

# 市街地再生のための家屋の維持管理に関する意思決定モデル\*

## Decision Model on Maintenance of Houses for Urban Redevelopment\*

榊原 弘之\*\*

By Hiroyuki Sakakibara\*\*

### 1. はじめに

通常の社会基盤の維持管理とは異なり、家屋の維持管理は個々の所有者の意思決定に委ねられている。所有者は自らの生涯期間における総費用を最小化する意思決定を行うと考えられる。そのため、意思決定のモデル化に際して定常状態を仮定することはできず、有限期間における非定常的なモデルが必要となる。さらに、一般に所有者は自らの所有する家屋の質について完全な情報を持たないため、専門家による診断を受ける必要がある。従って、診断のタイミングに関する意思決定についても分析する必要がある。

本研究では、市街地再生の重要な要素の一つである家屋の維持管理を巡る意思決定モデルを示す。始めに、居住性と安全性という2つの観点から家屋の劣化プロセスをモデル化する。その上で、所有者の意思決定基準について、意思決定が現時点に限定されるケースと、将来時点まで意思決定を保留することが可能なケースの2種類について分析する。

### 2. 家屋の劣化モデル

本研究では、家屋の倒壊リスクをもたらす要因を新築後の劣化に限定する。ここで、意思決定時点における家屋所有者の年齢を  $a$ 、家屋新築時における年齢を  $a_b$  とする。意思決定時点における家屋の築年数は  $(a - a_b)$  年となる。

家屋の安全性を離散変数  $s (s = 0, 1, 2, \dots, n)$  により表し、家屋所有者の年齢を  $a$  の時点において家屋の状態が  $s$  である確率を  $P_s(a)$  により表す。時間の経過とともに、家屋の状態は最善の状態  $s = 0$  から不可逆的に劣化してゆくとする。

ここでは新築時における不良施工等のリスクを考慮しないため、 $P_0(a_b) = 1$  となる。ここで、状態間の遷移に関して次式が成立するとする (図 - 1 参照)。

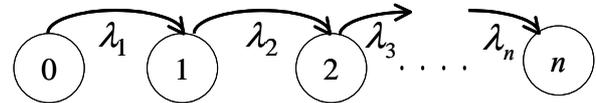


図 - 1 状態間の遷移

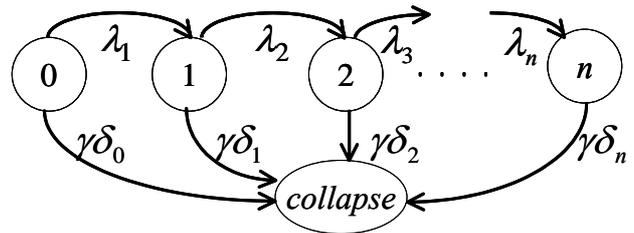


図 - 2 倒壊リスクが存在する場合の状態間の遷移

$$\dot{P}_0 = -\lambda_1 P_0$$

$$\dot{P}_s = \lambda_s P_{s-1} - \lambda_{s+1} P_s \quad (s = 1, 2, \dots, n-1)$$

$$\dot{P}_n = \lambda_n P_{n-1} \quad (1)$$

(1)式は状態間の遷移が不可逆的であることを示している。

一方地震事象を平均到着率  $\gamma$  のポアソン分布に従うと仮定する。地震事象が生じた場合、状態  $s$  の家屋は確率  $\delta_s$  で倒壊するものとする。ここでは劣化が進行するほど地震時の倒壊の危険性が高まる ( $s_1 < s_2$  の場合  $\delta_{s_1} < \delta_{s_2}$ ) ものとする。

$P_c$  を対象時点において既に家屋が倒壊している確率とすると、状態間の遷移を表す(1)式は以下のように書き換えることができる (図 - 2 参照)。

$$\dot{P}_0 = -(\lambda_1 + \gamma\delta_0)P_0$$

$$\dot{P}_s = \lambda_s P_{s-1} - (\lambda_{s+1} + \gamma\delta_s)P_s \quad (s = 1, 2, \dots, n-1)$$

$$\dot{P}_n = \lambda_n P_{n-1} - \gamma\delta_n P_n$$

$$\dot{P}_c = \sum_{s=0}^n \gamma\delta_s P_s \quad (2)$$

家屋の状態が  $s$  であることが明らかな時点から時間  $\theta$  が経過した時点において家屋の状態が  $s_1$  である確率を

\*キーワード：家屋補修，意思決定，確率モデル

\*\*正員，博（工），山口大学工学部社会建設工学科  
(山口県宇部市常盤台 2-16-1, Tel. 0836-85-9355,

Fax 0836-85-9301)

