

建築物の建替確率モデルを用いた都市の不燃化に関する考察

大佛俊泰¹⁾, 中田由美²⁾

1) 東京工業大学 情報理工学研究科 情報環境学専攻, osaragi@mei.titech.ac.jp

2) 東京工業大学 情報理工学研究科 情報環境学専攻, ynakata@os.mei.titech.ac.jp

1. はじめに

都市の不燃化は地震防災計画における緊急課題のひとつであり、首都圏においても様々な政策や事業が試みられている。東京都では、防災都市づくり推進計画(1996年)が策定されており、土地区画整理事業等の基盤整備型事業、建物の集合化や沿道建物の不燃化を進める修復型事業、建築基準の緩和と防火規制の強化とを併用する規制誘導策など、木造密集市街地の整備や延焼遮断帯の形成を促進するための指針が示されている。しかし、地震大火の危険性が高い地域は今尚数多く広範にわたり存在しており、都市の不燃化を効率的かつ効果的に促進するための方策が必要とされている。

本研究では、各種規制誘導が市街地の不燃化に及ぼす効果について定量的に評価することで、不燃化促進政策に関する基礎的知見を得ることを目的とする。具体的には、まず都市の不燃化を建物の不燃化(建物の建替に伴う建物構造の変化)というミクロな視点から捉え、建物の不燃化に関わる因子について分析する。さらに、これらの因子を用いて、建替プロセス(建物の建替と構造変化)を記述する確率モデルを構築する。次に、このモデルを用いて、市街地における建物構造割合の経年変化を予測し、現状のまま推移した際の不燃化の進行状況について考察する。さらに、不燃化の進みにくい地域を対象として、様々な規制誘導を組み合わせることで不燃化の進行がどのように異なるかをシミュレーション実験し、各種規制誘導およびその組み合わせの効果とその効率性について考察を試みる。

2. 建替確率モデルの構築

2.1. 建替確率モデルの基本構成

一般に建物の不燃化は、木造建物が除却され耐火造建物へ建替えられることにより達成される。本研究では、建物の建替プロセスを建物の除却残存プロセスと構造変化プロセスの二段階に分けてモデル化する(図1)。すなわち、除却残存モデルにより建替建物が抽出され、その建物の構造変化が構造転換モデルにより予測されるというモデル構成である。

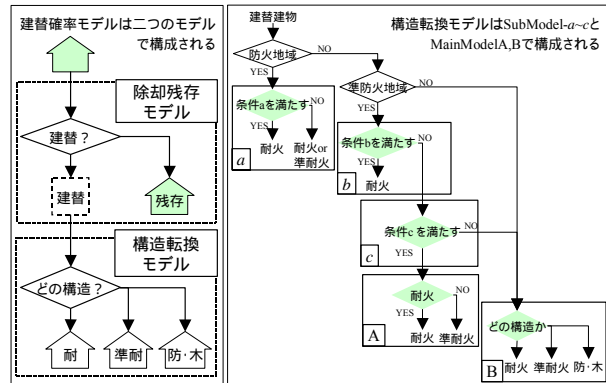


図1 建替確率モデル

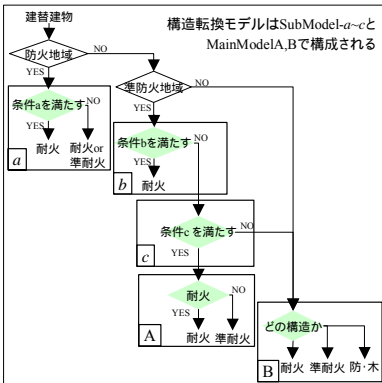


図2 構造転換モデル詳細

建物*j*が($i=1,2,\dots,1$)^(注)に変化する効用 u_{ij} を、その建物の属性、周辺環境、都市規制等の説明変数 x_{jk} と、未知パラメータ a_{ik} を用いて次の線形モデルで記述する(k は説明変数と未知パラメータのサフィクス)。

