

休日のアクティビティに着目した 時間価値推定方法に関する研究

屋井研究室 00M16191 吉野 広郷

休日は労働の制約がなく自由にアクティビティ選択ができるため、移動の短縮時間には個人が行いたいアクティビティが充てられると考えられる。そこで、休日の時間価値推定においては、従来の賃金率を用いる方法ではなく、移動時間とアクティビティの関係に着目すべきと考え、その推定方法を体系的に開発した。この時、時間・費用制約下の最適化行動モデルではアクティビティ毎の限界効用が異なることに注目し、これらの条件のもとで時間配分モデル、アクティビティ選択モデルの2つを導出した。さらに得られた効用関数からアクティビティ毎の時間価値を推定する方法を示した。最後に仮想データから導出モデル、時間価値の感度分析をし、モデルの特性を明らかにした。

Key Words: VOT(value of time), time allocation model, discrete-choice model

1. 背景・目的

交通施設の整備による便益は、時間短縮の効果が大きな割合を占めている。そのため、時間短縮の便益計算に用いる単位時間の価値を金銭で評価した時間価値が重要となっている。この時間価値の従来の算出方法の一つである所得接近法では、移動の短縮時間は労働に充てられるとして賃金率を用いてきた¹⁾が、これは本来休日では成り立たないものである。

Irwan ら²⁾は、休日では労働の制約がなく、自由時間において自分が行いたい様々なアクティビティを選択出来るため、もし移動時間が短縮して自由時間が増加すると、個人はその時間において自分が行いたいアクティビティをすると仮定をした。このことから、休日では移動時間短縮との代替関係にあるのは労働ではなく、個人が行うアクティビティにあるとして、休日の時間価値は個人が行うアクティビティに着目して考えるべきだと提案をしている。しかし、その推定方法の開発まで至っていない。

本研究でも、休日の時間価値を個人が行うアクティビティに着目し、さらに、アクティビティの時間価値の推定方法を体系的に示すことを目的とする。

2. 既往の研究

既往の研究の多くは、時間価値をミクロ経済理論から『微小な時間節約があった時に効用を一定に保つための費用の増分』³⁾と定義し、限界時間と限界費用の比で算出されるとしている。

$$VOT(\text{時間価値}) = \frac{\partial V / \partial T}{\partial V / \partial G} \quad (1)$$

VOT: 交通に関する時間価値

V: 間接効用関数

T: 交通に必要な時間

G: 交通に必要な費用

MVA consultancy group⁴⁾は、時間、費用制約の下での効用最大化の仮定から間接効用関数(定義した直接効用関数を制約条件下で最大とする効用)を推定し、交通機関別の時間価値推定を行っている。森川ら⁵⁾の研究においても、間接効用関数を推定し交通環境と個人属性を考慮した交通の時間価値を求めている。そして時間価値が交通所要時間、個人属性によって異なることを実証している。ただし、これらは間接効用関数を、前者は直接効用関数をテラー展開して求め、後者はあらかじめ間接効用関数を仮定し、別に定式化したロジットモデルの交通機関選択モデルから推定したにとどまっている。

それに対して、河野・森杉³⁾らは間接効用関数を効用最大化仮説のもとで理論的に導出し、私的交通

に着目した交通に対する時間価値の導出を試みている。だが、実際には間接効用関数の推定は難しいとして、交通所要時間、料金などが変化した時の時間価値を比較静学分析しているにとどまっている。

このように既往の研究においては、効用最大化仮説を用いて時間価値の推定を試みているが、間接効用関数を理論的に実際に解いたものはない。また、どの時間価値も交通移動に対する価値にとらえ、本研究のようにアクティビティそのものの時間価値に着目していない。

3. 本研究における時間価値算出の体系

本研究では図1に示す体系から、アクティビティの時間価値を算出する。

データ:『休日1日のアクティビティダイアリー』と、『仮想的に自由時間が追加された時のアクティビティ選択データ』の、2種類のデータ。

モデル:それぞれのデータに対応するモデルとして、効用最大化仮説に基づく『タイムアロケーションモデル』と、効用最大化時にアクティビティの限界効用が異なることに着目した『アクティビティ選択モデル』を導出。

パラメータ推定: 2つのモデルを同時に用いてパラメータを推定する方法として、同じ誤差項を仮定していることより、『同時推定法』と『二段反復法』の2種類の方法を提案。

時間価値: 休日アクティビティの時間価値を『アクティビティの活動時間と活動費用の限界代替率の比』から算出。

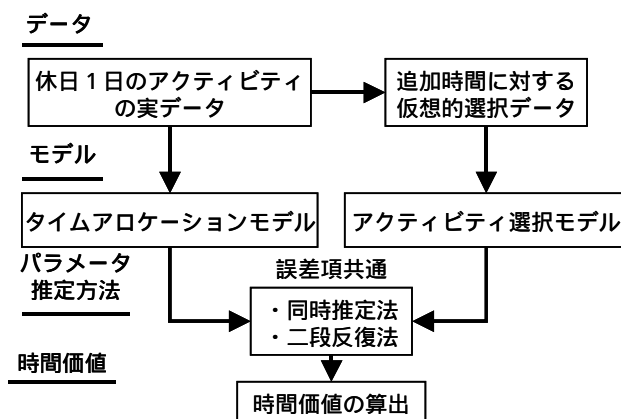


図1 データ・モデル・パラメータ推定・時間価値算出の体系図

4. 効用関数について

(1) 効用関数

休日1日における個人 n の総効用 U_n を、アクティビティ i の消費時間により得られる効用 $U_{ni}(t_i)$ 、休日1日の合成財の消費時間によって得られる効用 $U_{nq}(q)$ 、合成財を消費することによって得られる効用 $U_{nz}(z)$ の総和と仮定する⁶⁾。

