

ランダム効用理論に基づく住宅の耐震補強に関する選択行動分析

Behavior Analysis concerning Selection for Earthquake-Resistance Retrofitting Based on The Random Utility Theory

○廣井 悠¹, 小出 治², 加藤 孝明²

U HIROI¹, Osamu KOIDE² and Takaaki KATO²

¹東京大学 大学院 工学系研究科 都市工学専攻
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

²東京大学 工学部 都市工学科
Department of Urban Engineering, University of Tokyo

In this paper, we assumed that earthquake-resistance retrofitting is a behavior of the individual resident's selection and analyzed it. Concretely, after the decision making structure concerning earthquake-resistance retrofitting and the factors are clarified, the action of each subject is described by binary logit models. The result of this research will be able to be used for the real number forecast and the policy assessment for earthquake-resistance retrofitting.

Key Words : earthquake-resistance retrofitting, logit model, Evaluation of policy, Earthquake Research Committee

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震は犠牲者6400人という甚大な被害を記録した。この災害は通電火災、復旧・復興政策、高齢者被害など数多くの課題を我々に突きつけたものであるが、なかでも住宅の倒壊による被害は極めて深刻であり、震災関連死を除いた犠牲者5500人のうち約9割が住宅の倒壊や家具の転倒による窒息死・圧死であったといわれている。それゆえこれ以降、住宅の倒壊による被害軽減はわが国の地震対策上大きな課題となったわけではあるが、それから10年あまりが経過し地震活動が活発化ははじめていと言われる今日に至っても、全戸建木造住宅の約4割(約1000万戸)はまだ耐震性が不足していると考えられている。このことは住宅の耐震化が一見単純な問題に見える反面、現実には極めて解決の困難な課題であるということを明示的に示しているといえよう。こうした状況を鑑み、国は10年で耐震化率を90%にするという具体目標を地震防災戦略の中で明らかにし、また静岡県、横浜市などをはじめとした地方自治体も自治体独自の特性を生かした様々な耐震補強推進策を積極的に打ち出した。これら推進策はその殆どが耐震診断や耐震補強に関する補助や融資の制度であり、特に静岡県では最大約60万円と高額な助成を提案しているが、それでも戸建住宅の耐震性確保は期待通りに進んでいないのが現状である。

一方、耐震補強工事を取り巻く政策に関しては、新しい工法の提案であったり、その阻害要因に関する話であったりと様々な議論がこれまでになされているが、どの政策がどれだけの効果があるかを意思決定者の立場から定量的に論じたものは数少ない。そもそも住宅耐震性の確保は居住者の生命に関わる問題であり、自宅の耐震性が確保していないことに対して問題意識を感じるべきはその居住者自身に他ならないと考えられるため、耐震補

強工事を居住者の選択行動と位置づけて行った分析をもととして、意思決定者の自発的かつ多様な選択を可能にし、なおかつそれを誘導すべき政策を議論することは大きな意義があるといえる。

一般に、耐震補強工事を選択するか否かは意思決定者の属性や選択肢の特性によって大きく異なることが予想される。例えば、自宅の危険性を適正に把握していない人々に対しては耐震診断が極めて有効な政策であると考えられるが、耐震補強工事を行うだけの金銭的余裕がない人や地震で死んでもかまわないと考える人々にとっては耐震診断の効果は比較的薄いと考えられる。補強工事の対象となる建築物がまだ数多く残っており、助成のみによるこれ以上の耐震補強推進には限界があるという現状を考えると、如何なる属性の人たちに対して如何なる政策がどの程度有効であるかを把握することは、限られた条件の中で住宅倒壊による被害を最大限防ぐために必須な知見であるといえよう。

以上の背景を踏まえ、本研究では耐震補強に関する居住者個人の選択行動基準に基づいた非集計分析を行う。この分析を行うことで求められる住宅耐震化の実数予測に関する知見もさることながら、分析の過程を通じて得られた各種パラメータを解釈することでそれらを取り巻く政策の効果や、各政策の限界の把握などにおいても何らかの役割を果たすことが期待される。具体的には、静岡県で行われたアンケート調査結果をもととして耐震補強工事に関する住民の意思決定構造並びにその因子を明らかにした上で、その結果を踏まえてランダム効用理論を用いた非集計分析による各主体の行動モデルの構築を目指すこととする。論文の構成としては、はじめに2章でアンケート調査の概要と簡単な統計分析の結果を説明する。ここでは簡単な集計結果を図示したのち、選択行動の基礎となりうる意思決定構造の差異を明確にすべく、分散分析を用いて集団間の補強工事選択率に統計的有

意差が認められるか否かを確認する。更に、その結果をもととして共分散構造分析を行い、意思決定構造をパス図で記述したのち、判別分析によって耐震補強工事選択の如何を個人属性や選好特性より把握しようと試みる。また、第3章では本研究の主目的であるランダム効用理論を用いた非集計分析をアンケートデータにあてはめ、耐震補強選択工事の実数予測および政策インパクトの定量的な評価法について論じることとする。これにより、これまであまり議論される事の無かった政策案の相互組み合わせや対象の絞込みなどの議論に何らかの基礎的知見を構築する事ができるであろう。最後に、地震保険加入の有無が耐震補強工事選択率にどのような影響を与えるかを把握すべく、共分散構造分析及び上述の非集計分析を第4章にて行うこととする。

2. 耐震補強工事に関する意識調査の概要

本研究では2006年3月23日～2006年4月6日に行われたアンケート調査のデータを用いた。この調査は、意思決定者が住宅の耐震補強工事に関しどのように感じているかについて調査したものであり、その概要は以下の如く示される。

調査対象者：世帯主またはそれに準ずる住民 800名
 調査エリア：静岡市葵区・駿河区
 調査期間：2006年3月23日～2006年4月6日
 調査実施方法：郵送調査(選挙人名簿より無作為抽出)
 調査主体：財団法人 人と防災未来センター
 東京大学大学院情報学環 廣井研究室
 東京大学工学部都市工学科 小出研究室
 調査委託機関：(株)サーベイリサーチセンター
 回収状況：回収数 207 サンプル(25.9%)
 有効票数 204 サンプル(25.5%)

