

京都大学工学部 学生員 ○土屋 哲 山口大学工学部 正員 榊原 弘之  
 京都大学防災研究所 正員 岡田 憲夫 京都大学防災研究所 正員 多々納 裕一

1 はじめに 阪神・淡路大震災における主要な被害の一つに老朽木造家屋の倒壊があげられる。震災以降、老朽家屋の修繕の促進を目的として自治体による耐震診断補助制度が導入されている。本研究ではまず木造家屋を所有し、かつそこに居住する者（以下所有者）の修繕に関する意思決定モデルを構築し、耐震診断が意思決定に及ぼす影響について分析する。続いて地震時に老朽家屋の被害（倒壊）が周辺地域へもたらす負の外部性を仮定した上で、政府のとする補助策について基礎的な考察を行う。

2 家屋所有者の効用の定義 所有者の効用は所得と家屋の質に依存するとし、家屋の質は構造的安全性（以下安全性） $s$ と居住快適性（以下居住性） $q$ から成るとする。まず安全性を以下のように定義する。安全性には「良（ $g$ ）」、「不良（ $b$ ）」の2種類があり、この違いは平常時には居住性に何の影響も及ぼさないものとする。地震発生時に「不良」である家屋は必ず倒壊（ $d$ ）してしまい、「良」である家屋は倒壊しないものとする。微小時間  $\Delta t$  経過後に「良」から「不良」へ遷移する確率を  $\pi\Delta t$  とし、地震が再帰時間  $\gamma$  の指数分布に従うとすれば、時刻  $-h$  に完成した家屋が時刻  $t$  において「良」、「不良」、及び  $t$  までに地震が起り家屋が倒壊してしまっている確率はそれぞれ

$$\begin{aligned} P_{gg}(t+l) &= e^{-\pi(t+l)}, \\ P_{gb}(t+l) &= \frac{\pi(e^{-\gamma(t+l)} - e^{-\pi(t+l)})}{\pi - \gamma}, \\ P_{gd}(t+l) &= 1 - \frac{\pi e^{-\gamma(t+l)} - \gamma e^{-\pi(t+l)}}{\pi - \gamma} \end{aligned} \quad (1)$$

となる。ここに  $l(>0)$  は、安全性に関する最新の確定情報が得られてから  $t=0$  までの時間であり、

$$l = \begin{cases} h & (\text{修繕・診断なし、家屋の地震経験なし}) \\ \delta & (\text{修繕・診断なし、家屋の地震経験あり}) \\ 0 & (t=0 \text{ で修繕または診断をした場合}) \end{cases}$$

である。次に居住性については、その時間変化が確定的に予測可能であるとし、時刻  $t$  において  $q$  が次式で表されるとする。

$$q(t+h) = e^{-\alpha(t+h)} \quad (2)$$

ここに  $\alpha$  は居住性の低下パラメータである。

これより、所有者の効用関数を次式で定義する。

$$u_1(t) = \begin{cases} y_1(t) + v_1(q(t)) & (s(t) = g, b) \\ 0 & (s(t) = d) \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $y_1(t)$  は時刻  $t$  での所有者の所得である。以下  $v_1(q(t))$  を部分効用と呼ぶ。

以上をふまえると、余命  $T$  の所有者の期待生涯効用  $U_1$  は次のように定式化される。

$$\begin{aligned} U_1 &= Y_1 + V(T, h, l|g), \\ V(T, h, l|g) &= \int_0^T \{P_{gg}(t+l) + P_{gb}(t+l)\} v(q(t+h)) e^{-\beta t} dt \end{aligned} \quad (4)$$

ここに  $Y_1 = \int_0^T y_1(t) e^{-\beta t} dt$  である。また、 $\beta$  は時間割引率である。 $V(T, h, l|g)$  は、 $t=0$  において余命  $T$  の所有者が履歴  $h(>0)$  の家屋を修繕せず、安全性に関して時刻  $t=-l$  を最新情報が得られた時刻として居住し続けた場合の期待生涯部分効用を意味する。

3 修繕、診断に関する意思決定モデル 本研究では、家屋の修繕を安全性と居住性の両面において完成時と同様の状態に変化させる行為として、また耐震診断をその時点における安全性を確定させる行為として定義する。所有者の意思決定が  $t=0$  においてのみ行われるものとし、「修繕（診断）を現在行う」、「修繕（診断）は生涯行わない」の2通りであるとする。それは次のようになる。まず所有者は耐震診断を受けるか否かを決定する。診断を受けた場合、「良」、「不良」のいずれかの判定が下される。これは所有者の意思には依存しない。続いて家屋の修繕を行うか否かを決定する。耐震診断を受けなかった場合には、所有者は自家屋の安全性について確定的な情報を持たずに修繕に関する意思決定を行う。所有者の期待生涯部分効用は以下の式で表される。

家屋を修繕する場合： $V(T, 0, 0|g)$   
 「良」の診断結果の下に修繕しない場合： $V(T, h, 0|g)$   
 「不良」の診断結果の下に修繕しない場合： $V(T, h, 0|b)$   
 診断も修繕も行わない場合： $V(T, h, l|g)$

