

京都大学工学部

学生員 ○ 神谷 宏

京都大学防災研究所 正員

多々納 裕一

京都大学防災研究所 正員

岡田 憲夫

1 研究の目的と概要 地震災害の事前対応策として耐震改修等の減災方策の重要性が広く認識されている。一部地方自治体等では診断費用の補助等を実施している。完全な知識を有する合理的な家計を想定しよう。このとき、診断結果によって耐震改修を行うか否かを決定する家計のみが耐震診断を受診することになる。しかしながら、診断受診が必ずしも改修の促進に結びついていない。改修によって達成される耐震性能と改修費用との関係を耐震改修に関する知識と定義する。本研究では改修に関する知識は現実には不完全であることに着目する。この種の知識の取得には学習や探索等少なからぬコストが必要である。このことを考慮し、本研究では、改修に関する知識の取得費用の存在に焦点を絞り、その大きさと診断の受診、改修の実施といった家計の耐震化行動との関係を理論的に考察することとした。

2 モデルの定式化 家計の想定する地震発生確率を π とする。地震が発生し、家屋が全壊すると被害額 l の被害が生じる。地震が発生した場合に家屋が全壊する確率を脆弱性とする。家計は耐震性能向上のため、耐震診断・改修の二段階の意思決定を行う。 i, j は診断・改修行動を表す決定変数 ($i = 0$: 改修しない, $i = 1$: 改修する, $j = 0$: 診断しない, $j = 1$: 診断する) である。脆弱性は診断・改修行動の決定変数 i, j により

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

と表される。ここで y は診断により与えられるメッセージである。 $p(y)$ は診断メッセージの発生確率であり、家計は診断によって診断メッセージ y を得た上で脆弱性に関する信念を q_i から $q_i(y)$ に改訂し、その上で改修行動を決定する。改修行動をとると脆弱性は小さくなるので $q_1 < q_0$ および $q_{1y} < q_{0y}$ が成り立つ。

家計は状態集合 $s \in S$ およびそれに応じた家屋の脆弱性 $q(s)$ を知っているが、家屋状態を観測することはできず信念 $g(s)$ を形成する。そのため、家計の想定する脆弱性 q_0, q_1 はこの $g(s)$ に依存する。

診断前に知識を取得する家計は全ての家屋状態における改修効果を知る必要があり、その場合の知識取得費用を F とする。一方診断後には①家屋の状態が限定され②診断業者（専門家）の知識が借りられるため、個別ケースの改修効果のみを知ればよく、知識取得費用は f ($f < F$) と小さくなる。

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 M_s 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曖昧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 $\bar{M}$ 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。

$E_y[\{\cdot\}] = \sum_{y \in Y} [\cdot] p(y)$ 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。

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。

$$W(x - F) = \max_j E_y \left\{ \max_i (1 - \pi q_{ij}(y)) u(x - \delta_i \bar{M} - \delta_j c - F) + \pi q_{ij}(y) u(x - \delta_i \bar{M} - \delta_j c - F) \right\} \quad (2)$$

$$V(f) = \max_j \int_0^\infty E_y \left\{ \max_i (1 - \pi q_{ij}(y)) u(x - \delta_i M - \delta_j (c + f)) + \pi q_{ij}(y) u(x - \delta_i M - \delta_j (c + f) - L) \right\} \quad (3)$$

ここで δ_i はダミー変数であり次式で与えられる。

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \dots i=1 \\ 0 & \dots i=0 \end{cases} \quad (4)$$

3 モデルの分析 家計の行動を「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3タイプにわけ、順に Type1~3 とする。

知識取得費用がゼロの場合 ($F = 0$) の各タイプの効用を $W_1 \sim W_3$ とし, 知識取得費用が存在する場合 ($f < F, F > 0$) の各タイプの効用を $V_1 \sim V_3$ とする. これらの効用水準について $u(\cdot)$ がノイマン=モルゲンシュタイン型効用関数であることから,

$$\frac{\partial W_1}{\partial c}, \frac{\partial W_3}{\partial c} = 0, \frac{\partial W_2}{\partial c} < 0, \frac{\partial W_1}{\partial M} = 0, \frac{\partial W_3}{\partial M} < \frac{\partial W_2}{\partial M} < 0 \quad (5)$$

が成り立つ. また診断費用 $c = 0$ の場合には $W_2 \geq W_1, W_3$ が, 改修費用 $\bar{M} = 0$ の場合には $W_3 > W_1, W_3 > W_2, W_2 > W_1$ がそれぞれ成り立つ. 知識取得費用が存在する場合の効用 V においても同様の関係が成立している. また効用水準間 W_n, V_n には $V_1 = W_1, W_2 > V_2, W_3 > V_3$ の関係がある. $V_1 (= W_1)$ と V_3, W_3 は診断情報がない場合の効用なので初期信念 $g(s)$ に依存してその水準は決定される. これらのことを踏まえて, 診断費用と耐震化行動・改修費用と耐震化行動の関係を表すグラフをプロットする.

