

# 生存時間分析手法による所有形態別転居タイミング決定のモデル化\*

## Modeling the Duration of Residence by Type of Housing Ownership using Survival Analysis\*

李昂\*\*・西井和夫\*\*\*・佐々木邦明\*\*\*\*

By Ang LI\*\*・Kazuo NISHII\*\*\*・Kuniaki SASAKI\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、都市環境、とりわけ都市域の住環境の諸問題は、少子高齢化やライフスタイルの多様化といった人口動態的社会的要因の変化のもとでより複雑化してきている。これらの問題解決のために、都市交通戦略や環境改善策の効果計測ならびに施策評価を定量的にできる都市システムモデルによる検討手法の開発などが必要である。

1970年代以降、世界中の研究者の多くは、多種多様な都市モデルの開発を通じて、都市システムの変化過程を分析している。よく取上げられた都市モデル30余りに対して、Wegenerはそのレビュー研究<sup>1) 2)</sup>において、類型化やモデル構造の詳細な考察を行い、これまで開発された都市システムの多くが世帯行動および住宅施設の他に、ネットワーク、土地利用、事業所施設、従業者等、8つのサブシステムから構成されていること、またその中で世帯の居住行動が都市モデルにおける主要なサブシステムの一つとして位置づけられていることを指摘した。そして、世帯の居住行動は主に転居タイミング決定、住宅所有形態別の選択および立地選択に分けられる。本研究では、この中の転居タイミング決定に着目する。

この分野については、数多くの研究者が効用理論に基づき、多様な離散選択モデルを用いて分析している<sup>3) 5)</sup>。しかしながら実際に離散分析モデルを用いて、この転居タイミング決定を表現する際には幾つかの問題点が存在する。その一つとして離散選択モデルの構築に十分なデータの入手が困難であることが挙げられる。これは、これら離散選択モデル系においては各時間断面での選択を扱うために、往々にして転居タイミング決定というデータが比較的にまれなケースが生じることによる。

そこで、本論文では、これらの問題を認識した上、

動学的な理論に基づいた生存時間分析手法を用いて、所有形態別転居タイミング決定モデルの構築を目的とする。

具体的には、まず既存研究をレビューした後に、生存時間分析手法における2種類のモデル、コックス比例ハザードモデルとパラメトリックモデルをそれぞれ用いて、個人の転居タイミング決定モデルを定式化し、その分析に必要な条件を明らかにする。次に、京都市域で実施した住宅立地行動調査によるデータを用いて、世帯の居住特性に関する実態を把握する。また、その結果に基づき、所有形態別の転居率の差異を明らかにするために、Kaplan-Meier法を用いて、有意性の検定を試みる。さらに、定式化された転居タイミング決定モデルのパラメータを推定し、その上で、各手法について評価を行う。そして、これらより得られた知見をまとめることとする。

### 2. 既存研究のレビューと本研究の位置付け

生存時間分析手法とは、ある基準の時刻から、ある事象が生起するあるいは終了するまでの時間を解析の対象とするモデルである<sup>6)</sup>。この手法の特徴として、解析対象となる事象が生起するまでの時間は必ず正の値をとり、多くの場合、時間の分布の裾が右に長くなるということが挙げられる<sup>7)</sup>。以前から、主に医学分野や交通行動分析分野において用いられている<sup>8) 14)</sup>。

個人の転居タイミング決定分析という分野においては、個人の居住年数（すなわち連続の転居タイミング決定間隔）を検討する際に、分布の裾が右に長いなど、解析の対象とされる生存時間と同じ性質を持っていると予想される。よって、当該分野でも、生存時間分析手法の使用が十分に可能でありかつ適切であると考えられ、近年において広くこの手法の適用がなされている<sup>15) 19)</sup>。

個人の転居タイミング決定分析分野では、コックス比例ハザードモデルの適用が、Ryuら<sup>15)</sup>によってはじめて提案され、Dengら<sup>16) 17)</sup>により改善されてきた。その一方、コックス比例ハザードモデルは基準ハザード関数を推定する必要がないため、居住年数の開始と終了のタイミングを明確にすることができないと考え、Habibら<sup>18)</sup>がその適用を批判してパラメトリックモデルの適用を進めた。また、パラメトリックモデルを適用した方は時間軸上での転居タイミング決定をよく把握することができ