(合成財は対象とするアクティビティ以外の財をまとめて一つの財としたもの。本研究では睡眠や食事など生活する上で必ず消費する財を合成財とする。)

【効用関数】

$$U_n(z_n, q_n, t_{n1}, \dots, t_{ni}) = \sum_i U_{ni}(t_{ni}) + U_{nq}(q_n) + U_{nz}(z_n) \quad (2)$$

t_{ni} : 個人 n の余暇活動 i に費やす時間

q_n : 個人 n の合成財の消費時間

z_n : 個人 n の合成財

(2) 効用関数の特定化

図2のように財の消費量がするに従い効用は増加するが、その限界効用(1単位財が増加した時に増加する効用)は減少すると仮定して対数関数で特定化する⁶⁾。

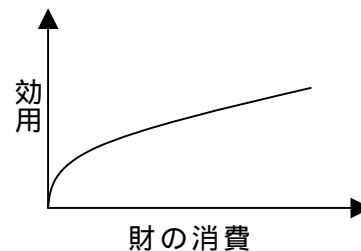


図2 財の消費量と効用の関係

対数関数で特定化することにより、個人の総効用は式(3)のように定式化される。

$$U_n = \sum_i \gamma_i \ln(t_{ni} + 1) + \mu \ln(q_n) + \xi \ln(z_n) \quad (3)$$

γ_i : アクティビティ i に関するパラメータ

μ : 合成財の消費時間に関するパラメータ

ξ : 合成財に関するパラメータ

5. モデルの導出

4.で定式化した効用関数を用い、効用最大化仮説のもとで『タイムアロケーションモデル』を、次に効用最大化時にアクティビティの限界効用が異なることから『アクティビティ選択モデル』を導出する。

(1) タイムアロケーションモデル

『個人は制約条件の下で効用が最大になるように時間配分を行う』という行動仮説から定式化する。

本モデルでは、制約条件として予算制約と時間制約の2つの制約を考える。

$$\text{Max } U_n = \sum_i \gamma_i \ln(t_{ni} + 1) + \mu \ln(q_n) + \xi \ln(z_n) \quad (4)$$

【制約条件】

予算制約

$$c_z z_n + \sum_i c_{ui} t_{ni} + G_n \leq R_n \quad (5)$$

時間制約

$$q_n + \sum_i t_{ni} + T_n \leq H_n \quad (6)$$

c_{ui} : 余暇活動 i に参加するための単位費用

c_z : 合成財価格 ($c_z=1$ に特定化)

G_n : 個人 n の移動総費用

T_n : 個人 n の移動総時間

R_n : 個人 n の予算上限

H_n : 個人 n の総利用可能時間

式(4)の効用を制約条件式(5), (6)のもとで最大にする t_{ni} , q_n , z_n は、式(7)で表されるラグランジュ関数を t_{ni} , q_n , z_n について偏微分することで得られる。

ラグランジュ関数

$$l_n = \sum_i \gamma_i \ln(t_{ni} + 1) + \mu \ln(q_n) + \xi \ln(z_n) + \lambda_{nB} (R_n - c_z z_n - \sum_i c_{ui} t_{ni} - G_n) + \lambda_{nT} (H_n - q_n - \sum_i t_{ni} - T_n) \quad (7)$$

l_n : 個人 n のラグランジュ関数

λ_{nB} , λ_{nT} : 予算、時間制約のラグランジュ未定乗数
クーン・タッカーの一階条件より、

$$\frac{\partial l_n}{\partial t_{ni}} = \frac{\partial U_{ni}}{\partial t_{ni}} - c_{ui} \lambda_{nB} - \lambda_{nT} = \frac{\gamma_i}{t_{ni} + 1} - c_{ui} \lambda_{nB} - \lambda_{nT} = 0 \quad \text{if } t_{ni} > 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial l_n}{\partial t_{ni}} = \frac{\partial U_{ni}}{\partial t_{ni}} - c_{ui} \lambda_{nB} - \lambda_{nT} = \frac{\gamma_i}{t_{ni} + 1} - c_{ui} \lambda_{nB} - \lambda_{nT} \leq 0 \quad \text{if } t_{ni} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial l_n}{\partial q_n} = \frac{\partial U_{nq}}{\partial q_n} - \lambda_{nT} = \frac{\mu}{q_n} - \lambda_{nT} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial l_n}{\partial z_n} = \frac{\partial U_{nz}}{\partial z_n} - \lambda_{nB} = \frac{\xi}{z_n} - \lambda_{nB} = 0 \quad (11)$$

