

改修効果に関する知識の不完全性が家計の耐震化行動に及ぼす影響に関する分析^{*1}

*An analysis of influence on household's mitigation by knowledge incompleteness on mitigation effect ^{*1}*

神谷宏^{*2}, 多々納裕一^{*3}, 岡田憲夫 ^{*4}

By Hiroshi Kamiya^{*2}, Hirokazu Tatano^{*3}, Norio Okada^{*4}

1 研究の目的と概要

阪神・淡路大震災以降, 地震災害の事前対応策として減災方策の重要性が再認識されている。耐震改修はその一例であり, 一部自治体等は耐震改修の促進のために診断費用の補助等を実施している。改修により達成される耐震性能と改修費用の関係を改修効果に関する知識と定義する。先行研究 [0] では改修効果に関する完全な知識を有する合理的な家計を想定する。このとき, 診断結果に依存して改修行動を決定する家計のみが診断を受診することになる。しかし, 診断受診が必ずしも改修の促進に結びついていない現実 [0] がある。家計の有する改修効果に関する知識は実際には不完全であるからと考えられる。この種の知識の取得には学習や探索などのコストが必要である。本研究ではこの知識取得費用の存在によって, 家計の知識の不完全性が生じるとする。したがって改修効果に関する知識取得費用の存在により生じる知識の不完全性に着目し, 不完全知識下における診断の受診, 改修の実施といった家計の耐震化行動を理論的に分析することを本研究の目的とする。

2 モデルの定式化

地震の発生により, 家屋が全壊すると被害額 l の被害が生じる。家計は地震による家屋の倒壊を防ぐため, 家屋の耐震性能を向上することを考える。そのために家計は耐震診断受診・耐震改修実施について二段階の

意思決定を行うこととする。耐震診断・改修行動を表現するために決定変数 i, j を用いる。決定変数 i, j はそれぞれ $i = 0$: 改修しない, $i = 1$: 改修する, $j = 0$: 診断しない, $j = 1$: 診断する, を表わしている。

家計の想定する地震発生確率を π とし, 地震が発生した場合に家屋が全壊する条件付確率を脆弱性と定義する。脆弱性には, 客観的な脆弱性と家計の想定する主観的な脆弱性がある。家計は家屋の状態を示す状態集合 $s \in S$ およびそれに応じた家屋の客観的な脆弱性 $q(s)$ を知っている。しかし家計は自家屋の状態 s を観測することはできない。そのため家計は家屋状態 s の主観的分布である信念 $g(s)$ を形成している。家計の想定する脆弱性はこの信念 $g(s)$ に依存する主観的な脆弱性となる。家計は家屋状態の分布をより確からしいものにするため, 専門家に依頼し家屋状態を診断してもらう。家計の診断行動によって, 脆弱性は

$$q_{ij}(y) = \begin{cases} q_i & \cdots (j = 0) \\ q_i(y) & \cdots (j = 1) \end{cases} \quad (1)$$

と表わされる。耐震診断を受診した家計はシグナル y を得てそれを参考にし, 家屋状態の信念 $g(s)$ を改訂する。診断前には家屋状態の信念によって主観的な脆弱性 q_i が形成されている。診断受信後には家屋の主観的な脆弱性も信念にしたがい q_i から $q_i(y)$ に改訂される。

また家計は脆弱性を減じるために耐震改修を行う。家屋の状態が s のとき, 家屋の客観的な脆弱性 $q_0(s)$ は耐震改修により $q_1(s)$ に減じられる。家計の主観的な脆弱性は改修行動によって,

$$q_i = \begin{cases} q_0 & \cdots (i = 0) \\ q_1 & \cdots (i = 1) \end{cases} \quad (j = 0: \text{診断受診前}) \quad (2)$$

^{*1} keywords: 耐震診断, 不確実性, 不完全知識, 知識取得費用

^{*2} 学生会員 修士 京都大学・工学研究科

^{*3} 正会員 工博 京都大学・防災研究所

^{*4} 正会員 工博 京都大学・防災研究所

$$q_{ij}(y) = \begin{cases} q_0(y) & \cdots (i=0) \\ q_1(y) & \cdots (i=1) \end{cases} \quad (j=1: \text{診断受診後}) \quad (3)$$