\*キーワード：土地利用・交通・環境統合モデル，土地利用，住宅立地

\*\*学生員，工修，山梨大学大学院医学工学総合教育部  
(山梨県甲府市武田4-3-11, TEL055-220-8532)

\*\*\*正員，工博，流通科学大学情報学部  
(神戸市西区学園西町3丁目1番, TEL078-796-4852)

\*\*\*\*正員，工博，山梨大学大学院医学工学総合研究部  
(山梨県甲府市武田4-3-11, TEL055-220-8532)

ると、Sugikiら<sup>19)</sup>は主張している。しかし、これら提案されたモデルに関する研究とも、過去のデータを用いて動的挙動を再現するという再現性の検定を行わなかった。

本研究では、これらの先行研究を踏まえたうえ、生存時間分析手法におけるこの2種類のモデルをそれぞれ用いて、調査データを分析し、個人の転居タイミング決定分析分野における両モデルの適用の差異、特徴および再現性を検討する。これまで筆者の知るところでは、この分野においての両モデル適用の比較研究が見当たらない。その意味で本研究により、今後の生存時間モデルのより一層の有効な適用につながることを期待できる。

### 3. 転居タイミング決定モデルの構築

本研究での生存関数 (survival function) は、転居タイミング決定がある時点 $t$ においてまだ行われていない確率を表す関数であり、ハザード関数 (hazard function) は、転居タイミング決定がある時点 $t$ までに行われていないという条件での次の瞬間に決定があるという条件付き確率を表すものである。ここに、個人が転居するまでの時間 $T$ の分布を式(1)に示される生存関数 $S(t)$ 、および式(2)に示されるハザード関数 $h(t)$ で表し、当該両関数の関係は式(3)で表す。 $F(t)$ は累積生存関数、 $f(t)$ は $T$ の確率密度関数である。

$$S(t) = \Pr(T \geq t) = 1 - \Pr(T \leq t) = 1 - F(t) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} h(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Pr(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t) / \Delta t \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} S(t) - S(t + \Delta t) / \Delta t \cdot S(t) \\ &= -d[\log S(t)] / dt = f(t) / S(t) \end{aligned} \quad (2)$$

$$S(t) = \exp \left[ - \int_0^t h(u) du \right] \quad (3)$$

また、共変量をハザード関数に導入する方法として、コックス比例ハザードモデル<sup>20) 21)</sup>とパラメトリックモデルとの2種類がある。前者の場合、個人の転居タイミング決定が比例ハザード性を満たすため、ハザード比が一定となる。ここでのハザード比とは、ある時点で2つの群の転居タイミング決定確率というハザード率の比である。後者の場合、比例ハザード性を考慮する必要がない代わりに、特定の確率分布を仮定する必要がある。

これらの特性に焦点をあてて、生存時間分析手法におけるこの2種類の方法をそれぞれ用いて、個人の転居タイミング決定モデルを定式化する。

#### (1) コックス比例ハザードモデル

このモデルによる各時点での転居タイミング決定確率を次のような関数 (式4) で説明する。

$$h(t|x_i) = h_0(t) \exp(\beta_i x_i) \quad (4)$$

ここで、 $h(t|x_i)$ は共変量ベクトル $x_i$ を持つ個人 $i$ のハザード関数、 $h_0(t)$ は基準ハザード関数である。 $\beta$ は未知パラメータベクトル、 $x_i$ は個人 $i$ の共変量ベクトルをそれぞれ表す。当該モデルは共変量をハザード関数のパラメータとしてモデルに導入する一方で、基準ハザード関数 $h_0(t)$ を特定化せずに推定するセミパラメトリックな階段関数である。

また、パラメータの推定には、基準ハザードを局外母数とみなして $\beta$ を推定するという部分尤度法を用いる。部分尤度PLが式(5)のように表される。

$$PL = \prod_{i \in D(t)} \frac{\exp(\beta_i x_i)}{\sum_{k \in R(t)} \exp(\beta_i x_i)} \quad (5)$$

ここで、 $D(t)$ は時点 $t$ に転居した個人の集合、 $R(t)$ は時点 $t$ の直前のリスク集合となる。ここでのリスク集合とはその直前に観測された個人の集合を表す。