なお、合成財は生活する上で必要な財であるから $q_n, z_n = 0$ の場合は、現実にはありえないため、ここでは考えていない。

式(8), (9), (10), (11)を整理すると、

$$\frac{\gamma_i}{t_{ni} + 1} = \frac{\mu}{q_n} + \frac{c_{ui} \xi}{c_z z_n} \quad \text{if } t_{ni} > 0 \quad (12)$$

$$\frac{\gamma_i}{t_{ni} + 1} \leq \frac{\mu}{q_n} + \frac{c_{ui} \xi}{c_z z_n} \quad \text{if } t_{ni} = 0 \quad (13)$$

財を消費することにより効用が減少することはありえないため、パラメータは非負となる必要があり、次のように仮定する⁶⁾、

$$\gamma_i = \exp(\mathbf{A}_i \mathbf{X}_i + \varepsilon_{ni}) \quad (14)$$

$$\mu = \exp(\mathbf{B}\mathbf{Y}) \quad (15)$$

$$\xi = \exp(\mathbf{C}\mathbf{Y}) \quad (16)$$

$\mathbf{A}_i, \mathbf{B}, \mathbf{C}$: パラメータベクトル

\mathbf{X}_i : アクティビティ属性ベクトル

\mathbf{Y} : 個人属性ベクトル

ε_{ni} : 個人 n のアクティビティ i の誤差

(誤差はアクティビティにのみ存在するとした)

このようにパラメータを個人属性の変数としたことで、時間価値は個人差を持って表現される。

式(12), (13)に式(14), (15), (16)を代入し、対数を取り ε_{ni} について整理すると、

$$\varepsilon_{ni} = \ln(t_{ni} + 1) + \ln \left(\frac{\exp(\mathbf{B}\mathbf{Y} - \mathbf{A}_i \mathbf{X}_i)}{q_n} + \frac{c_{ui} \exp(\mathbf{C}\mathbf{Y} - \mathbf{A}_i \mathbf{X}_i)}{z_n} \right) \quad \text{if } t_{ni} > 0 \quad (17)$$

$$\varepsilon_{ni} \leq \ln(t_{ni} + 1) + \ln \left(\frac{\exp(\mathbf{B}\mathbf{Y} - \mathbf{A}_i \mathbf{X}_i)}{q_n} + \frac{c_{ui} \exp(\mathbf{C}\mathbf{Y} - \mathbf{A}_i \mathbf{X}_i)}{z_n} \right) \quad \text{if } t_{ni} = 0 \quad (18)$$

誤差項 ε_{ni} が平均 0、分散 σ^2 の正規分布に従っていると仮定すると、次の尤度関数を持つ非線形 Tobit モデルが導出される。⁶⁾

$$L_{Tni} = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \phi \left[\frac{\ln(t_{ni} + 1) + \ln(D_{ni})}{\sigma} \right] & \text{if } t_{ni} > 0 \\ \Phi \left(\frac{\ln(D_{ni})}{\sigma} \right) & \text{if } t_{ni} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

$$\text{ただし、} D_{ni} \equiv \frac{\exp(\mathbf{B}\mathbf{Y} - \mathbf{A}_i \mathbf{X}_i)}{q_n} + \frac{c_{ui} \exp(\mathbf{C}\mathbf{Y} - \mathbf{A}_i \mathbf{X}_i)}{c_z z_n} \quad (21)$$

L_{Tni} : 個人 n のアクティビティ i の尤度

: 標準正規確率密度関数

: 標準正規分布関数

個人が行うアクティビティに対する対数尤度を全て足し合わせた対数尤度を求め、それを最大にするものとして未知パラメータ $\mathbf{A}_i, \mathbf{B}, \mathbf{C}$ を推定する。

$$LL_T = \sum_n \sum_i \ln(L_{Tni}) \quad (22)$$

LL_T : 個人 n の対数尤度の総和

(2)アクティビティ選択モデル

各アクティビティの限界効用は、制約条件として予算制約、時間制約の2つを考えているため、効用最大化の時に一致しない。このことに着目し、『仮想的に自由時間が増加して新たなアクティビティが行える時、個人は限界効用が一番大きいアクティビティを選択する』という行動仮説から定式化する。

アクティビティ i の時間に対する限界効用は式(3)

を t_{ni} について偏微分し、式(14)を代入して得られる。

$$\frac{\partial U_n}{\partial t_{ni}} = \frac{\gamma_i}{t_{ni} + 1} = \frac{1}{t_{ni} + 1} \exp(\mathbf{A}_i \mathbf{X}_i + \varepsilon_{ni}) \quad (23)$$

式(23)を対数変換する。なお、この変換により限界効用の大小の関係は変わらない。

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{\partial U_n}{\partial t_{ni}}\right) &= \mathbf{A}_i \mathbf{X}_i - \ln(t_{ni} + 1) + \varepsilon_{ni} \\ &= V_{ni} + \varepsilon_{ni} \end{aligned} \quad (24)$$

V_{ni} : 個人 n のアクティビティ i の効用確定項

この時、個人 n のアクティビティ i の選択確率は

$$P_{ni} = \Pr(V_{ni} + \varepsilon_{ni} \geq V_{nm} + \varepsilon_{nm}, \forall m \in E_n, i \neq m) \quad (25)$$