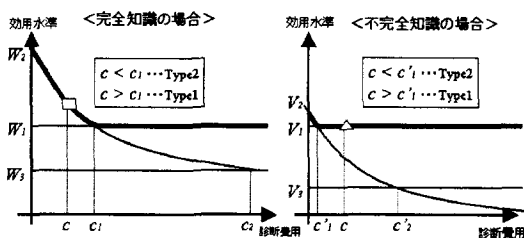


図1 効用水準と診断費用の関係 (i)

図1は知識取得費用がゼロの場合の効用水準と診断費用の関係の一例であり, 家計は家屋状態について楽観的な信念を形成している. すなわち $W_1 > W_3, V_1 > V_3$ が成り立っており, 診断費用が c_1 よりも大きいときは診断も受診せず改修も実施しない. 例として図中の診断費用 c に着目するとこの場合完全な知識を有する家計は診断を受診する (点□) が, 不完全な知識しか有しない場合には診断を受診せず改修も行わない (点△). 一方, 知識取得費用 f が存在するときには図2のようになる.

このとき診断費用 c とともに知識取得費用 f が存在するので家計は診断費用が $c + f$ の場合と同じ行動を選択する. すなわち家計の行動を決定する点は点△から点○に移動するが, ここでは診断を受診せず改修も行わない. 従来のような診断費用のみへの補助策が実施され, $c = 0$ になったとしても, 家計の行動を決定する点は点○から点☆に移動するだけであり家計は診断

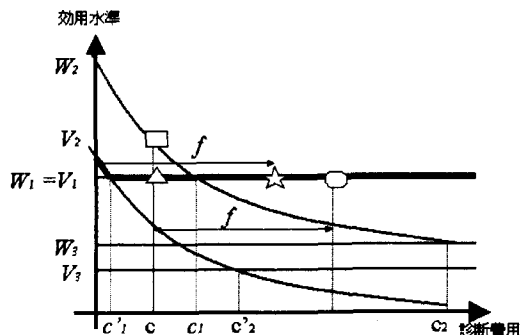


図2 効用水準と診断費用の関係 (ii)

を受診しない. 同様に悲観的な信念を形成する家計についても分析することができる. その結果, 診断費用が十分小さければ家計は診断を受診するがただしその際に知識取得費用も十分小さくしなければならないことがわかる.

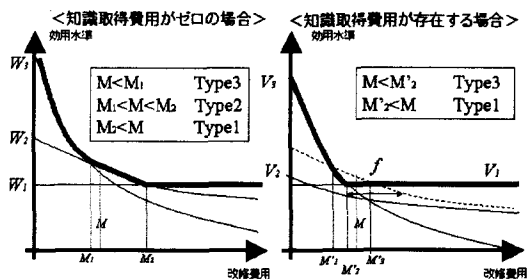


図3 改修費用と効用水準の関係

改修費用と耐震化行動の関係についても同様の手順でグラフをプロットした. 図3はその一例である. たとえば改修費用が図中の M であるとき, 知識取得費用がゼロならば家計は診断を受診する. 一方, 同じ M であっても知識取得費用が存在する場合には診断を受診しない. しかしながら, 知識獲得費用 f を小さくしていくと, V_2 は図中の点線 (V_2 when $f = 0$) に近づき最終的に $f = 0$ になると, 家計は $M'_1 < M < M'_3$ のときには診断を受診するようになる. したがって図中の改修費用 M の場合も診断を受診することになる. このように改修費用と耐震化行動の関係に着目した場合には, 知識取得費用が小さくなると効用水準 W_2 が大きくなり, 家計が診断を受診することがある.

4 結果および考察 本研究により, 耐震診断や耐震改修の補助だけではなく知識取得費用に補助の必要性が確認された. 診断企業や改修企業の行動を考慮した展開を今後行う予定である.