そして、複数の転居タイミングの決定が行われた観測データから、Breslow法<sup>22)</sup>でパラメータを推定することになる。

#### (2) パラメトリックモデル

パラメトリックモデルを用いる場合、ハザード関数に何らかの確率分布を仮定する必要がある。本研究では、a) 指数分布、b) ワイブル分布、c) 対数ロジスティック分布、d) 対数正規分布、e) ゴンペルツ分布、合計5種類を取上げて、それぞれの分布形のハザード関数が式(6)から式(10)に示す。そして、どの分布形がより適切かを実証的に検討する。

$$\begin{aligned} \text{a) 指数分布} \\ h(t) &= \lambda \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{b) ワイブル分布} \\ h(t) &= \lambda p t^{p-1} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{c) 対数ロジスティック分布} \\ h(t) &= \frac{\lambda p t^{p-1}}{1 + \lambda t^p} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{d) 対数正規分布} \\ h(t) &= \frac{1/t \cdot \phi[\log(t) - \mu/\sigma]}{1 - \Phi[\log(t) - \mu/\sigma]} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{e) ゴンペルツ分布} \\ h(t) &= p \cdot \exp(-\lambda t) \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、 $p$ は形状パラメータであり、すなわち、時間とともにハザード率の変化傾向を表す。 $\lambda$ は共変量ベクトル $x_i$ を持つ個人 $i$ の指数関数、すなわち $\exp(\beta_i x_i)$ である。 $\phi$ は基準正規確率密度関数、 $\Phi$ は基準正規確率分布関数である。

モデルの推定に際しては、式(11)に示す尤度関数を最大化することにより、未知パラメータの推定を行う。

$$L = \prod_{i=1}^N L_i = \prod_{i \in NC} [h(t_i | x_i) \cdot S(t_i | x_i)] \cdot \prod_{i \in RC} S(t_i | x_i) \quad (11)$$

ここで、NCは打ち切りを受けていない個人の集合、RCは右打ち切りを受けた個人の集合を示す。

#### 4. 使用データの概要

本研究で用いたデータは、京都市を対象に、平成19年1月に実施されたアンケート調査によるものである(表-1)。

表-1 調査概要

調査対象	京都市内に居住する世帯
調査期間	配布：平成19年1月13日、15日、16日、24日、25日 回収：平成19年1月16日～2月8日
調査方法	無作為抽出による郵送配布・郵送回収
調査状況	配布枚数：5,000枚 回収枚数：907枚 回収率：18.1%
調査内容	世帯構成と個人属性： 同居人数、性別、年齢、職業等 居住地に関する質問： 居住年数、駅までの所要時間等 住居形態に関する質問： 住居タイプ、所有形態等

当該調査は、複数の元学区(元の小学校区/京都市の統計単位)より、引っ越しに対する関心が高い層という観点から、京都市内で「15歳未満人口比率」と「生産年齢(15～64歳)人口比率」の上位地区を選定した。さらに上記に加えて、「京都高速沿道の地区」および「都心部」も選定した(図-1)。また、調査内容は大きく9部編成となり、世帯構成や個人属性、居住地に関する質問等があった。その結果、回収枚数中の791件は有効的なサンプルとして、今回の転居タイミング決定モデルのパラメータを推定する。

生存時間分析手法による個人の転居タイミング決定モデル構築においては、個人属性を共変量とした居住年数分布を分析することになる。特に世帯居住地実態調査では、「前居住地」および「現居住地」の2つの転居タイミング決定に関連する属性について質問を行った。また、