P_{ni} : 個人 n のアクティビティ i の選択確率

E_n : 個人 n の選択肢集合

誤差項 ε_{ni} は、タイムアロケーションモデル導出時の仮定より平均 0、分散 σ^2 の正規分布に従うので、次の多項プロビットモデルが導出される。

$$P_{ni} = \int_{\rho_{ni1}=-\infty}^{V_{ni}-V_{n1}} \int_{\rho_{ni2}=-\infty}^{V_{ni}-V_{n2}} \dots \int_{\rho_{nim}=-\infty}^{V_{ni}-V_{nm}} \phi(\rho_n^i) d\rho_{ni1} \dots d\rho_{ni2} d\rho_{ni1} \quad (26)$$

$$\phi(\rho_n^i) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^{m-1} |\Omega^i|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2} \rho_n^{i'} (\Omega^i)^{-1} \rho_n^i\right] \quad (27)$$

Ω^i : ρ_n^i の分散共分散行列

m : 選択肢数

個人の対数尤度を全て足し合わせた対数尤度 LL_p を最大とするものとして未知パラメータ \mathbf{A}_i を推定する。

(従来の Probit モデルでは推定パラメータと γ_i が識別できず $\gamma_i = 1$ と基準化して推定を行っていた。しかし、本モデルでは、活動時間の項にパラメータがなくこの項においてモデルの誤差のスケールが決まるので γ_i を推定する必要がある。)

$$LL_p = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^m \delta_{ni} \ln(P_{ni}) \quad (28)$$

δ_{ni} : 個人 n が選択肢 m を選択した時 1, しない時 0 となるダミー変数

6. 未知パラメータ推定方法

5. で 2 つのモデルを導出したがここではこの 2 つのモデルを同時に用いてパラメータを推定する方法を示す。

(1) 同時推定法

2 つのモデルが共通の誤差項を有していることに着目し、それぞれの対数尤度関数を足し合わせた新たな尤度関数を用いて最尤推定を行い、各パラメータを推定する。

$$LL = LL_T + LL_P \quad (29)$$

LL : タイムアロケーションモデルとアクティビティ選択モデルの対数尤度を足し合わせた対数尤度

(2) 二段反復法

同時推定法では、2 つモデルの対数尤度を足し合わせた新たな尤度関数を用いてパラメータの推定を行う。しかし、非線形 Tobit モデル、線形の多項 Probit モデルと、2 つの異なる性質を持つモデルの対数尤度関数を足し合わせるため、尤度関数が複雑になり、パラメータの推定が困難になると考えられる。

そこで、ここでは 2 つのモデルに共通な未知パラメータ \mathbf{A}_i があることに着目し、共通パラメータを用いて交互にパラメータが収束するまで繰り返し推定を行う二段反復法を提案する。

【推定手順】

アクティビティ選択モデルから \mathbf{A}_i を推定。

タイムアロケーションモデルに推定された \mathbf{A}_i を代入して、残りの \mathbf{B} , \mathbf{C} を推定。推定された \mathbf{A}_i をアクティビティ選択モデルに代入。

、の操作をパラメータが収束するまで繰り返す。

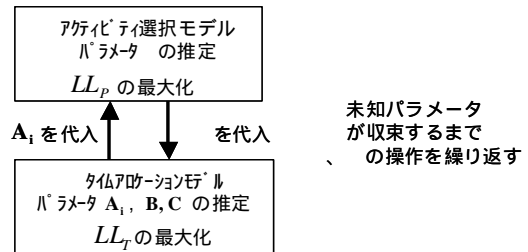


図3 二段反復法による推定方法

7. モンテカルロ実験によるパラメータ推定方法の感度分析

6. で提案した推定方法を実際のデータに対して適用する前に、データの条件がパラメータ推定にどのような影響を与えるかをあらかじめ知っておく必要がある。そこで、あらかじめ仮定した真のパラメータ値から、モンテカルロ法により仮想データセットを作成し、パラメータ推定値の感度分析を行う。

(1) モンテカルロ法による仮想データ作成方法⁷⁾⁸⁾

モンテカルロ実験に基づき、仮想データを以下の手順で作成する。

パラメータの真値を設定

変数(t_i を除く)、誤差 ϵ_i を乱数を用いて作成

アクティビティ活動時間 t_i の算出

(活動時間 t_i は、Tobit モデルの条件を満たすように、式(17)、(18)を解いて求める。)

アクティビティ選択の導出

(選択結果は式(24)に、変数、誤差を代入し一番大きいものを個人のアクティビティの選択結果とする。)

また、本研究の感度分析では以下の表 1 に示すように、アクティビティが 2 つの場合のデータセットを基準値として感度分析を行った。

表 1 感度分析の基準値

変数	乱数	レンジ
X_i	アクティビティ i に関する変数	一様乱数 0~10
Y	個人属性	一様乱数 0~10
z	合成財	一様乱数 2500~4000
q	合成財の消費時間	一様乱数 180~300
ϵ_i	誤差項	正規乱数 $\sigma=0.4$
	選択肢数	定数 2
c_{u1}	アクティビティ 1 の単位時間費用	定数 30
c_{u2}	アクティビティ 2 の単位時間費用	定数 40
N	サンプル数	定数 1000
	仮想パラメータ	定数 $A_1=0.4, A_2=0.2$ $B=0.6, C=0.8$

