, D4 で 82.7%であった。D0~D2 までの的中率は建物特性値として建築時期のみを用いた場合とほとんど変化はないが、D3 以上の的中率は相当程度改善されている。

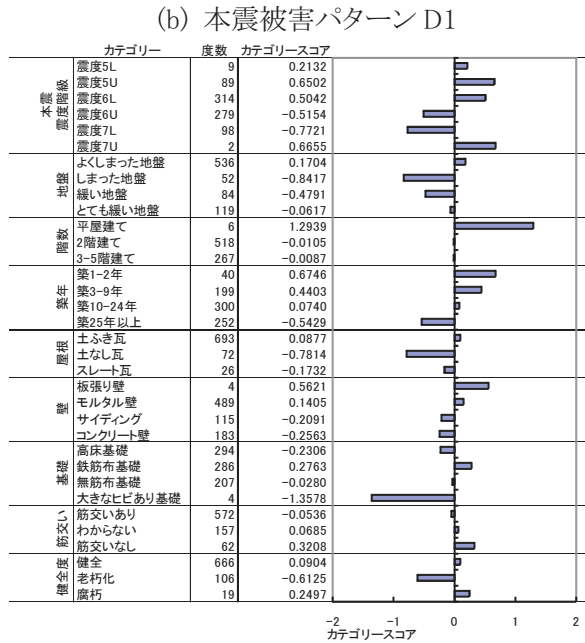
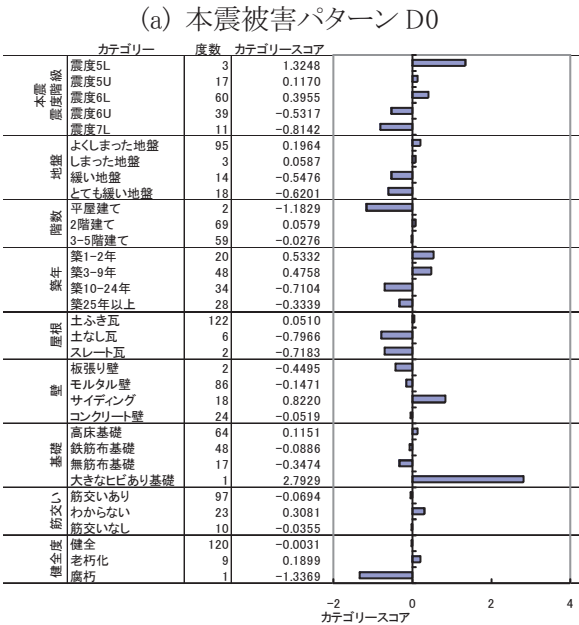
(4) 耐震判定による判別

ここまで検討してきた調査データに基づく項目選択のアプローチ以外にも、物理的な根拠に基づく指標を用いた項目選択というアプローチも当然あり得る。そこで、建物の耐震性能を端的に表す指標である耐震診断値による分析も併せて実施した。本調査ではアンケートの回答から簡易耐震診断値の算定が可能であり、得られた耐震診断値による 4 段階の耐震判定 (安全, 一応安全, やや危険, 危険) を説明変数の値として用いた。なお、簡易耐震診断の手法は 2004 年に改訂されているが、新しい手法では居住者が回答できる設問範囲では専門家の診断の要不要までしか判断できないため、ここでは改訂前の手法による判定結果を用いている。本震被害パターン別に本震震度階級および耐震判定を説明変数とした数量化 II 類による分析を行った。算出されたカテゴリースコアによる的中率は本震被害パターン別に D0 で 67.4%, D1 で 65.2%, D2 で 70.3%, D4 で 67.6%, D4 で 48.2%であった。全体的に建物特性項目を独立に扱った場合よりの中率が低く、D3 を除いて建築時期のみを用いた場合と近い結果となっている。