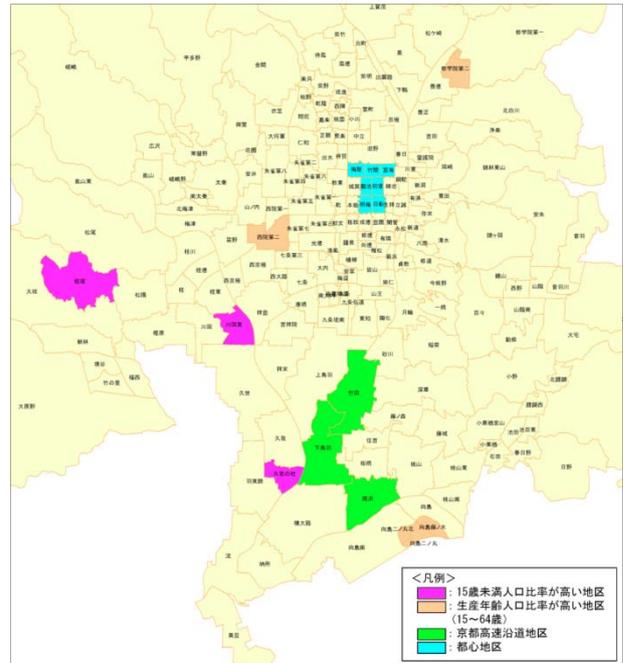


図-1 配布エリア

時間軸では前居住地での居住開始時、すなわち前居住への転居時刻、現居住地での居住開始時、すなわち現居住への転居時刻と現居住地での現時点の3時点での属性について質問をした。

これから、モデルの再現性を検証し、居住期間における転居確率の分布形を説明するために、調査データ中の前居住地部分を利用し、統計解析ソフトStata/SE(バージョン10.0)で分析を行っていく。

#### 5. 世帯の居住特性の実態把握

##### (1) 基礎的な集計分析

既往研究<sup>23)</sup>により、所有形態別の居住特性および転居要因は大きな差異があるため、本章では居住形態別で、すなわち持家から転居した個人と、賃貸から転居した個人と大きく2種類を設定して分析を行うこととする。

転居した個人の居住特性における所有形態は、「賃貸住宅」が432件(54.6%)で最も多く、次いで「持家住宅」が359件(45.4%)となった。また、平均居住年数は、「賃貸住宅」7.7年、「持家住宅」16.4年、転居時の平均年齢は、「賃貸住宅」37.8歳、「持家住宅」41.4歳であった。回答者が世帯主となっているのは、「賃貸住宅」80.2%、「持家住宅」59.1%、同居人数は「賃貸住宅」2.8人、「持家住宅」3.4人であった。配偶者の持つ場合は、「賃貸住宅」66.1%、「持家住宅」64.4%、子供の持つ場合は、「賃貸住宅」43.4%、「持家住宅」48.6%となった。

そして、図-2の居住年数分布の裾が右に長いなどの性質が顕著に見られことから、本研究で生存時間分析手

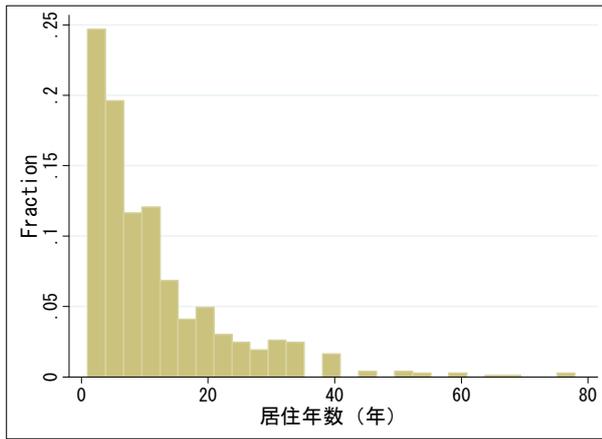


図-2 居住年数の分布

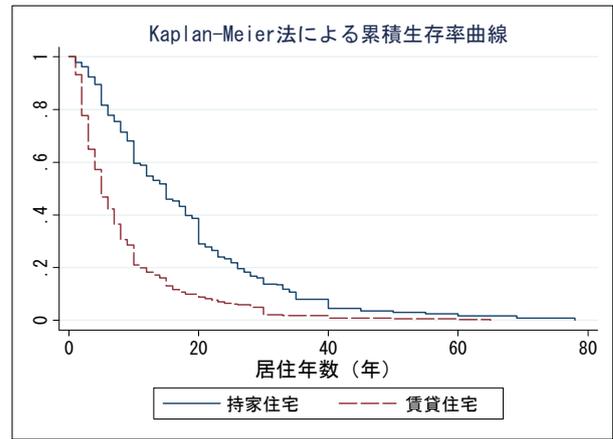


図-3 所有形態別累積生存率曲線

法の適用が可能性を実際データ面から裏付けられたと考えられる。

(2) 所有形態別居住年数分布の差異の検定

各住居所有形態の居住特徴が著しく異なっていることを統計上に検証する。

まず、Kaplan-Meier法を用いて、各所有形態別の生存率を推定する。この方法から得た生存関数は、ノンパラメトリックな階段関数である<sup>9)</sup>。生存関数 $S(t)$ のKaplan-Meier推定量は式(12)で表される。

$$\hat{S}(t_{(j)}) = \prod_{i=1}^j \hat{\Pr}[T > t_{(i)} | T \geq t_{(i)}] \quad (12)$$