(2) 推定手法の感度分析

6. で提案をした未知パラメータ推定方法の特性を調べるために感度分析を行った。

この感度分析では、『初期値を変更した場合』、『調査精度を変更した場合』、『サンプル数を変化させた場合』について行った。

a) 初期値を変更した場合

最尤推定における代表的な方法であるニュートン・ラフソン法では、初期値を与えて、繰り返し計算してパラメータを推定する。この時、尤度関数が上に凸である線形の Tobit モデルであれば初期値の値によらず大域的な解が得られることがわかっているが、本研究のように非線形のモデルではそれが保証されず局所的な解におちいることも有り得る。また、初期値によりヘッセ行列（尤度を 2 階偏微分したもの）の逆行列が定義出来ず推定できないこともある。

ここでは未知パラメータ A_1, A_2, B, C の初期値を 0~1 の一様乱数として作成した初期値セットを 50 セット作成し、初期値によるパラメータ推定の影響を検証した。

同時推定法では、収束計算の途中でヘッセ行列の逆行列が計算できなくなりパラメータの推定ができ

なくなるものが多数あった。この収束計算が停止した時のパラメータの値は、 A_1, A_2, B, C は真値に近い値であるのに対して、 t_i は真値と大きくずれた値となっていた。これは、パラメータ A_1, A_2, B, C が構造パラメータなのに対し、 t_i はデータの誤差に関するパラメータであるため、収束の性質が異なるからだと考えられる。また、このため t_i をアクティビティ選択モデルで別に計算し、タイムアロケーションモデルで A_1, A_2, B, C のみを推定する二段反復法では、全ての場合においてパラメータが収束したことがわかる。

また、二段反復法では全ての場合において大域解が得られたのに対して、同時推定法では局所解をとることがある。そのため収束計算を繰り返し行い尤度が最大となっているかを確認する必要がある。

表 2 初期値を変化させた時の収束数、全サンプルに対する収束数の割合

		同時推定法	二段反復法
収束	大域解	6(12%)	50(100%)
	局所解	2(4%)	0(0%)
収束しない		42(84%)	0(0%)

単位：サンプル数(%)

b) 調査精度を変更した場合

データの誤差の標準偏差 σ を $\sigma=0.2, 0.4, 1.0, 2.0$ と変化させて推定パラメータの精度を検証した。

どの推定方法によっても t 値、 R^2 値は有意な値をとっている。

t 値(推定値をその標準偏差で割った値。 t 値が小さければ分散は大きいことを意味する。)は、同時推定法が二段反復法と比べて大きな値をとっており、精度が高くパラメータが推定できているといえる。ただし、二段反復法の t を除いてその差はわずかであり、パラメータの推定精度は推定方法によってあまり変わらないことがいえる。

二段反復法の t 値が小さく推定されている。これは他の方法では t を他のパラメータと一緒に推定しているのに対して、繰り返し推定では t をアクティビティ選択モデルにより別に推定をしているため、推定誤差が大きくなったと考えられる。

c) サンプル数を変更した場合

サンプル数の変化による推定パラメータの精度を検討するために、サンプル数(N)を $N=40, 100, 500, 1000$ と変化させてパラメータ推定を行った。

調査精度を変更した場合と同様に、二段反復法における t はサンプル数が小さくなると真の値と推定パラメータの値が大きくなってしまふ。このため、繰り返し推定で t を推定するためには十分なサンプル数が必要である。それに対して、同時推定法では、

サンプル数がある程度小さくてもどのパラメータも安定した推定値が得られた。

表3 調査精度を変更した場合における

同時推定法		パラメータ推定値, t 値, χ^2 値					
	真値	A ₁ =0.3	A ₂ =0.2	B=0.6	C=0.8		χ^2 値
=0.2 の場合	推定値	0.301	0.201	0.600	0.802	0.204	249143
	t 値	168.8	117.2	331.8	358.7	54.9	
=0.4 の場合	推定値	0.301	0.202	0.599	0.804	0.409	96459
	t 値	87.4	61.2	168.2	192.3	54.8	
=1.0 の場合	推定値	0.308	0.211	0.605	0.813	1.027	20500
	t 値	33.7	23.8	66.1	86.1	52.9	
=2.0 の場合	推定値	0.3157	0.2188	0.608	0.827	2.055	5462
	t 値	20.5	14.7	34.6	53.4	49.8	

二段反復法		パラメータ推定値, t 値, χ^2 値					
	真値	A ₁ =0.3	A ₂ =0.2	B=0.6	C=0.8		χ^2 値
=0.2 の場合	推定値	0.301	0.301	0.600	0.802	0.201	249499
	t 値	156.0	156.0	326.6	349.1	16.7	
=0.4 の場合	推定値	0.303	0.303	0.601	0.806	0.423	91950
	t 値	76.6	76.6	157.8	179.6	16.8	
=1.0 の場合	推定値	0.309	0.309	0.606	0.815	1.039	19810
	t 値	33.7	33.7	65.8	88.7	15.6	
=2.0 の場合	推定値	0.3057	0.3057	0.597	0.805	1.873	9430
	t 値	19.4	19.4	36.3	57.0	14.7	