はじめに上記のアンケート調査に対し、持ち家層のみを抽出して結果の概要を簡単にまとめる。これは、3章で記述するランダム効用理論を用いた分析の下準備としての意味を持つ。本アンケートでは上述の世帯主またはそれに準ずる住民(これを意思決定者と呼ぶ)に対し、もし仮に自宅の耐震性が不足していると判明したとき、耐震補強工事を行いますかとの仮想的な質問を行った。この質問はかなり強い仮定を回答者に強いることになるが、構造計算書偽造に関する話題が騒がれていた時期がちょうどアンケート調査期間であったこともあり、リアリティを極端に失わせるものではないと考える。この質問に様々な補強メニューに関する項目を追加検討することで、補強工事に関する選好特性の把握が可能となろう。アンケートの質問項目は、主に意思決定者の属性に関する質問と工事の選好特性に関する質問に大別できる。前者は性別、年齢、年収などの基礎的なデータをはじめとして、地震保険加入の有無、耐震診断の有無、災害時要支援者の有無、地震に対する不安感など多岐にわたる。他方、工事の選好特性に関しては耐震補強工事の自己負担額と、耐震補強の程度についての検討を行った。なお、前者に関しては200万円、150万円、100万円、50万円、20万円の5パターンとし、また補強の程度に関しては、命は助かるが住宅は使用不能になる程度の簡易的な補強(以後これを簡易補強と呼ぶ)、命も住宅も被害を受けない頑強な補強(以後これを頑強補強と呼ぶ)の2種類と定めた。

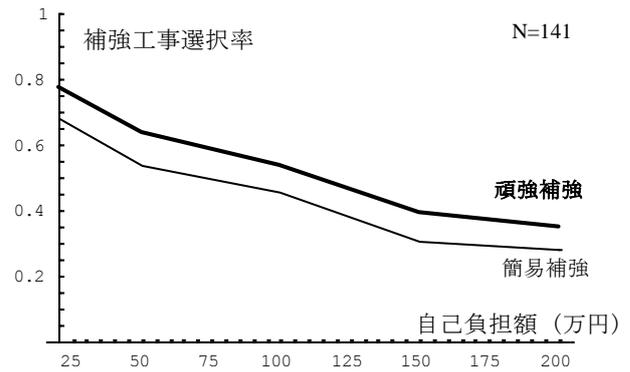


図1 工事選択率と自己負担額の関係(補強程度別)

図1は耐震補強工事に対しこの内容なら工事をしてもらいたいとした回答者の割合を示すグラフである。太線は頑強補強に関する数値であり、細線が簡易補強に関する値である。細線と太線は工事の自己負担額によらずおおむね7~8%の差となっている。また、自己負担額が200万円の場合30%前後であった工事選択率が、負担額が20万円となると70%前後となることから、自己負担額が補強工事選択に関して大きな影響を与えていることも読み取れる。さらにこの図で特筆すべきことは、自己負担額を仮に20万円としてもなお20~30%の回答者は「耐震補強工事を選択しない」と答えていることである。工事の自己負担額が20万円という破格ともいえる工費であってもこのような結論が得られたということは、効果が高いと考えられている経済支援による対策ですら、それのみによる奨励には限界があるという事実を示している。

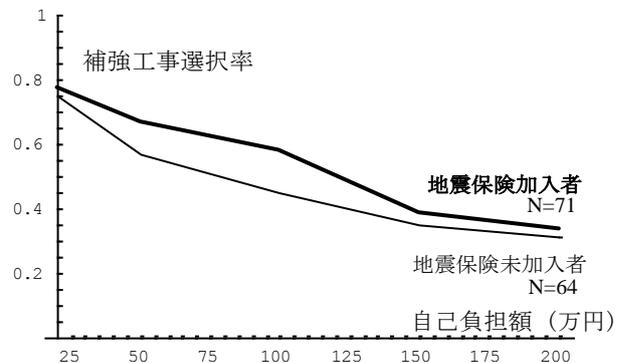


図2 工事選択率と自己負担額の関係(保険加入別)

また、上図2は地震保険に加入している世帯(太線)としていない世帯(細線)の頑強補強工事選択率である。そもそも地震保険や共済は住宅が被害を受けた場合に保険金を受け取る制度であるのに対し、耐震補強工事は住宅そのものを地震から守る手法である。すなわち、地震保険に加入している意思決定者が、地震火災による延焼の損害などの耐震補強工事ではカバーしきれないリスクを考慮に入れず、地震発生時に耐震補強と地震保険の利益を同時に受け取ることはない判断し、補強工事の選択に関してある種のためらいを感じる、ということはある。

う話である。従って、耐震補強推進策を論じるにあたって、地震保険加入の有無が及ぼす耐震補強工事選択に関する負の影響を少なからず存在するのではないかと考えられる。しかし、本アンケートでは地震保険に加入している人ほど補強工事選択率が高くなるという調査結果が得られた。これに関しては、静岡県のみならず福岡県においても同様の傾向が確認されている¹⁾。この一見矛盾した結果は、地震保険に加入している集団と加入していない集団そのものの防災意識や危機意識に大きな差異があることによるものと解釈できる。すなわち、地震保険加入の有無という観測変数の背後に防災意識や危機意識という潜在した因子があると推測できるのである。また、100万円の補強工事に対し、地震保険加入グループと未加入グループ(加入 N=71, 未加入 N=64)は13.2%しか選択率の差がないのに対し、防災訓練にできるだけ参加するようにしているかどうか(する N=47, しない N=85)に関しては選択率の差が18.9%、食料や飲料水を用意しているかどうか(する N=69, しない N=63)では選択率差が14.8%、避難所を確認しているかどうか(する N=57, しない N=75)では選択率差が25.7%であった。このことから、保険加入の有無が選択率に与える差13.2%は少なくない費用負担を伴う対策の割には比較的低いものと考えられる。この理由については、「地震保険に加入しているという理由で補強工事を拒絶する意思決定者が少なからずいる結果、他の防災対策ほど両者の差は大きくない」との仮説が考えられる。もしこの仮説が正しいのであれば地震保険の補強工事に対する負の影響を認めることができるであろう。これに関する詳しい考察は第4章に改めて記述することとする。

次に、回答者の年収別に頑強補強工事選択率を示したグラフが図3、図4である。なお、年収は200万円未満から200万円刻みで1000万円以上まで6パターンに分類した。図3は縦軸を工事選択率、横軸を年収で表したものである。年収の高い居住者の方が選択確率はおおよそ高くなり、その傾向は補強工事自己負担額の増加に伴って顕著に現れることが読み取れる。ただし、図3においては年収400~600万円の部分でどの自己負担額に関しても選択確率が大きく落ち込むという結果が得られた。これは当該層の主な構成者が、可処分所得の少ない若年層の世帯主で占められているという理由が考えられよう。事実30歳代の回答者の約半数が年収400~600万円であり、また彼らは訓練参加の有無や避難所確認の有無など防災意識が低い訳ではないものの、その多くは耐震補強工事は手間がかかりすぎ、また補強工事のやり方が良くわからないと回答している。補強工事に対する労力負担を軽減するという対策は、働き盛りのこの層の人々にとって非常に有効であろうことが推測されよう。また図4は補強工事自己負担額を横軸として年収別に工事選択率を表したものである。これより、年収の少ない意思決定者ほど補強工事の価格弾力性が大きくなっていることが分かる。さらに図4において特筆すべき傾向は、補強工事の価格が150万円以上の場合には高所得の方が工事選択率は高いが、補強工事が20万円の場合は低所得の方が選択率が高いという逆転現象が認められたことである。これより、