図-3では、Kaplan-Meier法による所有形態間の比較のために全体的な生存曲線を求めたものである。ここに、所有形態別生存率曲線の分布形にそれぞれ差異があることがわかる。前居住期間においては、賃貸住宅での個人転居率がどのタイミングでも持家住宅より高い。

次に、Log Rank検定の結果については、統計量が98.0と十分大きく1%水準で「所有形態別生存曲線の分布に差異はない」という帰無仮説を棄却できた。

6. 実証分析

(1) 赤池情報量規準による確率分布の選定

パラメトリックモデルを用いる場合に、ハザード関数に何らかの確率分布を仮定する必要がある。本研究では、第2章に述べたとおり、a) からe) までの確率分布の5種類を用いて仮定を行った。そして、それぞれ仮定した確率分布から得られた赤池情報量規準値を表-2に表す。

この表から、所有形態別ハザード関数の確率分布を検討したところ、ワイブル分布を仮定したモデルが最も

小さいAIC値を得ており、最も統計的には適切であることがわかる。よって、今回の研究では、転居タイミング決定モデルにワイブル分布を用いることとする。ただし、賃貸住宅については、対数正規分布を仮定したモデルもほぼ同等のAICの値を得ており、今後さらに検証を行って説明する必要がある。

表-2 赤池情報量規準 (AIC) の比較

確率分布	赤池情報量規準 (AIC)	
	持家住宅	賃貸住宅
指数分布	624.74	766.89
ワイブル分布	487.44	681.51
対数ロジスティック分布	534.15	689.13
対数正規分布	570.11	683.71
ゴンペリツ分布	515.43	715.44

(2) 説明変数の導入

構築した転居タイミング決定モデルのハザード率およびパラメータ推定値の計算は、比例ハザードモデルの場合、第3章にある式(4)および式(5)で、パラメトリックモデルの場合、第3章にある式(7) および式(11)を用いる。本研究では、説明変数として考慮する変数は、世帯属性と住居属性との2種類がある。前者は、同居人数(人)、転居時の年齢(歳)、性別ダミー(男性=1, 女性=0)、世帯主ダミー(はい=1, いいえ=0)、配偶者ダミー(有=1, 無=0)、子供ダミー(有=1, 無=0)を含む。後者は、1DK/LDK から5DK/LDK および以上までの5段階の住居タイプダミー(はい=1, いいえ=0)、駅までの所要時間(分)がある。

(3) モデルの推定結果

1%水準または5%水準で有意であった変数のみを用いたモデルの推定結果を表-3にまとめた。パラメータ推定値は正ならば、説明変数がハザード率を高める要因であり、逆に負ならば、説明変数がハザード率を低める要

表-3 モデルの推定結果

説明変数	パラメータ推定値 (ハザード比)			
	持家住宅		賃貸住宅	
	モデル1 比例ハザード	モデル2 パラメトリック	モデル3 比例ハザード	モデル4 パラメトリック
同居人数 (人)	-0.14 <sup>a</sup> (0.87)	-0.14 <sup>a</sup> (0.87)	-0.20 <sup>a</sup> (0.81)	-0.24 <sup>a</sup> (0.79)
年齢 (歳)	-0.07 <sup>a</sup> (0.93)	-0.07 <sup>a</sup> (0.93)	-0.06 <sup>a</sup> (0.95)	-0.06 <sup>a</sup> (0.94)
世帯主ダミー	0.60 <sup>a</sup> (1.83)	0.57 <sup>a</sup> (1.78)	0.83 <sup>a</sup> (2.30)	0.92 <sup>a</sup> (2.51)
配偶者ダミー	0.93 <sup>a</sup> (2.54)	0.97 <sup>a</sup> (2.64)	0.42 <sup>a</sup> (1.52)	0.49 <sup>a</sup> (1.63)
子供ダミー	—	—	0.35 <sup>a</sup> (1.42)	0.39 <sup>a</sup> (1.48)
3DK/LDKタイプダミー	0.32 <sup>b</sup> (1.38)	0.35 <sup>b</sup> (1.42)	—	—
5DK/LDKおよび以上タイプダミー	-0.37 <sup>b</sup> (0.69)	-0.37 <sup>b</sup> (0.69)	—	—
定数項	—	-3.41	—	-1.37
形状パラメータ	—	2.06	—	1.59
対数尤度	-1052.59	-235.72	-1336.09	-333.75
サンプル数	359		432	