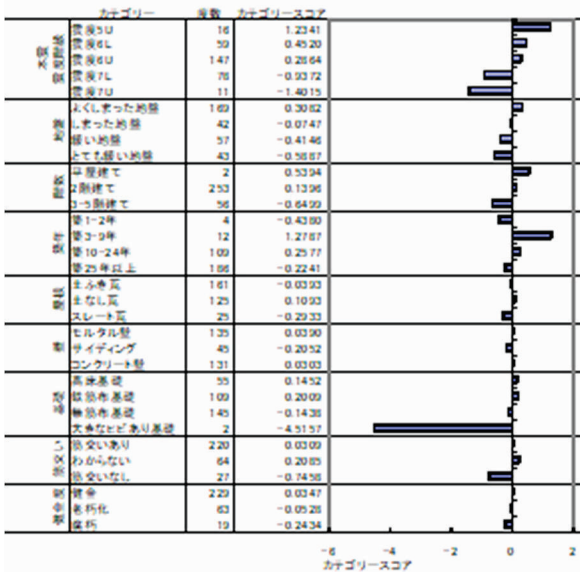
(5) 考察

本章において検討した結果をまとめたものが表 10 である。建物特性に関わる説明変数を 3 章で選択された 8 項目とした場合が最も判別的中率が高い。それ以外の 3 つのパターンでは、本震被害パターンが D0~D2 では 70%前後の的中率とあまり変化がないが、D3 以上では建築時期のみが最も判別的中率が低い。特に D4 では建築時期のみおよび耐震判定で誤りの方が多くなるという結果であった。それに対して CATDAP で選択された 4 建物特性では、8 建物特性を用いた場合の判別的中率には及ばないものの、D3 以上で 74%以上の的中率であった。耐震判定を用いた場合の的中率が建築時期のみを用いた場合とあまり変わらないというのは、