1. 低所得の方が耐震補強工事を選択したいとする潜在的な需要が多く、そしてその多くは経済的な理由によってその行動を制限されている
2. 所得が多くなるに従って、補強工事に関する価格弾力性は大きく減少する

なる仮説を得ることができる。おそらくその理由は年収による危機意識や工事費に対する相対的な負担感の差異によるものであろうと思われるが、このことより耐震補強工事に関する経済支援に関しては、同一の危険性を孕んだ住宅のもとでは高所得者に対してより低所得者に対しての方が効果は大きいという傾向を読み取ることができる。ただし、図4においては年収200万円未満及び年収1000万円以上のサンプル数が少なく、統計的に有意であるとはできない。よって、上述の内容はケーススタディとしての認識が必要となることをここで付け加える。なお年収200万円未満の回答者の約9割が50歳以上の世帯主であり、そのうちの半数が60歳以上であることを考えると、「TOUKAI-0」の高齢者のみの世帯に対する20万円の割増制度は、高齢者福祉という点のみならず、この価格弾力性という点から見ても耐震補強工事誘導の有効な政策であろうことが推測される。逆に、高所得者層に対する支援策を検討する際は、防災意識の向上など耐震補強工事選択の潜在的な需要拡大を目指すべきであろう。それら支援策の使い分けが現実的に可能であるか否かの議論は別として、限られた財政的制約条件の下で住宅倒壊による被害を最小化しようと試みる場合、この仮説は何かしらの意義があるものと考えられる。なおこの仮説に関する定量的な議論に関しては、ランダム効用理論を用いた分析(第3章)で改めて記述することとする

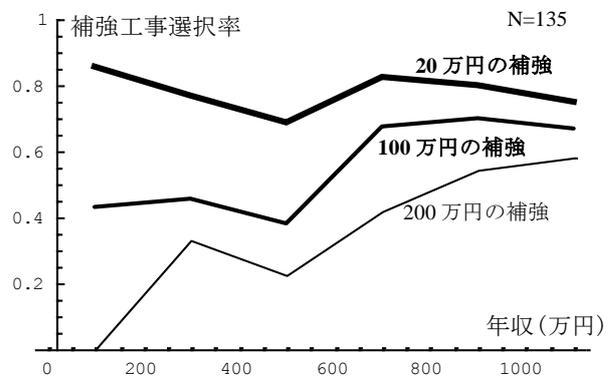


図3 工事選択率と年収の関係(自己負担額別)

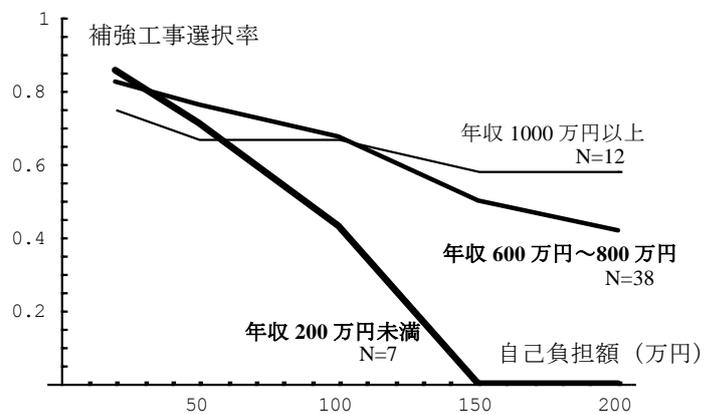


図4 工事選択率と自己負担額の関係(年収別)

以上の記述をもってアンケート調査結果の概要を簡単にまとめる。続いて、これら個人属性が意思決定構造にどの程度大きな違いをもたらすかについて統計的に論じ、3章におけるモデル構築やグルーピングの一助としたい。一口に「耐震補強をしない人」といってもその理由は様々であり、彼らを耐震補強工事に導くためには、彼らの選択行動を分析することが必要となる。しかし、これら選択行動の基礎となる意思決定構造が選択者の属性によって多少なりとも異なることが予想される場合、同一の意思決定構造を全ての対象者に対し適用することは得策ではないと考えられ、結果的にある集団ごとに適する防災対策が異なることも十分に予想される。そこで本研究を進める上ではじめに、これら意思決定者の属性が耐震補強の選択に対し如何なる影響を及ぼしているのか、そしてその影響はどの程度かを把握したい。具体的には上述のデータのうち持ち家の世帯主を抽出し、1.世帯主の収入、2.世帯主の地震に対する不安感、3.高齢者や乳幼児など災害時要支援者の有無、4.世帯主の年齢、の4グループに分類し耐震改修工事を選択するか否かに関し差の検定を行うこととする。つまり、これら複数の集団について集団間に差異があるかどうかを統計的に調べたいのである。なお、分類数が2種類の場合はt検定を用い、3種類以上の場合是一元配置分散分析を行った。

最初に、自己負担額100万円の頑強耐震補強工事に関する選択行動が、意思決定者の収入によってどのように異なるかの分析を行った。収入は、図3の如く年収200万円未満をはじめとして200万円ごとに分類し、年収1000万円以上までの全6グループとしているため、はじめに一元配置分散分析をこの6グループに関して行った。その結果求められたグループ間の差に関する検定の有意確率は0.507となり、各グループにおいてこの補強工事選択結果に大きな差を認めることはできなかった。そこで次は図3に注目し、年収を600万円以上と600万円未満に分類し、t検定を行った。その結果、有意確率は0.04となり年収が600万円を超えるか否かで100万円の頑強補強工事に関する選択結果に有意な差があるという分析結果を得ることができた。このことはすなわち、年収が600万より多いか少ないかによって意思決定者の意識構造が多少なりとも異なる可能性があることを示している。よって彼らの意思決定を論じる際は、両者の違いに関しても検討する必要があるだろう。ちなみにこの600万円という境界は、あくまでも対象地域における住民の、100万円の頑強補強工事に関する選択結果であり、地域特性や工事の金額、程度によって多少なりとも異なることが予想される。同様に、2.世帯主の地震の「2.世帯主の地震に対する不安感」以降の因子についてもt検定並びに一元配置分散分析を行い、集団間の差を検定したが統計的に有意な結果を導き出すことは出来なかった。