注: a: 1%水準で有意, b: 5%水準で有意であることをそれぞれ表す。括弧内の値は転居ハザード比を示す。

因である。また、ハザード比はパラメータ推定値の指数をとることによって求められる。

これらの結果から共通に言えることは、すべての4つのモデルにおいて、「世帯主である」あるいは「配偶者有り」の場合には、転居ハザード率が増加し、一方、「多い同居人数」または「高い年齢」の場合には、転居ハザード率が減少する傾向にあることがわかる。

次に、所有形態別に検討してみる。持家住宅での「居住タイプが3DK/LDK」の場合には、転居ハザード率が増えているが、「5DK/LDKおよび以上」の場合になると、転居ハザード率が減っている傾向にある。ここに、持家住宅での個人は「居住空間が広い」ほど、転居する可能性が低くなることをいえる。また、賃貸住宅での「子供有り」の場合に、転居ハザード率が増加する傾向にある。

#### (4) モデルの考察

まず、本研究で用いた2種類のモデルは本来まったく異なる前提条件や特性を持つが、所有形態別に推定した転居ハザード比がほぼ同じであることが表-3での推定結果から読み取ることができる。

次に、今回構築された比例ハザードモデルについては、Schoenfeld残差・Scaled Schoenfeld残差を使用し、その比例ハザード性を統計学的に検証した。その結果、モデルのp値は0.1より大きく、持家住宅の場合に0.2、賃貸住宅の場合に0.4であったため、比例ハザード性が満たされていると結論付けることができた。ただし、時間依存型の変数あるいは比例ハザード性の満たさない変数をモデルに用いる場合には、基本モデルをさらに拡張した定式化の必要がある。

また、今回推定したパラメトリックモデルはワイブ

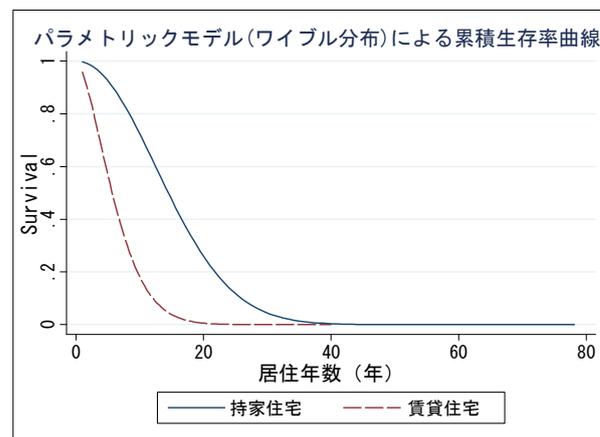
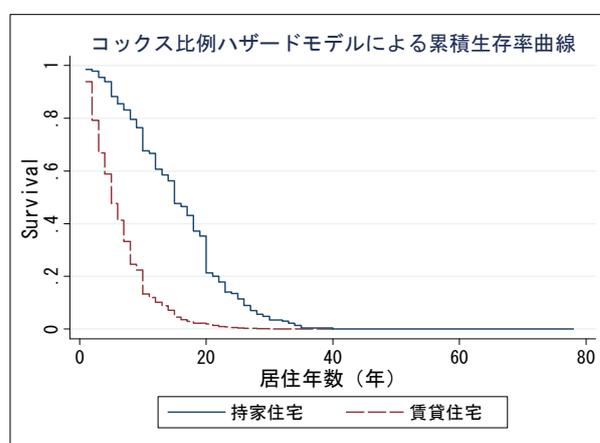


図-4 所有形態別累積生存率曲線

ル分布を仮定して同定化を行った。そして、この場合における所有形態別の形状パラメータとも1より大きいため、時間の経過とともに、転居ハザード率が増加することが分かる。実は、本論文で既に仮定した5つの確率分布形のほかにも、一般化ガンマ分布やレイリー分布等、数多くの分布関数を用いることができる。この他に、今回取り上げた赤池情報量規準 (AIC) 以外にも、数多く