$P_s^{s1}(\theta)$  により表す． $\tilde{P}_s$  を意思決定時点（家屋所有者の年齢  $a$ ）において家屋の状態が  $s$  である確率とすると，意思決定時点において家屋がまだ倒壊していないことは明らかであるため， $\tilde{P}_s$  は以下のように表される．

$$\tilde{P}_s = \frac{P_0^s(a - a_b)}{\sum_{s=0}^n P_0^s(a - a_b)} \quad (3)$$

### 3．家屋所有者の意思決定基準

#### (1) 家屋所有者の生存確率

年齢  $a_0$  において生存している家屋所有者が，年齢  $a$  ( $a_0 < a$ ) において生存している確率を  $\Phi(a, a_0)$  とする．ここで次式が成立するとする．

$$\frac{\partial \Phi}{\partial a} = -\eta(a)\Phi(a, a_0) \quad (4)$$

$\eta(a)$  は年齢  $a$  における死亡確率である． $\eta(a)$  が  $a$  に関わらず一定の場合，生存確率  $\Phi$  は  $a - a_0$  のみに依存する．一方， $\eta(a)$  が  $a$  に関して単調増加の場合， $a - a_0$  が等しくとも， $a_0$  が大きければ  $\Phi$  はより小さくなる．

#### (2) 意思決定時点が選択不可能な場合

本節では，家屋所有者が維持管理に関する意思決定を行う際の基準について分析を行う．維持管理の目的は，生涯費用の現在価値の最小化であるとする．生涯費用には，補修費用と，家屋が倒壊した場合において倒壊時点以降の生涯にわたり必要な費用が含まれる．簡略化のため，補修によって家屋の状態は常に新築時の状態 ( $s = 0$ ) に復帰するとする．

まず初めに，家屋所有者が適切な意思決定時点を選択することができず，与えられた時点において直ちに補修するか，生涯にわたり補修しないかを決定する必要があるケースを想定する．状態  $s$  の家屋の補修費用は  $C_{r,s}$  により表されるとする．また家屋倒壊時点以降において必要となる費用を瞬間費用  $C_c$  により表す．家屋所有者の年齢が  $a$  の時点で，家屋の状態が  $s$  であった場合，補修を実施した場合と実施しなかった場合の生涯費用はそれぞれ以下のように与えられる．

補修を実施した場合の生涯費用

$$CR(a, s) = C_{r,s} + \int_0^{\infty} P_0^c(t)\Phi(a+t, a)C_c e^{-\beta t} dt \quad (5)$$

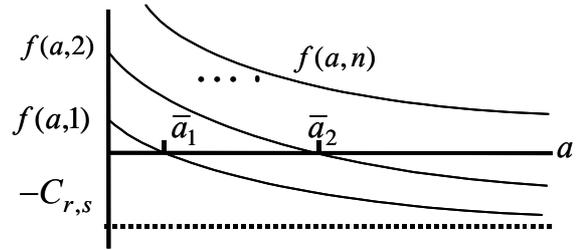


図 - 3 年齢と補修の純価値の関係

補修を実施しなかった場合の生涯費用

$$CN(a, s) = \int_0^{\infty} P_s^c(t)\Phi(a+t, a)C_c e^{-\beta t} dt \quad (6)$$

ここで  $\beta$  は時間割引率である．

補修の純価値  $f(a, s)$  は，生涯費用の差 ((6)式と(5)式の差) と補修費用の差として定義される．すなわち，

$$\begin{aligned} f(a, s) &= CN(a, s) - CR(a, s) \\ &= \int_0^{\infty} \{P_s^c(t) - P_0^c(t)\}\Phi(a+t, a)C_c e^{-\beta t} dt - C_{r,s} \end{aligned} \quad (7)$$

(7)式が正の場合，家屋所有者の年齢が  $a$  の時点で，家屋の状態が  $s$  であれば家屋を補修すべきである．また定義より任意の  $a$  において  $f(a, 0) < 0$  である．

$\eta(a)$  が一定の場合，(7)式中の  $\Phi(a+t, a)$  は意思決定時点からの経過時間  $t$  のみの関数となる．従って家屋の補修に関する意思決定はその時点における家屋の状態  $s$  のみに依存する．一方  $\eta(a)$  が，家屋所有者の年齢  $a$  に伴って変化する場合，(7)式は  $a$  と  $s$  という2種類の説明変数を有する．この場合，補修に関する意思決定は  $a, s$  双方に依存する．以下では  $\eta(a)$  を  $a$  の単調増加関数と想定する．