$$u_{ij} = a_{i0} + \sum_k a_{ik} x_{jk}$$

ただし、 i 番目のパラメータを基準とする。

$$a_{ik} = 0 \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

建物*j*が*i*に変化する確率 p_{ij} を、ポテンシャル u_{ij} を用いて、次のロジスティック回帰モデルにより記述する。

$$p_{ij} = \frac{\exp[u_{ij}]}{\sum_i \exp[u_{ij}]}$$

(注)各モデルにおける建物*j*の変化先*i*

| 各モデルにおける建物 <i>j</i> の変化先 <i>i</i> | 各モデルにおける建物 <i>j</i> の変化先 <i>i</i> | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 除却残存モデル | 建替 | 残存 | |
| 構造転換モデル | SubModel-a | 条件aを満たす建物* | それ以外 |
| | SubModel-b | 条件bを満たす建物* | それ以外 |
| | SubModel-c | 条件cを満たす建物* | それ以外 |
| | MainModel-A | 耐火造 | 準耐火造 |
| MainModel-B | 耐火造 | 準耐火造 | 防火・木造 |

*条件a-cについては下表を参照

| 防火地域指定による構造規制 | | | |
|---------------|------|-------------------------|-----------------|
| 条件 | 建築規模 | 建築可能な構造 | |
| 防火地域 | a | 階数 3 or 延床面積>100㎡ | 耐火 |
| | — | 上記以外 | 耐火, 準耐火 |
| | b | 階数 4 or 延床面積>1500㎡ | 耐火 |
| 準防火地域 | c | 階数=3 or 500㎡<延床面積 1500㎡ | 耐火, 準耐火 |
| | — | 上記以外 | 耐火, 準耐火, 防火・木** |
| 無指定 | — | — | 耐火, 準耐火, 防火・木** |

**木造は外壁及び軒裏で延焼の恐れがある部分を防火構造にする

図3 建替確率モデルを構成する各モデルの概要

2.2. 除却残存モデルと構造転換モデルの構築

除却残存モデルは、建物が次の時点までに建替わる確率を様々な因子(建物属性、周辺環境、都市規制等)を用いて記述する確率モデルである(図3)。構造転換モデルは建替建物の構造が耐火造、準耐火造、防火・木造のうち、どれに変化するかを記述す

る確率モデルである。ただし、図 3(下表)に示すように、建築可能な構造は、防火地域・準防火地域において条件 a~c を満たす場合には耐火造のみ、あるいは、耐火造・準耐火造に限られることになる。そこで、図 2 に示すフローチャートに従って、防火地域や準防火地域に立地する建物が建替わる場合には、条件 a~c を満たす建物に建替わるか否かを記述するサブモデルを用いて構造転換を記述した。

3. 除却残存モデルと構造転換モデルの推定

3.1. 分析対象地域と分析データ

分析対象地域は東京都世田谷区とし、分析データとして主に世田谷区 GIS データ(H8,H13 年)と建築確認申請データを使用した。また、建物の建替は、敷地の分割、あるいは、統合と同時に発生する可能性が高い。敷地の分割や統合も都市防災計画上関心が高く、建物の更新とあわせてシミュレートすることができれば、不燃化政策に関するより有用な考察が可能となると考えられる。大佛・井上²⁾³⁾は、敷地分割と敷地統合の発生のしやすさを記述する確率モデルを構築する際に、二時点の敷地形状の変化を GIS 上で比較することにより、分割・統合敷地を抽出している。そこで、敷地の分割・統合の有無に関する情報を建物データに付加した。それぞれ「敷地分割ダミー変数」「敷地統合ダミー変数」と呼ぶ。

3.2. 除却残存モデルの推定結果と考察

建物の建替わりやすさについて以下の点が明らかとなった。築年数が最も大きな説明力を持ち、古いほど建替わりやすい。特に木造、平屋である場合や、敷地の分割や統合が発生する場合、容積率を現状よりも高めることができる場合に建替わりやすい。逆に、建築面積や敷地面積が小さく、接道条件が悪く既存不適格である場合に建替わりにくい。また、細街路に接道する建物が建て込んでいる地域では建替わりにくい。商業地域では、建替による不燃化が既に進行しているため、これ以上の大幅な建替は期待できない。中高層住居専用地域では、中高層の共同住宅が比較的多いため、建物が建替率は小さい。