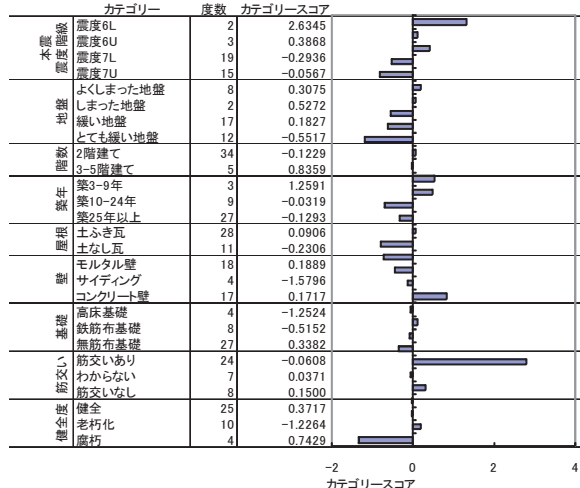
表6 本震被害パターン別本震震度階級および8建物特性のカテゴリースコア



(c) 本震被害パターンD2



(e) 本震被害パターンD4



(d) 本震被害パターンD3

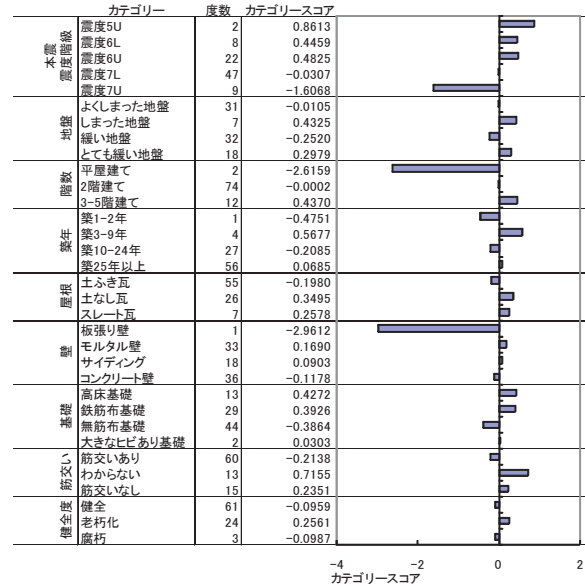


表7 本震被害パターン別余震による被害拡大有無の推定結果と実データとの比較

(a) 本震被害パターンD0 (b) 本震被害パターンD1

推定群	実績群	
	拡大あり	拡大なし
拡大あり	42	15
拡大なし	15	58
的中率	76.9%	

推定群	実績群	
	拡大あり	拡大なし
拡大あり	78	186
拡大なし	37	490
的中率	71.8%	

(c) 本震被害パターンD2 (d) 本震被害パターンD3

推定群	実績群	
	拡大あり	拡大なし
拡大あり	41	64
拡大なし	21	185
的中率	72.7%	

推定群	実績群	
	拡大あり	拡大なし
拡大あり	18	4
拡大なし	3	63
的中率	92.0%	

(e) 本震被害パターンD4

推定群	実績群	
	拡大あり	拡大なし
拡大あり	2	2
拡大なし	0	35
的中率	94.9%	

表 8 建物特性相互の独立性の検定結果

設問	設問概要	6a	8a	11a	14a	15a	16a	18a	20a
6a	地盤		0	0	0	0	0	0	0
8a	建物階数	0		0	2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16
11a	建築時期	0	0		2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16
14a	屋根形式	0	2.2E-16	2.2E-16		2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16	0.0008
15a	外壁形式	0	2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16		0.0008	0	0
16a	基礎形式	0	2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16	0.0008		0	2.2E-16
18a	筋交い	0	2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16	0	0		0
20a	建物状態	0	2.2E-16	2.2E-16	0.0008	0	2.2E-16	0	

Fisherの正確検定

※値が 0.01 以下の時, 1%有意水準で相関あり

表 9 本震被害パターン別に CATDAP によって選択された項目

本震被害パターン	選択された設問項目
D0	設問11a(建築時期)
D1	設問11a(建築時期)
D2	設問6a(地盤), 設問18a(筋交い)
D3	設問8a(建物階数)
D4	—

表 10 用いた建物特性ごとの本震被害パターン別判別の中率まとめ

本震被害パターン	建築時期のみ	耐震判定	8建物特性	4建物特性
D0	67.1%	67.4%	76.9%	67.4%
D1	69.6%	65.2%	71.8%	70.2%
D2	70.0%	70.3%	72.7%	68.4%
D3	59.7%	67.6%	92.0%	74.7%
D4	46.2%	48.2%	94.9%	82.7%

表 11 本震被害パターンにおいて建物特性の持つ情報量のまとめ

設問	設問概要	余震による被害拡大有無における本震被害パターンとの関係
6a	地盤 ○	本震被害パターンの全域で情報量が多い
8a	建物階数 ○	本震被害パターンが中程度以上(被害程度が大きい)で情報量が多い
11a	建築時期 ○	本震被害パターンが中程度以下(被害程度が小さい)で情報量が多い
14a	屋根形式	本震被害パターンが中程度以下(被害程度が小さい)で情報量が多い
15a	外壁形式	本震被害パターンが中程度以下(被害程度が小さい)で情報量が多い
16a	基礎形式	本震被害パターンが中程度以上(被害程度が大きい)で情報量が多い
18a	筋交い ○	本震被害パターンが中程度以上(被害程度が大きい)で情報量が多い
20a	建物状態	本震被害パターンが中程度以下(被害程度が小さい)で情報量が多い
本震震度階級		本震被害パターンの全域で情報量が多い

○ CATDAPによって選択された項目

建築時期に応じて準拠する法律が異なるなど、構造も近いものになっていることが考えられる。本震被害パターンが大きくなると判別の中率が低下することについては、破壊が進んできた場合の耐震性能は健全であったときの耐震性能では計ることはできないということを示すと考えられる。耐震判定を行うために用いた建物特性項目は CATDAP で選択された 4 つの項目をすべて含んでいるにも関わらず、4 項目を用いた判別の中率よりも低い。これは耐震診断値という統合指標にしてしまったことでそれぞれの項目が持っている情報が丸められてしまったためであろう。

CATDAP による項目選択の過程において、本震被害パターン別に各建物特性項目の AIC が算出される。この値をみることで、各建物特性項目について、本震被害パターンが大きくなると余震による被害拡大に与える影響がどうなるのかということ判断することができる。建物特性項目別の傾向はおおむね表 11 のようになる。本震被害パターンが中程度以下(被害程度が小さい)で情報量が多いということは、建物が健全であった場合に余震による被害拡大有無をよく説明できるということを示しており、中程度以上(被害程度が大きい)で情報量が多いということは破壊が進んできたときに余震による被害拡大有無をよく説明できるということを示している。中程度以下で情報量が多い特性項目は建築時期、屋根形式、外壁形式および建物状態であり、おおむね低い震度でも壊れやすい項目を示しており、中程度以上で情報量の多い項目は建物階数、基礎および筋交いという建物の構造に関わる項目を示している。表 11 から、CATDAP によって選択された 4 項目によって本震被害パターンの全域をカバーするように選択されていることがわかる。