次に、耐震補強を行う人はどのような意思決定構造をもって工事の選択に至るかを説明すべく、共分散構造分析を用いて耐震診断選択に関する主要因とそれらの関係を明示的に示す構造方程式モデルを提案することとする。はじめに、耐震補強選択の要因と考えられる観測変数をアンケート調査項目の中から多数抽出したのうち(ただし4章での議論のため地震保険に関する質問は抜いた)様々なモデル式を検討し、最も適合していると思われるパス図を得ることができた(図5)。なおモデル検討の際に統計的に有意でない判断された観測変数はパス図から除いており、残った変数は個人属性より積極的な防災訓練参加の有無(参加なら1そうでないなら0)、避

難所確認の有無(確認している場合は1していない場合は0)、食料や飲料水の用意(用意しているなら1していないなら0)、年収、それと先述の嗜好特性である。その際、年収は各カテゴリーの平均値を用いることとし、1000万円以上の世帯主は分析対象から外した。なお耐震補強に限らず、一般に防災対策は人々が防災に対する潜在意識によってそれぞれある程度規定されているものと考えられるため、上記の観測変数に加えて防災意識という潜在因子を定義し分析を行った。

このときの適合度指標はRMSEAが0.089、AICが152.69となり、当てはまりはさほど悪くないと考えられる。これにより、どの属性がどれくらい耐震補強工事選択に影響を与えているかについてさしあたっての見当をつけることができた。なお、耐震補強工事の選択は、居住者のリスク認知に影響されると一般的に考えられ、そのリスク認知は「建物が脆弱と判断されること(vulnerability)」と「将来大地震に遭遇するかもしれないという認知(hazard)」に分けられるとされている。ここで、前者に関しては「もし仮に自宅の耐震性が不足していると判明したとき」とアンケート上にて設定しているが、耐震補強工事選択の是非を分析するためには、ハザードに関する変数も重視するべきと考えられる。したがってリスク認知を耐震補強工事選択率に反映すべく、ハザードに関するアンケート項目を変数として図5の構造に挿入し分析を行ったが、モデルのあてはまりはきわめて悪くなってしまった(RMSEA=0.520)。このような値が出てしまった理由として、居住者のハザード認知(リスク認知)と防災対策実行の有無の間には線形ではない複雑な関係がみられることが影響していると考えられる。すなわち、正常化の偏見・認知的不協和などに代表されるある種の心理学的な要因が意思決定者の防災対策に大きくかつ複雑な影響を与えているものと考えられるのである。本論文の趣旨や目的から多少逸脱すると思われるため、リスク認知を潜在変数として加えることはここでは控えるが、耐震補強工事選択に関して分析を行う上での妥当性や限界の把握という意味でこれらは今後行うべき重要な課題であるに違いない。

続いて、耐震補強工事の選択に大きな影響を及ぼす要因に関する議論や、これら要因から個人の選択を判別することができるかについてのより詳細な分析を行いたい。具体的には線形判別分析を用いてどの要因が選択の結果にどのような影響をもたらすかについて検討する。判別分析は多変量解析の手法で、サンプルが有する属性に基づいて彼らがどのグループに属するかを判別する方法で、経営学や医学をはじめとした分野で古くから利用されている統計的手法である。

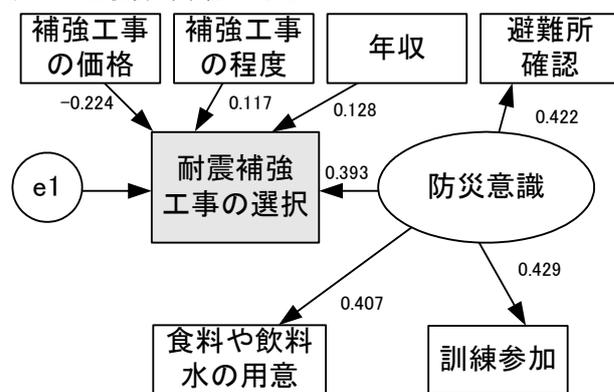


図5 耐震補強工事に関するパス図

既往研究³⁾によると、住民が耐震補強やそれに伴う建替えを行わない理由は表1の如くまとめられ、一般に補強工事をするか否かの選択はこれら阻害要因と大きな関係があるものと考えられる。なおこれらは費用労力負担によるもの、効果に関する信頼性、災害意識、技術的知識不足などに大別されるとしている。そこでここでは表1を参考とし先の共分散構造分析による結果も考慮に入れたのち、個人属性から1.年収(x_1)、2.避難所確認の有無(x_2)、3.防災訓練参加の有無(x_3)、4.食料や飲料水の用意(x_4)を選択し、また選択肢属性からは5.補強工事の自己負担額(x_5)、6.補強の程度(x_6)を選んだ。

表1 耐震補強や建替えを行わない理由(複数回答)

理由	割合
費用がいくらかかるかわからないから	37.8%
補強しても壊れるかもしれないから	35.4%
古い家に今更お金をかけるのはもったいないから	34.6%
将来的に建替えの予定があるから	26.0%
費用がかかりすぎるから	22.8%
どのような工事をすればよいか分からないから	18.1%

これらの変数全てを用いて線形判別関数を定義し、判別分析を行った結果、全体の63.5%が正しく分類され、線形判別関数(1)式を得ることができた。また標準化された正準判別関数係数の絶対値より、判別に貢献している要因を把握することができるが、この場合最も貢献している順に、自己負担額、補強の程度、年収、訓練参加の有無、そして大きく離れて避難所の確認、食料や飲料水の用意となった。特に上位4変数は標準化された正準判別関数係数の絶対値が極めて高く、耐震補強工事の選択に強い影響を与えていることがわかる。この分析結果より、図5の分析によって得られた知見とは異なり、潜在変数を容易に組み込むことができないモデルに対しても補強工事選択に関する主要因の候補を挙げることができる。

$$z_1 = 0.002x_1 + 0.113x_2 + 0.680x_3 + 0.075x_4 - 0.012x_5 + 0.839x_6 - 0.465 \quad \dots(1)$$

以上が、個人属性および選択肢属性が耐震補強工事選択にどのような影響を与え、その結果どの程度人々の行動を再現できるかについての分析結果であるが、この方法では個人属性や選好特性からは選択の如何を全体の65%弱しか正確に把握できない。この数値が高いか低いかは耐震補強問題の複雑さ、深刻さを考えると議論の分かれるところであるが、少し精度に難があると言えよう。そこで上述の調査結果をもととして、次章にてランダム効用理論を用いた非集計分析を行い、上述のアンケート結果及び統計的分析では把握することのできない政策の効果や組み合わせなどを論じるための方法論について記述する。

3. ランダム効用理論の適用

前章において判別分析を用い、個人属性や選好特性から耐震補強工事選択の如何を判別する手法について記述した。しかし、判別分析はある一人の意思決定者が結果的に工事を選択するか否かを判別するのみであり、確率などの定量的な評価を下すことはできない。そこで