3.3. 構造転換モデルの推定結果と考察

SubModel-a は、防火地域の建物が建替わる場合に、条件 a(建替後の階数が 2 階以上となる、もしくは、延べ床面積が 100 m²より大きくなる)に該当するか否かを予測するモデルである。建替後の規模が条件 a を満たす建物は耐火造のみ、満たさない場合には耐火造か準耐火造となる。世田谷区の防火地域においては、H8-H13 年の建替建物のほとんど全て(95.8%)が条件 a を満たしていた。そこでここでは、防火地域の建物が建替わる場合の建替後の構造

は全て耐火造とする単純なモデルとした。

SubModel-b は、準防火地域の建物が建替わる場合に、条件 b (建替後の階数が 4 階以上となる、もしくは、延べ床面積が 1500 m²より大きくなる)に該当するか否かを予測するモデルである。条件 b に該当する建物は全て耐火造となる。モデルの推定結果から、条件 b に該当しやすいのは、建替前の規模が大きい、敷地が統合する、容積率に余裕がある等、敷地に大規模建築を建てられる余裕がある場合、また、接道条件がよい場合であることが分かった。

SubModel-c は、準防火地域の建物が建替わる場合に、条件 c(建替後の階数が 3 階となる、もしくは、延べ床面積が 500 m²より大きく 1500 m²以下となる)に該当するか否かを予測するモデルである。条件 c に該当する建物は耐火か準耐火のいずれかとなる。モデルの推定結果から、条件 c に該当しやすいのは、用途が住商併用の場合、接道条件は良いが比較的敷地が小さい場合、高度利用が可能な場所に立地する場合であることが分かった。

MainModel-A は、条件 c に該当する建替建物が耐火造になるか、準耐火造になるかを予測するモデルである。モデルの推定結果から、建替前の構造が耐火造であり、周囲に耐火造建物が多い場合、また敷地に余裕がある場合に耐火造になりやすいことが分かった。逆に、敷地の接道条件が悪く、敷地の規模が小さい場合、また共同住宅や住工併用など工業系用途の場合は準耐火造になりやすいことが分かった。

MainModel-B は、準防火地域において条件 b,c に該当しない建替建物と、防火地域指定が無指定の建替建物が、耐火造、準耐火造、防火・木造のどれになるかを予測するモデルである。モデルの推定結果から、建替前の構造が耐火・準耐火造の場合は建替後も耐火・準耐火造となる可能性が高く、また、狭小敷地では防火造になりやすいことが分かった。

4. 建替確率モデルを用いたシミュレーション

4.1. 不燃化進行の予測と危険地域の抽出

シミュレーションモデルの概略を図 4 に示してある。まず、都市規制を現状のままとし、個々の建物の建替とそれに伴う構造の変化を、H13 年を起点として 30 年後まで予測した。その結果を図 5 に示してある。区全体では、耐火・準耐火造が緩やかに増加し、防火・木造が緩やかに減少するが、地域によって不燃化の進行速度は異なる。そこで、様々な地域分類をもとに試みた予測結果から、不燃化が進みにくく防災上の危険性が高いと考えられる地域を抽出した。まず、0 時点と 30 年後における木造密度と耐火面積率を相互に比較しながら 18 の大字を「危険地域」として抽出した(図 6 参照)。これらの大字は世田谷区が発行している「地域の危険度マッ