のモデルの評価方法が存在している。このように多くの定式化が可能なモデルからどのように分布形を選び、どのような規準に基づいて検討するのが最も適切なモデルを得られるかについては、まだ再考の余地がある。

表-3のモデルごとに全ての有意になった変数の平均値を用いて計算した累積生存率曲線をそれぞれ図-4に示す。ここでの比例ハザードモデルによる累積生存率の計算は、比例ハザードモデルにおける基準生存関数のかわりに、Kaplan-Meier推定量を用いる。そして、これらの曲線がそれぞれ、Kaplan-Meierによる累積生存率曲線(図-3)に相応してほぼ一致していることがわかる。

ここで、Kaplan-Meier法による生存率が実測値である一方、比例ハザードモデルやパラメトリックモデルによる生存率は推定値である。後者の推定値が前者の実測値にほぼ一致していることより、本研究で構築された2つのモデルとも高い再現性があると判断できる。

## 7. まとめ

本論文では、動学的な理論に基づいた生存時間分析手法を用いて、個人レベルの転居タイミング決定を分析した。

その結果から得られた結論として、所有形態別における転居ハザード率間に統計的に有意な差があることが明らかになった。また、複数の確率分布を仮定したパラメトリックモデルによる転居タイミング決定モデルを構築し、AICを比較したところ、どの所有形態でもワイブル分布が最もよいAICの値となる確率分布形であることはわかった。さらに、世帯属性と住居タイプとの説明変数における有意な要因がどれであるか、またそれらが転居ハザード率へ及ぼす影響の傾向をそれぞれ明らかにすることができた。そして、最後に生存時間分析手法の2種類の構築方法を比較して評価を行った結果、個人の転居タイミング決定分析分野においては、両者とも精度が高いことがわかり、両者とも転居タイミングの分析に適用可能であると考えられる。

今後は、構築した転居タイミング決定モデルのもとに、マイクロシミュレーションレベルで立地選択行動モデルの構築を目指す必要がある、これらを通じた転居行動全体のモデル表現が課題といえる。

## 謝辞

本研究は「京都交通-土地利用研究会」の枠組みのもと、京都大学の故北村隆一教授を始めとするメンバー方々からのご指導とご助言をいただいた。また、査読委員からは非常に有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1) Wegener, M.: Operational urban models: state of the art, Journal of the American Planning Association, Vol.60, Iss.1, pp.17-29, 1994.
- 2) Wegener, M.: Overview of land use transport models, In Handbook in Transport, Vol.5. Transport, Geography and Spatial Systems, pp.127-146, 2004.
- 3) Clark, W. A. V. and Lierop, W. F. J. V.: Residential mobility and household location modeling, In Handbook of Regional and Urban Economics, Vol. 1, pp.97-132, 1986.
- 4) 瀬古美喜: 移動費用を伴う住み替え, 居住形態, 立地の同時選択, 季刊住宅土地経済, Vol.16, pp.10-19, 1995.
- 5) Ioannides, Y. M. and Kan, K.: Structural estimation of residential mobility and housing tenure choice, Journal of Regional Science, Vol.36, Iss.3, pp.335-364, 1996.
- 6) Kleinbaum, D. G. and Klein, M.: Survival analysis: a self learning text, 2nd edition, Springer, New York, 2005.
- 7) 北村隆一, 佐々木邦明, 山本俊行, 森川高行, 藤井聡: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版, pp.190-203, 2002.
- 8) Hensher, D. A. and Mannering, F.: Hazard based duration models and their application to transport analysis, Transport Reviews, Vol. 14, Iss.1, pp.63-82, 1994.
- 9) 山本俊行, 松田忠士, 北村隆一: 保有予定期間との比較に基づく世帯における自動車保有期間の分析, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.799-808, 1997.
- 10) Yamamoto, T., Kitamura, R., and Kimura, S.: Competing-risks-duration model of household vehicle transactions with indicators of changes in explanatory variables, Transportation Research Record, No.1676, pp.116-123, 1999.
- 11) Yamamoto, T. and Kitamura, R.: An analysis of household vehicle holding durations considering intended holding durations, Transportation Research A, Vol.34A, No.5, pp.339-351, 2000.
- 12) 山本俊行, 北村隆一, 藤井宏明: 車検制度が世帯の自動車取り替え更新行動に及ぼす影響