表4 サンプル数を変更した場合 A₁ の推定値, t 値

同時推定法		パラメータ推定値, t 値, χ^2 値					
	真値	A ₁ =0.3	A ₂ =0.2	B=0.6	C=0.8	=0.4	χ^2 値
N=40の 場合	推定値	0.336	0.231	0.616	0.839	0.368	4070
	t 値	19.8	14.4	39.3	42.9	11.4	
N=100 の場合	推定値	0.313	0.206	0.609	0.807	0.382	10116
	t 値	29.5	20.0	55.9	65.2	17.9	
N=500 の場合	推定値	0.305	0.203	0.608	0.802	0.377	50404
	t 値	69.3	46.8	124.6	148.6	39.6	
N=1000 の場合	推定値	0.301	0.202	0.599	0.804	0.409	96459
	t 値	87.4	61.2	168.2	192.3	54.8	

二段反復法		パラメータ推定値, t 値, χ^2 値					
	真値	A ₁ =0.3	A ₂ =0.2	B=0.6	C=0.8	=0.4	χ^2 値
N=40の 場合	推定値	0.351	0.256	0.631	0.866	0.585	4373
	t 値	11.7	9.0	24.6	26.9	2.9	
N=100 の場合	推定値	0.317	0.206	0.611	0.808	0.348	10773
	t 値	29.7	19.7	59.5	68.1	5.2	
N=500 の場合	推定値	0.303	0.199	0.606	0.797	0.336	48409
	t 値	69.5	46.3	134.5	157.6	12.2	
N=1000 の場合	推定値	0.303	0.204	0.601	0.806	0.423	91950
	t 値	76.6	53.6	157.8	179.6	16.8	

d) 推定手法の感度分析のまとめ

感度分析の結果次のことが明らかになった。

- 同時推定法では二段反復法に比べて推定パラメータの分散が小さくなり推定値の精度は高くなる。しかし、誤差項の標準偏差を除いて大きな差がない。また推定が初期値に依存してしまうため、パラメータ推定が困難な方法である。

二段反復法では の推定値の精度が劣る問題があるが、 をあらかじめ推定しておくことで最尤推定において収束計算が容易となり、非常に実用的な手法

である。

8. 休日アクティビティの時間価値推定

ここではアクティビティ毎の時間価値の推定法を示す。そして、時間価値に誤差が含まれていることから推定時間価値がどれだけ信頼できるのかを検証するために、その信頼区間を推定する方法を示し、7.で作成した仮想データとパラメータ推定値を用いて信頼区間の感度分析を行う。

(1) 時間価値推定方法

個人 n のアクティビティ i の時間価値を次のように、アクティビティの活動時間と活動費用の限界代替率の比として定義する。

$$VOT_{ni} = - \frac{\text{アクティビティ } i \text{ の活動時間の限界効用}}{\text{アクティビティ } i \text{ の活動費用の限界効用}} = - \frac{\partial c_{ni}}{\partial t_{ni}} \quad (30)$$

c_{ni} : 個人 n のアクティビティ i の費用

$$\text{アクティビティ } i \text{ の活動時間の限界効用} = \frac{\partial U_{ni}}{\partial t_{ni}} \quad (31)$$

$$\text{アクティビティ } i \text{ の活動費用の限界効用} = \frac{\partial U_{ni}}{\partial c_{ni}} = \frac{\partial U_{ni}}{\partial z_n} \frac{\partial z_n}{\partial c_{ni}} = - \frac{\partial U_{nz}}{\partial z_n} \quad (32)$$

$$(5) \quad z_n + \sum_i c_{ni} + G_n = 0$$

従って本研究のアクティビティ i の時間価値は、

$$VOT_{ni} = - \frac{\frac{\partial U_{ni}}{\partial t_{ni}}}{\frac{\partial U_{ni}}{\partial c_{ni}}} = \frac{\frac{\partial U_{ni}}{\partial t_{ni}}}{\frac{\partial U_{nz}}{\partial z_n}} = \frac{\gamma_i}{\xi} \frac{z_n}{t_{ni} + 1} = \exp(A_i X_i - C Y + \varepsilon_i) \frac{z_n}{t_{ni} + 1} \quad (33)$$

ただし誤差項 ε_i は未知なので実際に考察するのは以下の期待時間価値である。

$$\overline{VOT}_{ni} = \exp(\hat{A}_i X_i - \hat{C} Y) \frac{z_n}{t_{ni} + 1} \quad (34)$$

\hat{A}, \hat{C} : パラメータ推定値

表1の仮想データを用いてアクティビティ1,2の時間価値を算出すると図4,5のグラフで示される時間価値分布となる。

図4,5で示されたように、アクティビティによって異なる分布を持つ時間価値が算出される。これらから本研究の時間価値の算出方法を用いれば、個人属性、アクティビティによって異なる値が算出されることが示される。ただし、算出された時間価値は仮想データによるものなので、正しく評価するには今後実際のデータを用いて検証していく必要がある。