修繕、耐震診断に要するコストをそれぞれ  $C_R$ 、 $C_I$  (ともに一定値) とする。修繕の純価値は

$$V(T, 0, 0|g) - V(T, h, 0|g) - C_R \text{ (診断結果「良」)} \quad (6)$$

$$V(T, 0, 0|g) - V(T, h, 0|b) - C_R \text{ (診断結果「不良」)} \quad (7)$$

$$V(T, 0, 0|g) - V(T, h, l|g) - C_R \text{ (診断なし)} \quad (8)$$

で表される。また、耐震診断受診の純価値は

$$P_{gg}(l) V(T, h, 0|g) + P_{gb}(l) \{V(T, 0, 0|g) - C_R\} - C_I - \max\{V(T, 0, 0|g) - C_R, V(T, h, l|g)\} \quad (9)$$

で表される。式(6)が負の値をとり、かつ式(7)が正の値をとることが所有者が耐震診断を受診する必要条件である。式(6)~(9)より、 $(T, h)$  について、所有者の修繕や耐震診断に関する意思決定領域とその境界の概形を図1に示す。

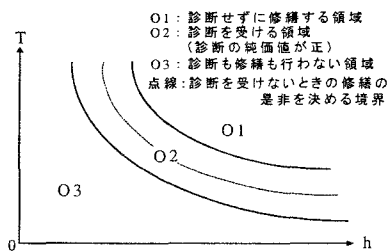


図1 時間要素パラメータと意思決定の関係

4 補助政策に関する基礎的考察 外部性を仮定することにより、所有者の意思決定と社会的に最適な状態との間にかい離が起こりうるということが説明できる。いま十分な耐震性を持つ家屋に居住する周辺地域住民を考え、彼らの効用が所得と老朽家屋の安全性から成るものとし、その効用関数を次式で定義する。

$$u_2(t) = \begin{cases} y_2(t) + v_2 & (s(t) = g, b) \\ y_2(t) + v_2 - k & (s(t) = d) \end{cases} \quad (10)$$

ただし、 $y_2(t)$  は時刻  $t$  での周辺住民の所得である。また  $v_2, k$  は正の定数であるとする。これより周辺住民の期待生涯効用  $U_2$  は次のように表される。

$$U_2 = Y_2 + V_2 - k \int_0^T P_{sd}(t+l) e^{-\beta t} dt \quad (11)$$

ここに  $Y_2 = \int_0^T y_2(t) e^{-\beta t} dt$ ,  $V_2 = \int_0^T v_2 e^{-\beta t} dt$ ,

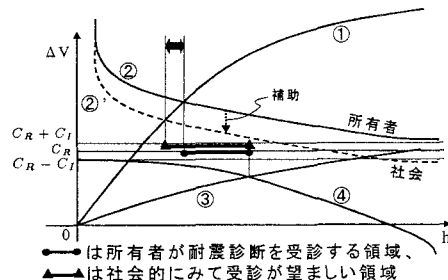
$$s = \begin{cases} b & (\text{「不良」の診断結果の下修繕しない時}) \\ g & (s = b \text{ となる時以外}) \end{cases}$$

である。式(11)第3項より、周辺住民の効用は老朽家屋の倒壊確率に依存する。所有者が家屋の修繕(または耐震診断)を行うことは周辺地域住民にとっても社

会全体にとっても望ましい。逆に社会的に見て耐震診断を受診することが望ましいにもかかわらず受診しない家屋の所有者が存在することを示しているのが図2(両矢印)である。

老朽家屋の所有者に対して修繕(または耐震診断の受診)を促し社会を望ましい方向へ誘導させるために政府が補助策をとるものとする。ここでは耐震診断への補助と修繕への補助の比較を行い、以下それぞれの政策が所有者の意思決定にどのように影響を及ぼすかを図2を用いて考察する。耐震診断に補助が出る場合、 $C_I$  が小さくなり①、②の交点が  $h$  軸負の向きに、③、④の交点が  $h$  軸正の向きに移動し、診断受診領域が広がる。一方修繕に補助が出る場合、 $C_R$  が小さくなり①、②の交点、③、④の交点ともに  $h$  軸負の向きに移動する。ここに①と③の傾きの関係から、③、④の交点の方が①、②の交点より大きく移動し、診断受診領域は狭まる結果となる。

以上の考察から、補助策の効率性に関して次の知見を得た。すなわち、修繕への補助では曲線②が②'に近づく(二者間のかい離が解消される方向に向かう)ものの、曲線③、④の交点も  $h$  軸負の向きに移動するために修繕を行う必要のない家屋まで修繕されてしまう状況が起こりうる。その分のロスが診断補助策に比べて効率性に欠けている。



$$\textcircled{1}: V(T, 0, 0|g) - V(T, h, 0|b) \quad \textcircled{2}: C_R + C_I / P_{gb}(h)$$

$$\textcircled{2}': (\text{式}\textcircled{2}) - k w \int_0^T (P_{bd}(t+h) - P_{gd}(t+h)) e^{-\beta t} dt$$

$$\textcircled{3}: V(T, 0, 0|g) - V(T, h, 0|g) \quad \textcircled{4}: C_R - C_I / P_{gg}(h)$$

$w$  は所有者に対する周辺住民の比を表す

図2 受診領域の違い(地震経験のない家屋)

5 おわりに ここでは未来の時点での所有者の意思決定については考慮していない。今後の課題として、「何年後に家屋の修繕(あるいは診断)を行う」といった時間軸に沿った意思決定や決定自体を留保する意思決定留保行動を想定して分析をすすめたい。