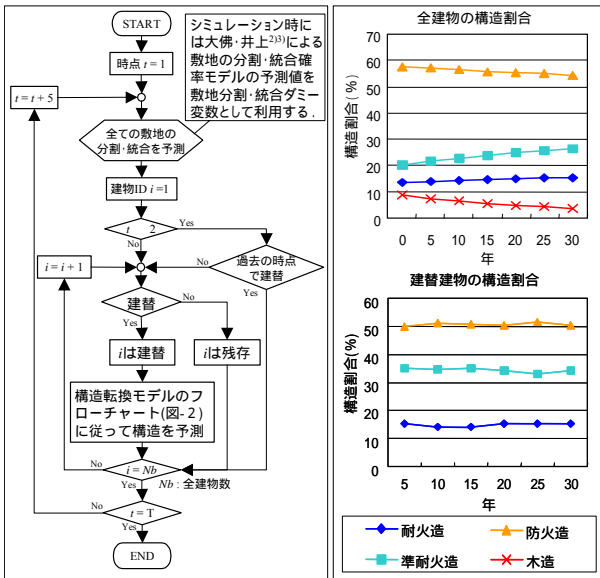


図 4 シミュレーションフロー

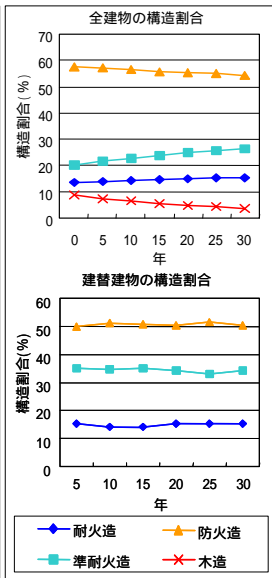


図 5 区全体の結果

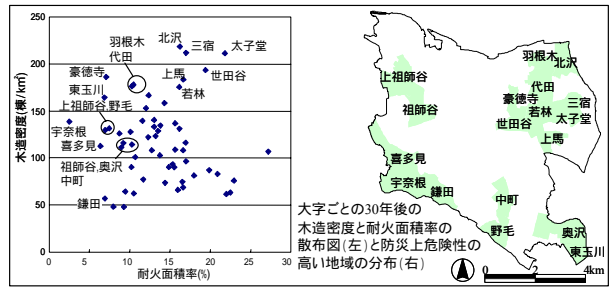


図 6 大字ごとに見た不燃化の進行

表 1 不燃化促進プランと個々の規制

| プランを構成する個々の規制の内容 | | 不燃化促進プランa~v, Dの構成 | | | | | | | |
|------------------|---------|-------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 規制 | 規制内容 | 個々の規制 | | | | | | | |
| 1. | 敷地面積規制 | 1 | 2 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 4-1 | 4-2 | 4-3 |
| 2. | 敷地の接道条件 | a | b | c | d | e | f | g | h |
| 3. | 用途地域 | i | j | k | l | m | n | o | p |
| 4. | 容積率 | q | r | s | t | u | v | w | x |

注) 低層住居専用地域には現状で最低敷地規模規制が適用される。接道長さ2m未満の敷地はどの規制においても分割不可。

(各プランを構成する規制に 印)

プ」で危険とされている地域と一致している。

次に、30年間の不燃化率^{注1}とその伸び率(不燃化率の変化率)から、図7に示すZone~Zoneを「要不燃化促進地域」として抽出した。幹線道路からの距離が30m未満の地域(幹線道路沿道)では基本的に不燃化率が高く延焼遮断帯としての機能が期待できる。しかし、幹線道路沿道であっても、用途地域が低層・中高層住居専用地域である場合(Zone)は不燃化率が低く、不燃化促進の必要性は高い。駅から300m未満の住居系用途地域(Zone)は不燃化率が低く、不燃化促進が必要と考えられる。地域全体の耐火性能を効率よく向上させるには、延焼遮断帯や避難路として機能する比較的広い道路沿を積極的に不燃化するのが良いと考えられるが、低層住居専用地域で幅員6-11mの道路沿い(Zone)では不燃化が進みにくいことに注意する必要がある。

4.2. 規制誘導の不燃化進行に及ぼす効果

各種規制誘導を施した場合の不燃化促進の効果を定量的に評価するため、まず不燃化促進に有効と考えられる都市規制のリスト(全26種)を作成し、個々の規制を前項で抽出した危険地域(図6)に適用して不燃化の進行をシミュレートした。さらに、それらの予測結果と現状のまま推移した場合とを比較した。さらに、効果が高かった規制8種(表1左)を複数組み合わせると不燃化促進プランを作成し(表1右)、図8に示す「効果」と「効率」の視点から各プランを評価した。その結果を図9に示してある。

図9をもとに、不燃化促進プランを比較し、以下の知見を得た。用途地域や容積率のみを変更するよりも、既存不適格建物に特例措置を与える規制2と組み合わせると効率良く耐火・準耐火造を増加させられる可能性がある(プランj~m,n,o,q,s)。