と表現される。改修後には脆弱性は小さくなるので、

$$q_0 > q_1, \quad q_0(y) > q_1(y) \quad (4)$$

という関係が成り立っている。

本研究では、家計の改修効果に関する知識が不完全であるという知識の不完全性を仮定する。知識の不完全性は、改修後の家屋の脆弱性 $q_1(s)$ を固定し、対応する改修費用で表現しても一般性を失わない。そこで知識の不完全性を改修費用のあいまいさを示す確率密度関数 $\theta(M)$ で表現する。完全な知識を有する場合には $\theta(M)$ はその平均値 M_c に集中したディラックのデルタ関数となり、不完全な知識を有する場合には $\theta(M)$ は裾野の広い平均保存的な拡散となる。改修効果に関する知識が不完全なので、家計は改修行動を決定するまでに知識を取得しなければならない。改修効果についての知識を取得するためには、学習や探索といった知識取得費用が必要となる。知識取得費用は知識を取得する時点によってその大小が異なる。耐震診断より前に知識を取得する場合は、全ての家屋状態 s についての改修効果を知る必要がある。その場合の知識取得費用を F とする。一方、診断後に知識を取得する家計は家屋の状態がおおよそどの状態にあるかを知った上でその状態に対応する改修効果のみを知ればよい。この場合の知識取得費用を f とする。診断後に知識を取得する方が、診断前に全ての家屋状態についての知識を取得するよりも知識の範囲が限定されているため、知識取得費用も小さくなると考えられる。つまり F, f 間には $f < F$ の関係がある。

効用最大化

の結果、事前に知識を取得する場合の効用 $W(x - F)$ 、診断後に知識を取得する場合の効用 $V(f)$ はそれぞれ以下ようになる。

$$\begin{aligned} W(x - F) = & \max_j E_y \left\{ \max_i (1 - \pi q_{ij}(y)) u(x - \delta_i M_c - \delta_j c - F) \right. \\ & \left. + \pi q_{ij}(y) u(x - \delta_i M_c - \delta_j c - F) \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} V(f) = & \max_j \int_0^\infty E_y \left\{ \max_i (1 - \pi q_{ij}(y)) u(x - \delta_i M - \delta_j(c + f)) \right. \\ & \left. + \pi q_{ij}(y) u(x - \delta_i M - \delta_j(c + f) - L) \right\} \theta(M) dM \end{aligned} \quad (6)$$

ここで δ_i はダミー変数であり次式で与えられる。

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \cdots i=1 \\ 0 & \cdots i=0 \end{cases} \quad (7)$$

$p(y)$ はシグナル y の発生確率、 $E_y\{[\cdot]\} = \sum_{y \in Y} [\cdot] p(y)$ は診断情報 y が得られる場合の条件付期待値を与えるオペレータである。

診断前に知識を取得するか否かについては

$$\max\{W(x - F), V(f)\} \quad (8)$$

により決定される。通常、診断前に全ての知識を取得する費用 F は個別家屋のみについての知識取得費用 f よりはるかに大きいと考えられる。よって本研究では $f \ll F$ の場合を考えることとする。

3 モデルの分析

本研究では完全な知識を有する理想的な家計の行動と診断時には知識が不完全である家計の行動を比較することにより分析を行う。家計の行動は3種類想定し、Act1~3とおく。順に「診断結果によらず改修しない」「診断結果によって改修行動が左右される」「診断結果によらず改修する」とする。完全な知識を有する理想的な家計とは、知識取得費用が存在しないため診断前に完全な知識を取得している家計を想定する。つまり事前に知識を取得する家計のうちで特に $F = 0$ の場合である。一方、知識が不完全である家計とは、診断後に知識取得費用 f を支払い知識を取得する家計を想定する。したがって、診断時には家計の知識は不完全である。 $f \ll F$ の仮定より $W(x - F) < V(f)$ となるためである。家計の行動について、完全知識を有する理想的な家計の選択する行動と知識が不完全である

家計の選択する行動が異なることを非効率である、と呼ぶことにする。なぜならば、家計にとっては知識が完全ならば選択していたはずの行動の方がより望ましい行動だからである。本研究では、家計の行動選択が非効率になる状況が、どのような診断費用・改修費用および知識取得費用のもとで生じるか、について分析する。