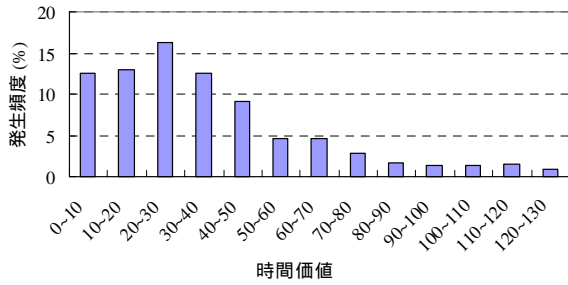


図4 時間価値分布(アクティビティ 1)

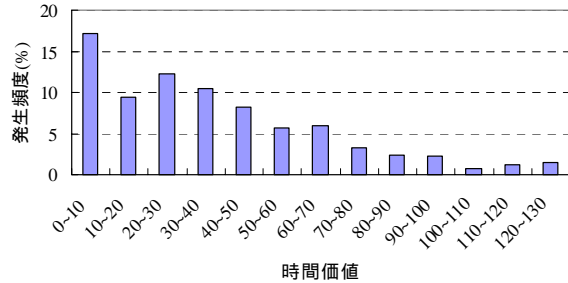


図5 時間価値分布(アクティビティ 2)

(2) 時間価値の信頼区間推定方法

式(33)で示されたように、本研究で推定された時間価値は、推定値 A, B, C, が分散を持つため期待時間価値にばらつきが生じる。また、その期待時間価値は個人により異なる値を持つ。ここでは、推定された個人それぞれの時間価値がどれだけ信頼できるのかを評価する。

誤差伝播の法則より期待時間価値の分散は次のように計算される。

$$\hat{\sigma}_{VOT_{ni}}^2 = \left(\frac{\partial VOT_{ni}}{\partial \hat{A}_i} \right)^2 \sigma_{\hat{A}_i}^2 + \left(\frac{\partial VOT_{ni}}{\partial \hat{C}} \right)^2 \sigma_{\hat{C}}^2 + 2 \frac{\partial VOT_{ni}}{\partial \hat{A}_i} \frac{\partial VOT_{ni}}{\partial \hat{C}} \sigma_{\hat{A}_i \hat{C}}$$

$$= \left\{ \exp(\hat{A}_i X_i - \hat{C} Y) \frac{z_n}{t_{ni} + 1} \right\}^2 \left(X_i^2 \sigma_{\hat{A}_i}^2 + Y^2 \sigma_{\hat{C}}^2 - 2 X_i Y \sigma_{\hat{A}_i \hat{C}} \right) \quad (35)$$

$\hat{\sigma}_{VOT_{ni}}^2$: 時間価値の分散

$\sigma_{\hat{A}_i}^2$: 推定パラメータ A_i の分散

$\sigma_{\hat{C}}^2$: 推定パラメータ C の分散

$\sigma_{\hat{A}_i \hat{C}}$: 推定パラメータ A_i, C の共分散

時間価値の分散は t 分布に従うから、 $1 - \alpha$ の信頼区間は、

$$\left(\overline{VOT_{ni}} - t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_{VOT_{ni}}^2}}{\sqrt{N-1}}, \overline{VOT_{ni}} + t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_{VOT_{ni}}^2}}{\sqrt{N-1}} \right) \quad (36)$$

N : サンプル数

(3) 時間価値信頼区間の感度分析

パラメータの感度分析で推定されたパラメータをもとに時間価値の信頼区間の感度分析を行う。

この感度分析ではアクティビティ 1 に着目し、各変数の平均値を用いた時間評価値の中央値のみの信頼区間を評価する⁷⁾。

ここでは、『調査精度を変更した場合』と、『サンプル数を変更場合』について時間価値の評価値信頼区間を求め、推定パラメータとの関係を考察する。

a) 調査精度を変更した場合

同時推定法の方が二段反復法に比べて信頼区間の幅が小さくなるが大きな差はなく、推定方法によって大きな信頼精度の差はない。

また、 α が大きくなるにつれて信頼区間の幅が広くなる。本ケースでは標準偏差が 1.0 より大きくなると変動率が 1.0% を超えてしまい、安定した時間価値が算出されていない。

b) サンプル数を変更した場合

サンプル数を変更した場合でも推定方法により信頼区間の精度に大きな差はみられなかった。

また、サンプル数が少なくなるにつれて信頼区間の幅が広くなる。特に、本ケースではサンプル数 100 以下となると変動の幅が大きくなることがわかった。

表5 調査精度を変化させた時の各推定方法による

同時推定法	時間価値信頼区間				
	2.5%信頼下限	中央値	2.5%信頼上限	レンジ	変動率(%)
0.2	35.05	35.08	35.11	0.07	0.19
0.4	34.79	34.85	34.92	0.13	0.37
1.0	34.43	34.58	34.73	0.30	0.87
2.0	33.47	33.75	34.03	0.56	1.67
二段反復法					
	2.5%信頼下限	中央値	2.5%信頼上限	レンジ	変動率(%)
0.2	35.01	35.05	35.08	0.07	0.19
0.4	34.63	34.70	34.76	0.13	0.39
1.0	34.34	34.50	34.65	0.31	0.89
2.0	35.80	36.07	36.35	0.56	1.55