耐震補強政策のインパクトを定量的に把握し、また意思決定者の「気分」や「巡り合わせ」、「好み」などの推測困難な要因を考慮に入れるため、耐震補強工事の選択というテーマにランダム効用理論の知見を応用することを試みる。これにより、前章で得られた「選択するかどうか」という定性的な結果のかわりに「選択確率」という量的な結果を得ることが可能となり、加えて選好特性の効果や、相互の組み合わせ、そして多様な工法のどれを選ぶかについての問題に対して定量的に論じることができる。はじめに、耐震化の選択行動を記述する具体的なモデル構築の準備段階として、もともとなるランダム効用理論の簡単な説明を行う⁴⁾。本章の特徴であるランダム効用理論を用いた非集計分析は、人間の行動原理や意思決定構造を扱う分析手法として交通工学をはじめとした様々な分野で用いられている。集計化問題やIIA特性などの欠点に注意する必要があるが、少ないデータ量にもかかわらず妥当性が高く、統計的な吟味によく耐え、政策のインパクトを定量的に把握できるという優れた長所がある。本モデルの基本的な前提は、「意思決定者は与えられた選択肢集合の中から最も効用(満足度)の高い選択肢を選ぶ」と記述され、その効用は選択肢の特性と個人属性に左右されると考えられる。

以上のもとで、ある個人の選択肢の集合(Choice set)が J 個の要素からなるものとし、これを

$$C = \{1, 2, \dots, J\}$$

で表すものとする。そして

$$U_j = [\text{その個人が選択肢 } j \text{ を選ぶときの効用}] \quad (j=1, 2, \dots, J)$$

とする。ここで、上述の仮定「個人は効用が最も大きい選択肢を選ぶ」を約束する。ただしこの効用は、次の2項の和によって表されるものとする。すなわち、意思決定者の「気分」や「巡り合わせ」、「好み」などの観測困難な不確定要素による効用の変動を確率変数 X_j によって組み込むことを試みるわけである。

$$U_j = V_j + X_j, \quad \dots(2)$$

V_j = [確率的に変動しない確定項],

X_j = [確率的に変動する確率項].

ここで X_j を連続的確率変数とし、個人が j 番目の選択肢を選ぶ確率 p_j を次のように表現する。

$$p_j = \text{Prob}\{\forall i \in C - \{j\}, U_j \geq U_i\} \quad (j=1, 2, \dots, J) \quad \dots(3)$$

離散選択モデルにおいては、確率変数 X_j に正規分布を想定したプロビットモデルとガンベル分布を想定したロジットモデルがあるが、前者は多重積分の形で表されるためパラメータ推定が複雑であるという欠点を有している。よって、本研究では簡単のため確率変数 X_j にガンベル分布を想定したロジットモデルを用いて分析を進めることとする。ただしここで異なる確率変数 X_i と X_j は互いに独立であるとし、想定するガンベル分布は位置母数 α_j 、尺度母数 $1/\lambda$ と仮定する。これにより、ガンベル分布の累積分布関数 $F_j(x_j)$ 並びに確率密度関数 $f_j(x_j)$ は以下の如く表される：

$$F_j(x_j) = e^{-e^{-\lambda(x_j - \alpha_j)}},$$

$$f_j(x_j) = \lambda e^{-\lambda(x_j - \alpha_j)} e^{-e^{-\lambda(x_j - \alpha_j)}}. \quad \dots(4)$$

($-\infty < x_j < \infty$)

ここで、耐震補強を行う、行わないという2つの選択肢を考える($C=\{1,2\}$)。このときある意思決定者が耐震補強を行う確率 p_1 は次のように示される：

$$\begin{aligned} p_1 &= \text{Prob}\{U_1 \geq U_2\} \\ &= \text{Prob}\{V_1 + X_1 \geq V_2 + X_2\} \\ &= \text{Prob}\{X_2 \leq X_1 + V_1 - V_2\} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x_1) \cdot \text{Prob}\{X_2 \leq x_1 + V_1 - V_2\} dx_1 \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x_1) \cdot F_2(x_1 + V_1 - V_2) dx_1. \end{aligned} \quad \dots(5)$$

ここで(5)式にガンベル分布の累積分布関数及び確率密度関数を代入し、積分計算を行うと以下の如く表される；

$$\begin{aligned} p_1 &= \int_{-\infty}^{\infty} [\lambda \exp[-\lambda(x_1 - \alpha_1)] \exp[-\exp[-\lambda(x_1 - \alpha_1)]] \\ &\quad \cdot \exp[-\exp[-\lambda(x_1 + V_1 - V_2 - \alpha_2)]]] dx_1 \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} [\lambda \exp[-\lambda(x_1 - \alpha_1)]] \\ &\quad \cdot \exp[-\exp[-\lambda x_1 (\exp[\lambda \alpha_1] + \exp[-\lambda(V_1 - V_2 - \alpha_2)])]] dx_1 \\ &= \frac{\exp[\lambda(V_1 + \alpha_1)]}{\exp[\lambda(V_1 + \alpha_1)] + \exp[\lambda(V_2 + \alpha_2)]} \end{aligned} \quad \dots(6)$$

特に、 x_1 と x_2 が同一のガンベル分布に従うものとした場合は($\alpha_1 = \alpha_2$)、さらに簡単に

$$p_1 = \frac{\exp[\lambda V_1]}{\exp[\lambda V_1] + \exp[\lambda V_2]} \quad \dots(7)$$

なる選択確率が得られる。以上が本研究で用いるランダム効用理論の簡単な概要である。

表2 効用の確定項候補

選好特性によるもの	個人属性によるもの
自己負担額	貯蓄もしくは年収
耐震補強の程度	リスク認知や防災意識
工事の際の日常生活の支障	世帯主の年齢
耐震補強奨励制度の有無	建築物の築年数
税制の優遇措置	地震保険加入の有無
	耐震診断の有無
	住宅の種類・構造
	家族・高齢者の有無

次に、これまでに記述したモデルの具体的な数値例を取り上げるべく、意思決定者は耐震補強を選択する際にランダム効用理論に基づいた選択を行うと仮定した上で、所与の各制度やとりまく状況のもとで耐震補強の選択確率を推定することとする。具体的には、ここで前述したランダム効用理論を用いた非集計分析(2項ロジットモデル)を適用し、得られる確率や係数を推測する。またその際に用いる効用関数であるが、その扱いやすさゆえにここでは線形式を想定する。はじめに効用関数の内容についての議論を行う必要がある。表2は既往研究³⁾などを参考にして取りあげた効用の確定項候補であるが、ここでははじめに効用関数の確定項に関して最も単純な形を想定し議論を進め、2章の結果と比較検討することとしたい。すなわち、選好特性からごく単純に自己負担額のみを取り上げ、これを効用の確定項と定義しロジットモデルのパラメータを推定するのである。なお先述の如く、居住者のリスク認知はヴァルナラビリティとハザ