完全な知識を有する理想的な家計の行動別の効用を順に $W_1 \sim W_3$ とする。また診断時には知識は不完全であり、診断後に知識を取得するような家計の行動別効用を順に $V_1 \sim V_3$ とする。完全知識を有する理想的な家計の効用 W 間には以下のような関係が成立する。 $u(\cdot)$ は単調非減少な関数だから、

$$\frac{\partial W_1}{\partial c} = 0, \frac{\partial W_3}{\partial c} = 0, \frac{\partial W_2}{\partial c} < 0 \quad (9)$$

および

$$\frac{\partial W_1}{\partial M} = 0, \frac{\partial W_3}{\partial M} < \frac{\partial W_2}{\partial M} < 0 \quad (10)$$

が成り立つ。また診断費用 $c = 0$ の時には $W_2 \geq W_1, W_3$ が、改修費用 $M = 0$ の時 $W_3 > W_1, W_3 > W_2, W_2 > W_1$ がそれぞれ成り立っている。診断前の知識が不完全である家計の効用 V においても同様の関係が成立している。 $u(\cdot)$ がリスク回避的な効用関数であることにより、効用水準 W, V 間には $V_1 = W_1, W_2 > V_2, W_3 > V_3$ という関係が成り立っている。また $V_1 (= W_1)$ と V_3, W_3 は初期信念 $g(s)$ に依存して決定される。

これらをふまえて、完全知識を有する家計および知識が不完全である家計の効用と診断費用および改修費用の関係についてそれぞれグラフをプロットし、それらを比較することにより非効率な決定がなされる状況を分析する。

図1のように横軸に診断費用、縦軸に効用水準をとったグラフを作成した。左側に完全な知識を有する理想的な家計の効用水準 ($F = 0$) をプロットし、右側に知識取得費用 $f = 0$ であり診断時には知識が不完全である家計の効用水準をプロットした。この図では家計は家屋状態について楽観的な信念を形成しており、 $W_1 > W_3, V_1 > V_3$ となっている。非効率な行動選択がなされることを確認するために、図中の診断費

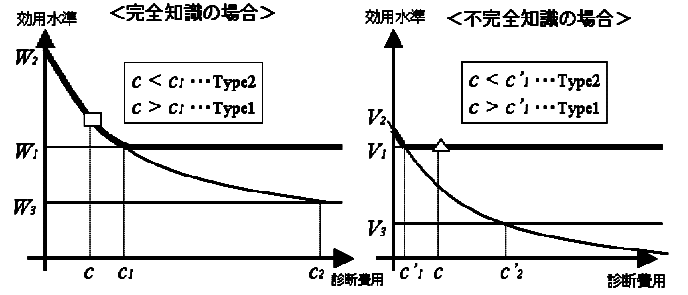


図1: 効用水準と診断費用の関係 (i)

用 c に着目してみる。左図を見ると完全な知識を有する理想的な家計ならば、診断費用が c の場合には診断を受診する Act2(点□) が選好されていることが分かる。一方、右図の知識が不完全である家計については同じ診断費用 c の下でも、診断を受診せず改修も行わない Act1(点△) が選好されている。この診断費用の下では、知識の不完全性により完全な知識を有する場合とは異なった選択がなされている非効率な状況が生じていることが分かる。

続いて、知識取得費用 $f > 0$ の場合について分析する。図2は図1の左右のグラフを重ね合わせたもので

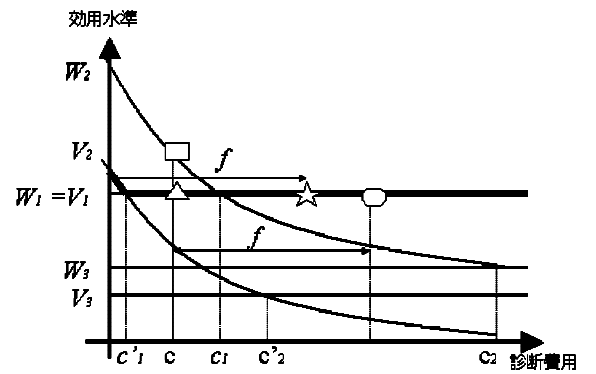


図2: 効用水準と診断費用の関係 (ii)

ある。今、知識取得費用 f が存在するので、診断費用 c のほかに知識取得費用 f も支払わなければならない。そのため診断後に知識を取得する家計は、診断費用が $c + f$ であるかのように行動を選択する。例えば、知識取得費用が図中の f であった場合、完全な知識を事前に有する家計は診断を受診する Act2(点□) を選好する。しかし診断後に知識を取得する家計は、先ほどの点ではなく、診断費用が $c + f$ である場合と同じ