レンジ = 2.5% 信頼区間上限 - 2.5% 信頼区間下限 (37)

変動率 = レンジ / 中央値 (38)

表6 サンプル数を変化させた時の各種推定方法による

同時推定法	時間価値信頼区間					
	サンプル数	2.5%信頼下限	中央値	2.5%信頼上限	レンジ	変動率(%)
同時推定法	$N=40$	32.84	33.11	33.38	0.54	1.62
	$N=100$	34.36	34.54	34.73	0.37	1.06
	$N=500$	34.82	34.91	34.99	0.16	0.46
	$N=1000$	34.79	34.85	34.92	0.13	0.37
二段反復法						
	サンプル数	2.5%信頼下限	中央値	2.5%信頼上限	レンジ	変動率
二段反復法	$N=40$	32.93	33.36	33.79	0.87	2.60
	$N=100$	33.00	33.16	33.33	0.33	0.98
	$N=500$	35.24	35.33	35.43	0.19	0.55
	$N=1000$	34.63	34.70	34.76	0.13	0.39

c) 時間価値信頼区間の感度分析のまとめ

信頼区間の感度分析の結果、次のことがわかった。

- ・どの推定方法を用いても時間価値の精度に大きな差はない。
- ・調査精度が悪くなると信頼区間の幅が大きくなり、標準偏差が大きな値をとる時は信頼できる時間価値が算出されない。

・サンプル数が減るにつれて信頼区間の幅が大きくなり、本ケースでは100サンプル以下となると変動の幅が非常に大きくなった。

9. 結論

本研究は休日の時間価値は個人が行うアクティビティにあるとして、個人属性を考慮したアクティビティ別の時間価値の推定方法を体系的に開発することを目的とした。まず、最初に時間価値を推定するために個人のアクティビティを行ったことにより得られる効用関数を定義した。

そして、効用最大仮説によるタイムアロケーションモデルと、個人は限界効用の大きいアクティビティを選択するとの仮定から求められるアクティビティ選択モデルの2つのモデルを導出し、それらを用いてパラメータを推定する方法について考察した。そして、モンテカルロ実験による仮想データからモデルの感度分析を行いモデルの特性を明らかにした。

最後に推定された個人の効用関数からアクティビティによって異なる値を持つ時間価値の推定方法を導出した。そして、その時間価値の信頼性を確かめるために時間価値の信頼区間推定方法を導出し、パラメータ推定の時に用いた仮想データを用いて信頼区間の感度分析を行い、その特性を明らかにした。

今後の課題としては、最初に、モンテカルロ実験による仮想データを用いた推定しか行っていないので、今後は実際のデータを用いて実証分析をする必要がある。次に、今回のアクティビティの時間価値推定では休日1日にのみ着目をしたが、休日のアクティビティ活動は、労働等の制約があるため平日では行う事が出来ないアクティビティを休日におこなっていると考えられる。そのため、今後は休日1日だけでなく平日を含めた1週間のタイムスパンでタ

イムアロケーションを考える必要がある。最後に、本研究ではそもそもアクティビティは個人のニーズを満たすためにおこなっているものと考え、ニーズとアクティビティとの関係を示した時間価値の導出を目的としていた。しかし、本研究ではその関係を表すことができなかった。そのため、今後はニーズとアクティビティの関係を示す定式化をする必要があると思われる。

参考文献

- 1) 運輸省航空局監修：空港整備事業の費用対効果マニュアル pp.26-28, 1999.
- 2) Analysis on User's Perception of Travel Time Saving Benefit Using Activity Based Approach : Irwan PRASETYO, Shingo TAMURA, Tetsuo YAI and Tetsuo SHIMIZU; Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.4, 2001
- 3) 河野達仁, 森杉壽芳：時間価値に関する理論的考察 私的交通のケース -, 土木学会論文集 No.639/-46, pp.53-64, 2000.
- 4) MVAConsultancy. Institute of Transport Studies University of Leeds and Transport Studied Unit University of Oxford : The value of travel time savings, Policy Journals, 1987.
- 5) 森川高行, 姜美蘭, 祖父江誠二, 倉内慎也：旅行時間と個人属性の関数として表された交通時間価値に関する実証的研究, 第24回土木計画学会講演集, 2001.
- 6) 藤井聡, 北村隆一, 熊田善亮：交通需要解析のための所得制約・自由時間制約下での消費行動のモデル化, 土木学会論文集, No625/IV-44, pp.99-112, 1999.
- 7) 川除隆広：離散選択モデルを用いた社会基盤整備便益のリスク分析に関する研究, 京都大学学位請求論文, pp.43-73, 2001.
- 8) 牧厚志：応用計量経済学入門, 日本評論社, pp.214-229, 2001.

Estimation of Time Value Based on Holiday Activity

Hirosato Yoshino

This research focuses on estimating the value of time, not spent for work, but of time spent in engaging in holiday activities and explains the estimation method used. The utility function is specified, and combining utility maximization method with time and expenditure as constraints and discrete choice models, the parameters were estimated. Since the marginal utilities for each activity is different, the time value for each activity can be calculated. Sensitivity analysis was conducted for the model and time values using Monte Carlo experiments.