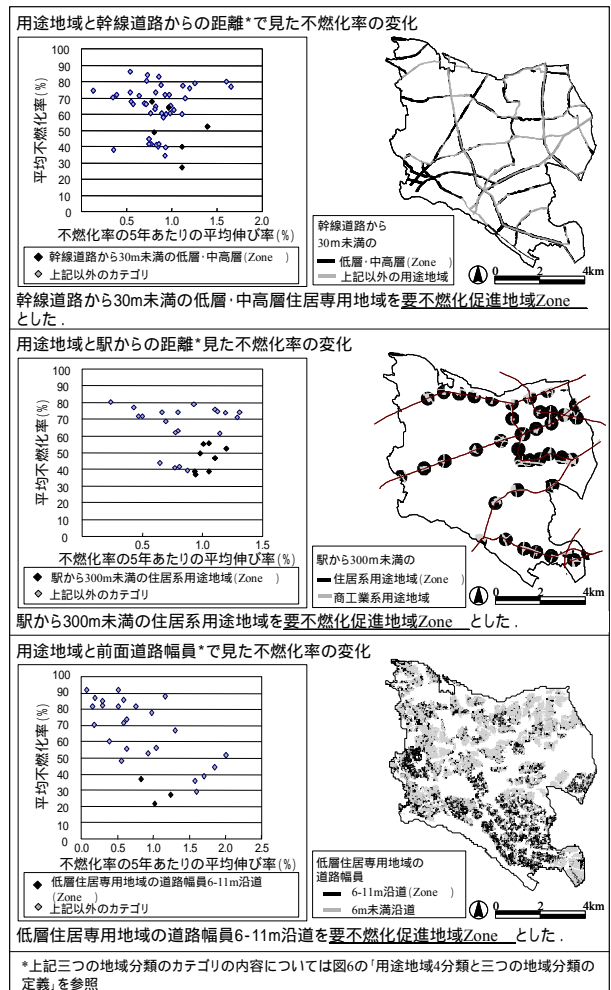


図 7 地域分類ごとに見た不燃化の進行

これは、既存不適格建物が規制 2 の特例措置によって建替わりやすくなり、それらが耐火・準耐火造へと変化するためと考えられる。法定容積率を高めれば耐火造は増えやすくなるが、過度に緩和すると敷地の統合が抑制され分割が促進されるため、結果的には不燃化を阻む可能性がある(プラン a~c, g~i)。最低敷地規模規制を全域に適用することで敷地分割を抑制しながら不燃化を進めることができる(プラン g~i, l, t と p, u, v を比較)。しかし、木造建物の建替は敷地分割と同時に発生するケースが多く、狭小な敷地の場合には、最低敷地規模規制を導入すると敷地分割が抑制され、その結果、木造建物の建替が抑制される可能性がある(プラン p, u, v)。最低敷地規模規制は良好な市街地を形成するためのツールとして有効であるが、木造建物の建替が抑制される可能性について注意すべきである。総合的にみて、プラン k, m, n, o, q, s は耐火造建物を増加させる効果は中程度であるものの、比較的簡潔な規制でありながら効率よく耐火造・準耐火造建物を増加させ、木造建物を減少させることができる。一方、プラン p, u, v は建物の不燃化に最も効果的であり、かつ、敷地分割・統合にも悪影響を及ぼす危険性が低い。しかし、これらのプランは規制の数が多く、また、低層住居専用地域を住居地域に変更するといった大幅な変更が含まれるため、特に不燃化を推進させたい地域などにおいて限定的に実施されるべきと考えられる。

5. まとめ

本研究では、建物の建替プロセスを記述する確率モデルを構築し、建物の不燃化に関わる様々な因子を明らかにした。推定したモデルを用いてシミュレーションモデルを構築し、現状での不燃化の進行を把握すると共に、特に不燃化促進の必要性の高い地域を抽出した。こうした地域でどのような規制コントロールが不燃化促進に有効かを明らかにし、地域の特性や具体的な目的に応じて様々な規制誘導を組み合わせて実施することの必要性を示した。

補注

(1)平均不燃化率は以下の式で定義される。

- ・ 不燃化率=耐火面積率+準耐火面積率 × 0.8
- ・ 耐火面積率=地域内耐火建築面積合計/地域内建築面積合計 × 100
- ・ 準耐火面積率=地域内準耐火建築面積合計/地域内建築面積合計 × 100