ードに分けて考える必要があり、これらは耐震補強工事における効用そのものにきわめて大きな影響を与えるものと推測できるが、共分散構造分析(2章)の結果より居住者のリスク認知と耐震補強工事の選択には複雑な関係があるものと考えられるため、今回はこれらリスク認知をモデル中に組み込む事は差し控えた。さて、本モデルを用いて耐震補強工事選択確率を導き出すにはしかるべき効用の確定項を定義し、(7)式で示される2項ロジットモデルに代入すればよい。そこで、耐震補強する場合としない場合の効用の確定項が自己負担額の一次関数で表せるものと強い仮定を置き、(9),(10)式のように各々の線形和で表すと耐震補強選択確率 p_1 は以下(11)式の如く表すことができる：

$$\cdot \text{耐震補強を行う場合} : V_1 = ay + b \quad \dots(9)$$

$$\cdot \text{耐震補強をしない場合} : V_2 = 0 \quad \dots(10)$$

$$p_1 = \frac{1}{1 + \exp[-\lambda(V_1 - V_2)]} = \frac{1}{1 + \exp[\lambda(-ay - b)]} \quad \dots(11)$$

ここで、先のアンケートデータをもとにして、これらパラメータの推定をおこなうこととする。データに対し最尤推定法を用いてパラメータの推定を行った結果、表3を得ることができた。ちなみにここで係数 a のパラメータが負の値をとるということは、自己負担額の増加に伴い耐震補強の選択確率が減るものと解釈することができる。また切片の係数を自己負担額の係数で割ることで、耐震補強する場合としない場合の効用が等しくなる自己負担額を得ることができ、163.1万円との値が得られた。

表3 パラメータ推定結果

係数	効用の確定項名	パラメータ	有意確率
a	自己負担額	-0.008	0.00
b	切片	1.305	0.00

各パラメータの有意確率が0.05より小さくなったことにより、これらのWald統計量は1.96(5%水準)よりも大きいこととなり、よって各パラメータは5%水準で予測に役に立つということとなる。加えて、このときロジットモデルの検定手法として頻繁に用いられる Hosmer と Lemeshow の検定を行った。この検定はデータを10個に分類しそのグループ間で χ^2 検定を行うもので、データがモデルに適合しているか否かを検定するものであり、結果的に0.591という有意確率を得ることとなった。これは有意水準0.05よりも大きいため、「ロジットモデルは適合している」なる仮説 H_0 は棄却されないこととなり、求めたモデルがデータに適合していることとなる。

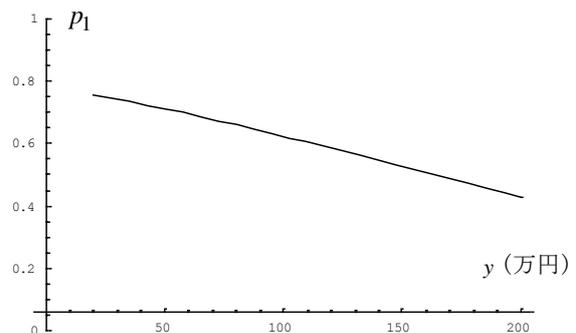


図6 自己負担額と耐震化選択確率の関係

$$P_1 = \frac{1}{1 + \exp[0.008y - 1.305]} \quad \dots(12)$$

(11)式に表 3 のパラメータを代入した結果が(12)式である。当然のことではあるが、これは自己負担額の関数となっており、その概形は図 6 の如く示される。自己負担額 200 万円で耐震補強の選択確率は約 42.7%，また自己負担額 150 万円で選択確率は 52.6%，自己負担額 100 万円で選択確率は 62.4%となり、アンケート調査の結果(図 1 の太線)と合致すると見てよい。本アンケートでは「もし仮に自宅の耐震性が不足していると判明したとき」とヴァルナラビリティを既に設定しているため、図 6 なる選択確率が示されているが、実際には全ての居住者が耐震性が不足していると認識しているわけではない。そこで、アンケートデータより自宅が全壊すると考えている人の割合 18.1%を(12)式に乘じ、効用関数の確定項が自己負担額のみによる場合のアンケート収集地域の耐震補強工事選択率を推定することとした。この場合、また自己負担額 150 万円で選択確率は 9.5%，自己負担額 100 万円で選択確率は 11.3%となり、他方、アンケート結果よりこの地域の居住者の耐震補強工事の実績は 13.7%であった。本モデルを耐震補強工事選択率推定の総量予測に用いた場合、精度に多少の難はあれど大きくは外れていないとしてよいであろう。ただ先述のように、このモデル式は全ての住民が一定のハザード認知を有していると想定しパラメータを推定していることになる。すなわち、ある範囲における耐震補強工事選択の総量予測に本モデルを用いる際は、住民のハザード意識と耐震補強工事選択の関係を明らかにせねば厳密な議論とはならないことを付け加える。

以上の考察より、本モデルを用いた推計では総量予測に多少の限界があるものの、ある程度の妥当性を有していることが分かった。そこで、次に意思決定者のグループニングや効用関数の確定項に様々な選好特性・個人属性を想定することで、各種政策相互の組み合わせや効果を並列に論ずることとしたい。はじめに、第 2 章での分散分析を参考とし、意思決定者を年収 600 万円未満の集団と年収 600 万円以上の集団に分類したのち、それぞれの耐震補強の選択確率を求めることとする。そのもとで効用関数の確定項は、先の判別分析において標準化された正準別関数係数の絶対値が極めて高かった、自己負担額、補強の程度、防災訓練参加の有無に加え、災害時要支援者の有無という質問項目に注目し、それらをダミー変数と見なしてモデル式を新たに構築した。効用関数の確定項に災害時要支援者の有無を入れた理由は、静岡県などをはじめとして高齢者のみの世帯や障害のある人と同居している世帯に対してはそれぞれ 20 万円の助成の割増が成されていることを意識し、政策評価に資する可能性があるかと判断したためである。その結果が表 4、表 5 となる。なお、Hosmer と Lemeshow の検定における有意確率は年収の少ない集団、多い集団それぞれ 0.971、0.749 となり、よりモデルがデータに適合していることが分かる。さらに、両者共に尤度比検定が 0.05 よりも小さいことより、求めたロジット式は予測に役立つという検定結果を得ることができた。

表 4 パラメータ推定結果(年収の少ないグループ)

係数	効用の確定項名	パラメータ	有意確率
a	自己負担額	-0.008	0.000
b	切片	0.309	0.243
c	防災訓練参加の有無	0.539	0.013
d	災害時要支援者の有無	0.781	0.162
e	耐震補強工事の程度	0.507	0.019

表 5 パラメータ推定結果(年収の多いグループ)