ここで補修費用  $C_{r,s}$  が  $s(s \geq 1)$  に関わらず一定のケースを想定する．(7)式中の  $\Phi(a+t, a)$  は  $a$  に伴って減少するため， $f(a, s)$  は  $a$  の単調減少関数である．従って，ある年齢  $\bar{a}_s$  以降においては，状態  $s$  の家屋の所有者は家屋を補修する動機を持たない． $s_1 < s_2$  のとき，常に  $P_{s_1}^c(t) < P_{s_2}^c(t)$  が成立する．従って劣化が進行するほど補修の純価値は増加する (図 - 3 参照) ．

一方，所有者は事前に耐震診断を受けることによって始めて現時点における家屋の状態を知ることができる．年齢  $a$  の時点において耐震診断によって得られる情報の

純価値は次式で定義される。

$$I(a, a_b) = \sum_{s=0}^n \tilde{P}_s \max[f(a, s), 0] - \max\left[\sum_{s=0}^n \tilde{P}_s f(a, s), 0\right] - C_I \quad (8)$$

$C_I$  は耐震診断の費用である。  $I(a, a_b)$  が正の場合、所有者は診断を受けた上で補修を実施するか否かを決定する。

### (3) 将来時点での補修が可能な場合

次に、所有者が現時点で補修を実施するか、将来時点で再度耐震診断を受けた上で意思決定を行うかを選択することが可能なケースを考える。

現時点（所有者の年齢  $a$ ）における家屋の状態が  $s$  であることが明らかになっている場合に、現時点から時間が経過するまで意思決定を保留し、年齢が  $a+r$  となった時点で再度耐震診断を受けて意思決定した場合、純価値期待値は以下のように与えられる。

$$F(a, s, r) = \left\{ \sum_{s_1=s}^n \left[ P_s^{s_1}(r) \max\{f(a+r, s_1), 0\} \right] - C_I \right\} e^{-\beta r} - \int_0^r P_s^c(t) \Phi(t, a) C_c e^{-\beta t} dt - \int_r^\infty P_s^c(r) \Phi(t, a) C_c e^{-\beta t} dt \quad (9)$$

(9)式において、第1項は将来時点まで家屋が倒壊しなかった場合の補修の純価値の期待値と診断費用の差であり、第2項、第3項は将来時点までに家屋が倒壊してしまった場合に要する生涯費用である。

(7)式が正の場合であっても、(9)式の値が(7)式を上回れば、現時点では意思決定を保留したほうが望ましいことを意味する。さらに、次式が成立する場合は、所有者は現時点では耐震診断を受けず、将来時点で初めて診断を受けるのが望ましい。

$$\sum_{s=0}^n \tilde{P}_s \max[f(a, s), 0] - C_I < \sum_{s=0}^n \tilde{P}_s F_s(a, s, r) \quad (10)$$

### (4) 居住性の低下を伴う場合

これまでのケースにおいては、図-3に示すように、補修の意思決は意思決定時点における家屋所有者の年齢  $a$  と家屋の状態  $s$  のみに依存し、家屋の築年数  $(a - a_b)$  に

は依存しない。ここで、築年数の増加に伴って家屋の居住性が低下し、維持管理に要する費用が増大するとする。新築後、時間  $\theta$  が経過した家屋の瞬間維持管理費用を  $C_m(\theta)$  とする。ここで次式が常に成立するとする。

$$\frac{\partial C_m}{\partial \theta} > 0 \quad (11)$$

補修を実施した場合、しなかった場合の生涯費用((5)式、(6)式)、補修の純価値((7)式)は以下のように書き換えられる。

補修を実施した場合の生涯費用

$$CR'(a, s, a_b) = C_{r,s} + \int_0^\infty \Phi(a+t, a) \{P_0^c(t) C_c e^{-\beta t} + (1 - P_0^c(t)) C_m(a+t - a_b) e^{-\beta t}\} dt \quad (12)$$

補修を実施しなかった場合の生涯費用

$$CN'(a, s, a_b) = \int_0^\infty \Phi(a+t, a) \{P_s^c(t) C_c e^{-\beta t} + (1 - P_s^c(t)) C_m(a+t - a_b) e^{-\beta t}\} dt \quad (13)$$