不燃化促進プラン $x(x=a,b,\dots,v,D)$ は耐火造、準耐火造、建替数、敷地統合数($k=1,2,4,6$)が多く増加するほど効果が高く、木造、敷地分割数($k=3,5$)が多く減少するほど効果が高いと考えられる。

そこでプラン x の効果 $E(x,k)$ を以下のように定義する。

$$E(x,k) = N(x,k) - N(D,k) \quad (k=1,2,4,6)$$

$$E(x,k) = N(D,k) - N(x,k) \quad (k=3,5)$$

ただし、 $N(x,k)$ については右表を参照。

| k | 項目 | $N(x,k)$ |
|---|------|------------------|
| 1 | 耐火造 | プランx適用時の30年後の数 |
| 2 | 準耐火造 | プランx適用時の30年後の数 |
| 3 | 木造 | プランx適用時の30年間の発生数 |
| 4 | 建替 | プランx適用時の30年間の発生数 |
| 5 | 敷地分割 | 敷地統合 |
| 6 | 敷地統合 | 敷地分割 |

また、プラン x を構成する個々の規制の独立性が高いほど、プラン x は効率が良いと考えられる。そこで、個々の規制をそれぞれ単独で適用した場合に得られる効果を $e(i,k)$ とし、効率 $R(x,k)$ を以下のように定義する。

$$R(x,k) = \frac{E(x,k) - E^*(k)}{|E^*(k)|}, \quad E^*(k) = \sum_i e(i,k)$$

$R(x,k)$ は基本的にマイナスの値を取り、0に近いほど個々の規制の独立性が高いことを表す。プラスの場合は規制同士の相乗効果、マイナスに大きい場合は規制同士の負の相乗効果を表す。

図 8 不燃化促進プランの効果と効率の定義

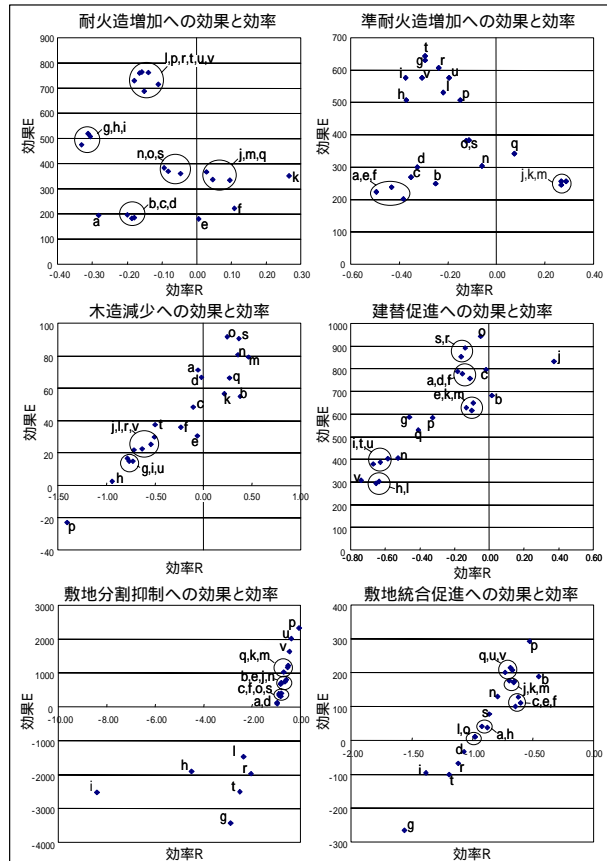


図 9 不燃化促進プランの効果と効率

参考文献

- 1) 加藤裕久(1992), 「住宅の寿命分布に関する調査研究報告書」, 住宅総合研究財団研究年報, No.18, 研究 No.9024
- 2) 大佛俊泰・井上猛(2006), 「画地の分割ポテンシャルと分割パターンのモデル分析」, 日本建築学会計画系論文集, 第 605 号, pp.151-157
- 3) 大佛俊泰・井上猛(2005), 「既存市街地における画地統合のモデル化と要因分析」, 日本建築学会計画系論文集, 第 592 号, pp.147-153