係数	効用の確定項名	パラメータ	有意確率
a	自己負担額	-0.007	0.000
b	切片	0.423	0.143
c	防災訓練参加の有無	0.631	0.022
d	災害時要支援者の有無	0.362	0.199
e	耐震補強工事の程度	0.609	0.016

ここでは、統計的に有意な変数(有意確率が 0.05 以下の変数)についての議論を行う。表 4 と表 5 を比較すると、一般的に年収の多い人々は年収の少ない人々に比べて工事の自己負担額を重視せず、耐震補強工事の程度にこだわる傾向が読み取れる。他方、年収の少ない人々は自己負担額に関して比較的敏感であり、耐震補強工事の程度は年収の多い人々に比べて満足度にさほど貢献しないという図 4 で得られた知見とほぼ同様の結果を得ることができる。このことから年収の少ない集団と多い集団によって適する政策が多少なりとも異なることが予想されよう。また年収の少ない人々のグループにおいては、補強工事の質が「命は助かるが住宅は使用不能になる程度」から「命も住宅も被害を受けない」に変わることは、63.4 万円の価格負担(もしくは経済的支援)と等価と見なしており、同様に年収の多いグループはこの質の向上を 87 万円と等価であるとしている。これにより、質の高い新しい工法がどの程度人々の選択行動を誘発するかという意思決定者の行動を前もって分析することができるほか、その水準は対象地域においては 63.4 万円または 87 万円が 1 つの指標となっていることも示された。今回は補強工事の質を 2 種類のみとして調査したが、更に調査を進めることで防災ベッドなどをはじめとした様々な命を守る対策がどの層にどれだけの効果を与えるかについて詳細な分析ができるものとする。さらにここでは各人の危機意識を「積極的な防災訓練参加の有無」で置き換えたが、この変数も防災教育などによって得られる一種の政策変数であると見なすことができる。すなわち、防災教育に関する効果を定量的に分析することができるのである。この結果、「防災訓練に積極的に参加しない人が積極的に参加するほど」の防災意識向上は、年収の少ないグループに対しては 67.3 万円、多いグループに対しては 90.1 万円と等価であることが分かった。防災教育を行うことの有用性はもとより、限りある財源を効率的に使うことで倒壊による被害を最大限減じるためには、年収の多い人々に対しては防災教育を集中的に行い、少ない人々に対しては経済的な支援策を中心とするなどの耐震補強政策の使い分けに関しても何らかの議論が今後できるものとする。

さて、以上で年収の少ないグループと年収の多いグループのパラメータについて考察した。これらの耐震補強選択率は以下図7の如き概形を示す。

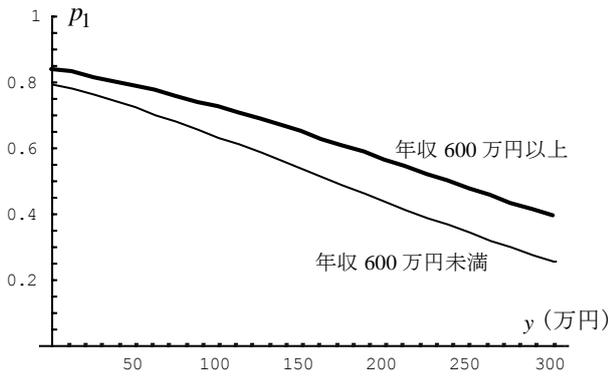


図7 自己負担額と耐震化選択確率の関係(年収別)

上図より、年収 600 万円未満のグループの耐震補強工事選択率は総じて低くなっており、自己負担額が大きくなるにつれ傾きも大きくなっていることがわかる。この結果は 2 章で見られた傾向と合致していると見てよい。また、例えば自己負担額 150 万円が 100 万円となる政策、すなわち 50 万円の助成を行う政策の効果は、年収の少ないグループの耐震補強選択率を 9.7% 増加させるのに対し、年収の多いグループの耐震補強工事選択率は 7.5% しか増加しないことなども導く事ができる。年収の少ないグループの住んでいる住宅の耐震強度が総じて低いと予想される事、それらの住宅の耐震補強工事選択率が低い事などを考慮に入れると、この両者の差異は政策立案および対象の絞込みという意味で重要な知見であると考えられる。

4. 地震保険に関する意思決定構造の分析

次に、地震保険に関する意思決定構造を分析することで、第 2 章で述べた「地震保険に加入しているという理由で補強工事を拒絶する意思決定者が少なからずいる」という仮説を検討する。すなわち、耐震補強工事に対する地震保険加入の負の影響を論じるわけである。ここでは第 2 章で記述した分析(図 5)の観測変数に新たに地震保険加入の有無というアンケート結果を加え、共分散構造分析を行った。その結果が図 8 となり、このときの適合度指標は RMSEA が 0.085、AIC が 188.02 である。注目すべきは、地震保険加入の有無が、その防災意識の影響を度外視して考えることで、パス係数が負の値となっていることである。これはすなわち、地震保険加入の有無が耐震補強工事選択に負の効果を与えているということになる。今回は、地震保険加入の有無を選好特性としてではなく属性変数として分析したため、耐震補強工事の有無が地震保険加入に関する選択行動に与える逆の負の影響を示すことはできないが、少なくともこの分析のもとでは地震保険加入という個人属性が耐震補強工事にマイナスの効果を与えることが分かった。