補修の純価値

$$f'(a, s, a_b) = CN'(a, s, a_b) - CR'(a, s, a_b) = \int_0^\infty \{P_s^c(t) - P_0^c(t)\} \{\Phi(a+t, a) C_c e^{-\beta t} - C_m(a+t - a_b) e^{-\beta t}\} dt - C_{r,s} \quad (14)$$

(11)式より、 $f'(a, s, a_b)$  は  $a_b$  に対して単調増加である。すなわち意思決定時点において家屋が新しいほど ( $a_b$  が大きいほど) 補修の純価値は大きく、家屋が古いほど ( $a_b$  が小さいほど) 補修の純価値は小さくなる。

一方、安全性と同時に居住性も新築時の状態に復帰するような改築を考える。改築を実施した場合の生涯費用と純価値は以下のように与えられる。

改築を実施した場合の生涯費用

$$CB'(a, s) = C_{r,s} + \int_0^\infty \Phi(a+t, a) \{P_0^c(t) C_c e^{-\beta t} + (1 - P_0^c(t)) C_m(t) e^{-\beta t}\} dt \quad (15)$$

## 改築の純価値

$$g_s(a, s, a_b) = CN'(a, s, a_b) - CB(a, s)$$

$$= \int_0^{\infty} \{P_s^c(t) - P_0^c(t)\} \{\Phi(a+t, a) C_c e^{-\beta t} dt$$

$$+ \int_0^{\infty} \{1 - P_s^c(t)\} C_m(a+t - a_b) e^{-\beta t} dt$$

$$- \int_0^{\infty} \{1 - P_0^c(t)\} C_m(t) e^{-\beta t} dt$$

$$- C_{r,s}$$

(16)

$a, s$  が等しい場合、補修の純価値とは逆に、家屋が古くなるほど改築の純価値は増加する。

補修の場合は、居住性の低下に伴う維持管理費用の増大を考慮しても、時間の経過とともに純価値は減少する。一方改築の場合は、時間の経過とともに、高齢化( $a$ の増加)に伴う純価値の低下と、居住性の低下に伴う純価値の増加が同時に進展するため、改築のタイミングの意思決定は維持管理費用  $C_m(\theta)$  の関数形に依存する。

## 4. 意識調査の結果

前節で提示した意思決定モデルの妥当性を検証するため、山口市の持ち家世帯を対象として意識調査を実施した。以下に調査の概要を示す。

調査日：2001年11月6日～29日

調査方法：留置法

調査対象：山口市中心部の1000世帯  
(回収率47.3%)

調査項目

- ・所有者(世帯主)の年齢
- ・家屋の築年数
- ・家屋の種類(木造・非木造)
- ・安全性診断、補修、改築の是非

補修・改築に関しては、所有する家屋の耐震性に問題があることが明らかになった場合に、倒壊を防ぐ(安全性を向上させる)ための補修と、居住性も同時に向上させる改築について、金額を提示して実施の可否を尋ねた。

調査結果を基に、離散選択モデルのパラメータを推定

表-1 補修に関するパラメータ推定結果

	パラメータ	t 値
切片	2.5173	8.9672
年齢	-0.0250	-5.3644
築年数	-0.0019	-0.7422
種類	-0.2633	-2.2223
価格	-0.0256	-14.9665

表-2 改築に関するパラメータ推定結果

	パラメータ	t 値
切片	1.7898	5.5773
年齢	-0.0229	-4.1772
築年数	0.0011	0.3518
種類	-0.2272	-1.6788
価格	-0.0039	-14.1240

した結果を表-1及び表-2に示す。年齢の増加とともに補修、改築のインセンティブは低下している。このことから、補修、改築に関する意思決定において所有者の年齢が影響している可能性が指摘できる。一方築年数(前節のモデルでは  $a - a_b$  に対応)の増加に対しては、補修のインセンティブは低下、改築のインセンティブは増加している。これらは3(4)における符号条件を満足しているものの、いずれも5%有意水準において有意とはなっていない。

以上の結果から、所有者の年齢については家屋の補修・改築の意思決定に対する影響が存在する可能性が高いと考えられるのに対し、築年数の影響は小さいと考えられる。その理由としては、所有者が居住性の低下を明確に認識していないことなどの可能性が指摘できる。

## 参考文献

- 1) 榊原 弘之・土屋 智・岡田 憲夫・多々納 裕一：不確実性を考慮した家屋の更新に関する意思決定過程のモデル分析，土木計画学研究・論文集，No.17，pp.40-1-410，2000.9.