- の分析, 土木学会論文集, No. 667/IV-50, pp.137-146, 2001.
- 13) Yamamoto, T., Madre, J. L., and Kitamura, R.: An analysis of the effects of French vehicle inspection program and grant for scrappage on household vehicle transaction, Transportation Research Part B, Vol. 38, pp.905-926, 2004.
- 14) 桑野将司, 藤原章正, 張峻屹: 生存時間モデルによる世帯の自動車走行距離の推定, 土木計画学研究・論文集, Vol. 25, No. 3, pp. 623-631, 2008.
- 15) Ryu, K.: Group duration analysis of the proportional hazard model: minimum chi-squared estimators and specification tests, Journal of the American Statistical Association, Vol. 89, No. 428, pp. 1386-1397, 1994.
- 16) Deng, Y.: Mortgage termination: an empirical hazard model with stochastic term structure, Journal of Real Estate Finance and Economics, Vol. 14, No. 3, pp. 309-331, 1997.
- 17) Deng, Y., Gabriel, S. A., and Nothaft, F. E.: Duration of residence in the rental housing market, Journal of Real Estate Finance and Economics, Vol. 26, No. 2-3, pp. 267-285, 2003.
- 18) Habib, M. A. and Miller, E. J.: Microsimulating residential mobility and spatial search behavior: estimation of continuous-time hazard and discrete-time panel logit models for residential mobility, In Proceedings of the Transportation Research Board 87th Annual Meeting, Washington D.C., USA, January 13-17, 2008.
- 19) Sugiki, N. and Miyamoto, K.: Spatial-temporal aggregation effects and path-dependence in a land-use micro-simulation system, In Proceedings of the 10th World Conference on Transport Research, Istanbul, Turkey, July 4-8, 2004.
- 20) Cox, D. R.: Regression models and life-tables, Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), Vol. 34, No. 2, pp. 187-220, 1972.
- 21) Cox, D. R.: Partial likelihood, Biometrika, Vol. 62, pp. 269-276, 1975.
- 22) Breslow, N. E.: Covariance analysis of censored survival data, Biometrics, Vol. 30, pp. 89-99, 1974.
- 23) 瀬古美喜, 隅田和人: 日本における家計の転居阻害要因のハザード分析, KEIO UNIVERSITY MARKET QUALITY RESEARCH PROJRCT (A 21st Century Center of Excellence Project) DP2004-18, 2005.

---

## 生存時間分析手法による所有形態別転居タイミング決定のモデル化\*

李昂\*\*・西井和夫\*\*\*・佐々木邦明\*\*\*\*

本論文では、動学的な理論に基づいた生存時間分析手法を用いて、個人レベルの転居タイミング決定を分析するものである。その方法として、生存時間分析手法における2種類の方法、コックス比例ハザードモデルとパラメトリックモデルをそれぞれ用いて、個人の転居タイミング決定モデルを定式化し、その特性を明らかにした。続いて、京都市域で実施した住宅立地行動調査によるデータを用いて、世帯の居住特性に関する実態を把握し、その結果に基づいて、所有形態別に転居率の差異があるかどうかを明らかにするために、Kaplan-Meier法を用いて、有意性の検定を試みた。さらに、定式化された転居タイミング決定モデルのパラメータを推定し、その上で、各手法について評価を行い、その差異や世帯属性の影響を明らかにした。

---

## Modeling the Duration of Residence by Type of Housing Ownership using Survival Analysis\*

By Ang LI\*\*・Kazuo NISHII\*\*\*・Kuniaki SASAKI\*\*\*\*

This paper describes a residential duration model focusing on an individual-level dwelling movement behavior. The model is developed by using two kinds of survival analyses, such as Cox proportional hazards model and parametric survival model. Based on a data set from the Kyoto city area, a Kaplan-Meier survival analysis is firstly applied to examine the difference between residential turnover rates for various types of housing ownership. Empirical results from estimated parameters of residential duration models are also presented. Furthermore, a comparison of the proposed modeling frameworks between Cox proportional hazards model and parametric survival model is discussed in this study.

---