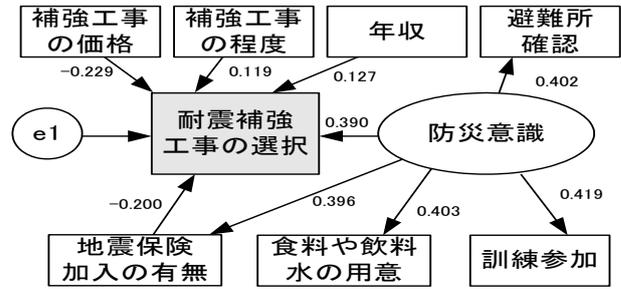


図8 地震保険に関するパス図

念のため、共分散構造分析で得られた上述の負の効果をも、ランダム効用理論による非集計分析からも明らかにしたい。そこで、表 4(もしくは表 5)において統計的に有意な変数でなかった「災害時要支援者の有無」の代わりに、保険加入の有無という個人属性を追加し(すなわち効用の確定項として地震保険加入の有無を加えたモデル式を新たに構築し)、パラメータの推定を行った。その結果が表 6 である。なお、Hosmer と Lemeshow の検定結果(0.971)より求めたモデルはデータに適合していた。表 6 より、共分散構造分析の結果と同じく、ランダム効用理論を用いた分析においてもパラメータは負の値、すなわち地震保険に加入している人ほど耐震補強の選択確率が低くなることが分かった。これは図 2 の傾向と一見矛盾すると思われるが、効用の確定項に設定した「積極的な防災訓練参加の有無」という個人属性が図 8 で言うところの潜在変数である「防災意識」をうまく代替することができた結果といえよう。他方、先日福岡県で行われたアンケートをもとに行った非集計ロジット分析では地震保険加入の有無に関するパラメータは正の値となり、地震保険加入による耐震補強選択への負の効果を表すことができなかった¹⁾。これは、福岡県と静岡県地震保険加入率に大幅な違いがあることにその一因を見出すことができる。地震保険の加入率が極めて低い福岡県で地震保険に加入する意思決定者は防災意識が極めて高い層であると考えられるが、そこまで防災意識の高くない人々でも地震保険に加入している静岡県は福岡県と比べて地震保険加入者の質が大幅に異なることが予想され、その結果福岡で負の効果をもたらすことができずに静岡でその存在を示すことができたことと推測されるのである。すなわち、地震保険に加入することで何らかの安心を感じている人々が少なからずおり、その安心感が耐震補強促進において何らかの障害となっている可能性も否定できないのである。従って、地震保険は決して命を守ってくれるシステムではなく、リスク低減である耐震補強工事ではカバーできないリスクや地震火災などに対するリスクに対応する役割を有しているとの認識を広めることが必要不可欠であり、これは地震保険加入率が急速に増加し、さほど防災意識の高くない層にまで一般的となった昨今においてきわめて重要な認識であると考えられる。また上述の議論は、耐震補強政策を論じる際の地震保険の魅力もあわせた検討の必要性を浮き彫りにさせる結果ともいえるだろう。裏を返せば、本章の研究成果は耐震補強政策の是非はもとより、耐震補強を行っている住宅に対して料率を大幅に下げるなどの地震保険のメニューや、耐震補強に対する格安の地震保険付帯オプションに関して議論の余地を残すものであろうことが期待される。これらは今後の課題としたい。

表 6 耐震補強選択に関するパラメータ推定結果その 2

係数	効用の確定項名	パラメータ	有意確率
b	自己負担額	-0.008	0.000
d	切片	0.689	0.000
e	防災訓練参加の有無	0.485	0.002
g	耐震補強工事の程度	0.531	0.001
h	地震保険加入の有無	-0.332	0.036

5. おわりに

本稿では静岡県で本年 3 月から 4 月に行われた耐震補強工事に関する意識調査をまとめたのち、ランダム効用理論の考え方に基づいて耐震補強に関する住民の選択行動の非集計分析を行った。本研究を行うことの意義及び研究の特徴を、将来的な見通しも含め以下に箇条書きで纏める。

- 第 2 章において静岡県で行われた意識調査を分析することで、年収や危機意識などの個人属性及び補強工事独自の選好特性が補強工事の選択に大きな影響を与えるという知見を得ることができた。
- 第 3 章では戸建住宅に住む世帯主を対象とし、ランダム効用理論の概念を用いた非集計分析を行った。既往研究などに多く見られる集計分析型の分析は、比較的大規模な予測に適する反面大量の現況データを必要とし、また論理的に不明確・不整合であるという欠点を有している。これと比べ本研究で提案される非集計分析は、個人の選択行動基準に基づいて推計されるものであり、多量のデータ数を必要とせず、耐震補強工事選択の総量予測のみならず政策インパクトの定量的な評価が期待される。またこれは同時に種々の地域特性や意思決定者の個人属性、耐震補強工法の多様性をなど踏まえたきめの細かい政策提案の余地を残すものであると考えられる。
- 本研究で提案される手法を用いることにより、複数の政策案相互を組み合わせた議論が可能となる。この種の議論は、助成のみでの推進は既に限界に達しつつあるなか耐震補強の進捗状況が地震防災戦略における目標を大きく下回っている現在、意義のある政策アプローチと言える。
- 第 4 章において、地震保険の加入が耐震補強工事選択に対して負の影響を与えているという結果が得られた。今後更に詳細な分析を進めることで、いわゆる「顧客の奪い合い」の如き構造が顕在化する可能性もあるだろう。また、この種の議論は地震保険のメニューや耐震補強保証制度⁹⁾に関しても何らかの知見を与える可能性がある。
- 近年の補強技術分野の発展により、基礎工事を含めた本格的な補強から防災ベッドの延長線上の如き補強までと、現在様々な耐震補強政策が整いつつある環境にある。このような状況のなかで、本研究を通

じて意思決定者の要求を最大限満たしうる、多様性に富んだ耐震補強政策を並列に論じることが出来るものとする(多項ロジットモデルへの展開)。

本論文はアンケートデータ上の関係から共分散構造分析などによって得られた意識構造を基礎とし、ランダム効用理論を用いたモデル構築に焦点を当て議論を行っており、モデル式の妥当性や有用性を十分に論じた研究とはいえない。本研究で得られた知見を用いて現実的な政策提言を行うためには、各モデルの有用性を十分に検討した上で、より現実的な議論を進めることが重要なテーマとなる。それに加え、本稿では触れることのできなかった NestedLogit モデルなどを用いた工法の多様性に関する議論も行いたい。これらはごく近い将来における今後の課題とする。

謝辞

本研究の内容に有益なご助言を下さいました静岡県防災局の方々、榊原弘之先生(山口大学)、永松伸吾先生(人と防災未来センター)ならびに糸井川栄一先生(筑波大学)に心より御礼申し上げます。最後になりましたが、査読者の方々の貴重なアドバイスによって論文の改訂を行うことができました。ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 廣井悠, 小出治, 加藤孝明(2006): 「住宅の耐震補強に関する選択行動分析」, 地域安全学会梗概集, No.18, pp.29-32.
- 2) 広瀬弘忠(1984): 「生存のための災害学自然・人間・文明」, 新曜社
- 3) 鍵屋一(2004): 「木造住宅の耐震補強推進政策に関する基本的考察」, 地域安全学会論文集, No.6, pp.11-16.
- 4) 土木学会土木計画学研究委員会(1995): 非集計行動モデルの理論と実際, 土木学会
- 5) 損害保険料率算出機構(2003): 「建物耐震性能等の実態に関する調査研究」, 損害保険料率算出機構
- 6) 吉村美保, 目黒公郎(2005): 「自治体による保証に基づく既存住宅の耐震補強奨励制度に対する住民意識の分析」, 地域安全学会論文集, No.7, pp.35-42.
- 7) 池田浩敬, 小澤徹(2004): 「木造住宅耐震化支援制度に関する利用者ニーズの分析」, 地域安全学会論文集, No.6, pp.17-23.
- 8) 目黒公郎, 高橋健(2001): 「既存不適格建物の耐震補強推進策に関する基礎研究」, 地域安全学会論文集, No.3, pp.81-86.

(原稿受付 2006.5.26)
(登載決定日 2006.9.16)