6. 結言

中越地震における新潟県小千谷市の全世帯を対象とした調査結果から、余震による木造家屋の被害拡大に関わる要因分析を行った。まず分割表の解析を通じて余震による被害拡大と相関のある建物特性項目を選択し、選択された 8 項目と本震震度階級を説明変数として数量化 II 類による分析を行った。本震被害パターン別の分析では 71.8~94.9%という高い判別の中率を得た。次に、調査項目効率化の観点から建物特性項目相互の関係およびそれぞれの項目が持つ情報量などを通じて項目数の削減を試みた。このとき、併せて簡易耐震診断判定結果についても併せて分析を行った。その結果、前に選択された 8 建物特性は相互に関係が

あること、数量化 II 類による分析から建築時期のみと耐震判定を用いた場合の判別の中率は、本震被害パターンによる被害程度が大きい場合に 50%以下となるなどおおむね同様の傾向を示すこと、CATDAP によって選択された 4 建物特性では、本震による被害パターンが D2 以下の判別の中率は建築時期や耐震判定とおおむね同様であったが、D3 以上でも的中率の大幅な低下はみられないこと、建物特性ごとに本震被害パターンに応じて余震による被害拡大に及ぼす影響の強さが異なることなどが明かとなった。本研究では住民(非専門家)による回答に基づいた分析から、余震による木造家屋の拡大の有無の推定が相応的中率で可能であることを示した。

今回の分析によって得られた建物特性と被害に係わる知見は、余震による被害拡大に係わる詳細な分析に向けて有用となろう。また、数量化 II 類による分析結果を直接的な地震防災活動に生かす方法としては、例えば分析結果をチェックシート化することによって地震直後に建物被害の拡大有無を推定し、避難活動に生かすなどの活用方法が考えられる。冒頭で指摘したように中越地震は近年の地震では飛び抜けて規模の大きな余震が頻発した地震であり、今回の結果をそのまま適用することは被害の過大評価ではないかとの考えもある。しかし、防災の観点からは安全側で判断するほうが望ましく、この点にたてばそれほど問題はないと思われる。余震による被害の拡大という問題は、地震による被災地が再度相応の規模の地震に見舞われる問題と相通じるものでもあり、余震という枠組みを超えて大事な課題であるといえよう。

補注

(1) 本調査は財団法人地震予知総合研究会東濃地震科学研究所震害と防災研究委員会有志によるワーキンググループとして実施した。調査メンバーは太田裕[東濃地震科学研究所]、岡田成幸[名古屋工業大学(当時)]、小山真紀[東濃地震科学研究所(当時)]、澤田雅弘[長岡造形大学(当時)]、宮野道雄[大阪市立大学]、村上ひとみ[山口大学]、和藤幸弘[金沢医科大学]である。

謝辞

本調査を行うに当たり、小千谷市役所および小千谷市民の皆様にも多大な支援と協力をいただいた。分析に当たり、使いやすい関数およびプログラムを公開していただいた群馬大学青木繁伸氏および統計数理研究所に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁:平成 16 年 10 月地震・火山月報(防災編), 2004.
- 2) 気象庁:平成 19 年 7 月地震・火山月報(防災編), 2007.
- 3) 小山真紀 他:小千谷市を対象とした 2004 年新潟県中越地震に関する全世界帯調査(2)ー総合解析:住居・人間被害, 生活再建ー, 東濃地震科学研究所報告, Seq. No. 22, pp.55-88, 2008.
- 4) 組谷彰太郎・高田毅士:余震発生を考慮した確率論的建物被害評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 74 巻, 第 637 号, pp.459-465, 2009.
- 5) 太田裕・小山真紀・中川康一:アンケート震度算定法の改訂ー高震度領域ー, 自然災害科学, 16-4, pp.307-323, 1998.
- 6) 岡田成幸・高井伸雄:地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, No.524, pp. 65-72, 1999.
- 7) 田中豊・垂水共之 編:Windows 版統計解析ハンドブック多変量解析, 13.数量化理論(2)ー数量化 II 類, pp.160-169, 1995.
- 8) 青木繁伸:数量化 II 類, <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/qt2.html>, 確認日 2009/05/21.
- 9) 坂元慶行:カテゴリカルデータにおける変数選択プログラムーCATDAP を中心にー, 統計数理研究所彙報, 第 28 巻, 第 1 号, pp.135-155, 1981.