Act1(点○) を選好する。この場合もやはり非効率な行動選択がなされている。次に従来の診断費用 c を減じ

診断費用	完全知識	不完全知識
$0 < c < c'_1$	Act 2	Act 2
$c'_1 < c < c_1$	Act 2	Act 1
$c_1 < c$	Act 1	Act 1

表 1: 診断費用と行動選択 ($f = 0$ の場合)

る政策について分析する。診断費用 c が小さくなれば一般に行動選択が行われる点は左にシフトする。しかし、知識取得費用 f が存在するため、診断後に知識を取得する家計については、仮に診断費用が 0 になったとしても、行動選択が行われる点は診断費用が f であるような点となる。例えば図の状況のもと、診断費用を減じる政策が採択され、その結果診断費用 $c = 0$ となったとする。政策により、行動選択が行われる点は点○から点○に移る。この時、家計は Act1 を選好したままであり、診断費用を減じる政策によって必ずしも家計の行動選択を効率的にすることができるわけではない。そのため診断費用を減じる政策のほかに、同時に知識取得費用 f を小さくする政策を採択しなければならない。

同様の分析を悲観的な信念を有する家計の場合について行った結果、家計が効率的な選択を行うのは、知識取得費用 f および診断費用 c が共に十分小さい時であることが分かった。したがって、有効な政策としては、診断費用への補助と同時に、広報や学習会あるいは診断と知識提供が結びついた耐震診断システムの構築が考えられる。

改修費用と行動選択の関係について分析するために同様の手順でグラフをプロットした(図3は一例)。左側が完全な知識を有する理想的な家計、右側が知識が不完全である家計の効用を表わしている。ただし、右図の点線は知識取得費用が $f = 0$ であるときの診断後に知識を取得する家計の効用である。例えば図中の改修費用 M の場合、完全に知識を有する家計は診断を受診する Act2 を選好する。一方、同じ改修費用 M であっても知識が不完全である家計は診断を受診せず改

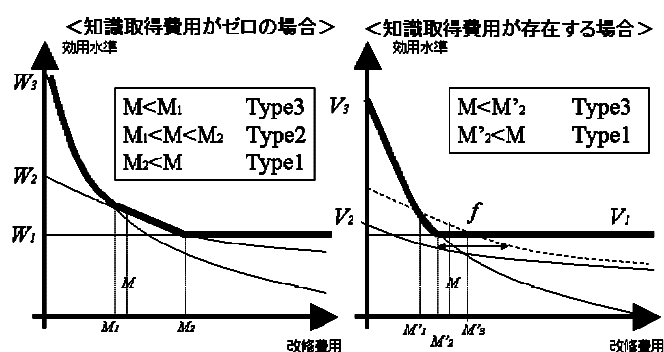


図 3: 改修費用と効用水準の関係

修も行わない Act1 を選好する。このように改修費用について考えた場合でも、非効率な行動選択がなされる状況が存在することが分かる。分析の結果、効率的な行動選択がなされるのは改修費用 M が非常に大きい場合あるいは非常に小さい場合であることが分かった。続いて、改修費用についての政策を分析する。改修費用 M を減じようとする政策が採択された場合、家計の行動選択は効率的になり、また社会的厚生も大きくなることが分かる。また知識取得費用 f を減じようとする政策を採択すると、知識取得費用 f が小さくなるにつれて、図中の V_2 は点線に近づく。この時、図中の改修費用 M に着目すると、知識取得費用 f が存在する場合には、Act1 が選好されるのに対し、知識取得費用が小さくなると Act2 が選好されるようになる。このように知識取得費用 f を減じる政策を採択することにより、効率的な行動選択がなされることが分かった。したがって、有効な政策として耐震改修費用 M を減じようとする政策を採択すること、および知識取得費用 f を減じようとする政策を採択することが考えられる。

4 結果および考察

本研究により、耐震診断や耐震改修に対する補助だけではなく知識取得費用に対する補助の必要性が確認された。

<参考文献>

- 1) 土屋哲:木造家屋の修繕に関する所有者と政府の意思決定過程のモデル分析- 耐震診断を考慮して、卒業研究,1998年2月
- 2) 神戸新聞,2002.01.15
- 3) 酒井泰弘, 不確実性の経済学, 有斐閣,1982