

交通時間と交通時間節約価値との関係に関する分析

—観光目的の都市間幹線交通を事例として—

本研究は、交通時間と交通時間節約価値との関係を我が国の実データを用いて分析することを目的とする。まず、交通時間と交通時間節約価値との関係に関する基礎的な分析を行い、次に、時間配分モデルを用いて非線形効用関数に基づく交通時間節約価値計測式を導出する。その上で、観光目的の都市間幹線交通の機関選択行動の実績データを用いて、多項ロジットモデルのパラメータ推定を行い、その結果を用いて交通時間節約価値を求める。分析結果より、交通時間の増加に伴って、交通時間節約価値が減少する可能性があることが明らかとなっている。その原因として、消費者の時間および所得の制約条件変更行動の可能性ならびに移動の不効用緩和行動の可能性等を考察している。

キーワード 交通時間節約価値, 離散選択モデル, 都市間観光目的交通, 交通機関選択, 非線形効用関数

加藤浩徳
KATO, Hironori

博(工) 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻助教授

小野田恵一
ONODA, Keiichi

修(工) 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻博士課程

木全正樹
KIMATA, Masaki

(株) 企画開発社会経済部交通計画課

1——はじめに

交通時間価値は、交通時間短縮を目的とする交通投資プロジェクトや交通政策から生じる便益を評価する上で、重要な役割を果たすものである。したがって、より現実的な価値を算出することは重要な課題である。

交通時間価値は、各種交通サービスの選択行動に対して、非集計ロジットモデルに代表される離散選択モデルを適用することにより、求められることが多い。既往の実証研究では、各選択肢に設定される効用関数には、線形関数が仮定されることが多いことから、時間価値は、交通時間によらず一定値として求められることがほとんどである。しかし、一定であるのは、あくまでも効用関数形の仮定のためにすぎない。つまり、交通時間の変化に対する交通時間価値は、必ずしも一定とは限らない。だが、交通時間と交通時間価値との関係については、実データを用いた研究は限られている。

そこで、本研究は、非線形効用関数に基づく離散選択モデルを用いて、観光目的交通の交通時間と交通時間節約価値との関係を、我が国の実データを用いて分析することを目的とする。2章では交通時間節約価値に関する既往研究をレビューし、3章では交通時間と交通時間節約価値との関係に関する基礎分析を行う。4章では非線形効用関数とそれに基づく交通時間節約価値を導出し、これに基づいて、5章では都市間交通機関選択のデータを

用いて、交通時間と交通時間節約価値との関係を分析する。最後に第6章において本研究から得られた成果と政策への示唆を整理すると共に、今後の研究課題について述べる。

2——交通時間節約価値に関する既往研究

2.1 交通時間節約価値の定義

まず、時間価値に関する研究は、Becker¹⁾およびその後の様々な関連研究^{2) - 6)}における時間配分モデルをベースに発展してきた。それらの中でも、DeSerpa^{7), 8)}は、時間価値に関わるものとして、「時間節約価値」(value of saving time)を提唱している。時間節約価値とは、直接的には、「時間消費に関する制約条件を変更するとき、これによって生み出される効用の増加分を相殺し、元の効用水準に引き戻すために必要な所得水準の減少分」と定義できるものである。

以下、交通行動を念頭に置いた簡単なモデルを用いて、交通の時間節約価値(Value of Travel Time Saving: VTTS)を説明する。また、後の実データを用いた分析では観光交通を対象とするが、観光活動は非労働日に行われるものと考え、消費者の所得は外生的に与えられるものと仮定する。

このとき、次のような効用最大化問題を考える。ここでは、交通サービス以外の財は、唯一の合成財として取り扱

われる一方で、交通サービスは複数あることを想定する。

$$\underset{X, T, \mathbf{x}, \mathbf{t}}{\text{Maximize}} U = U(X, T, \mathbf{x}, \mathbf{t}) \quad (1a)$$

$$\text{subject to } PX + \sum_i c_i x_i = I \quad [\lambda] \quad (1b)$$

$$T + \sum_i t_i x_i = T^0 \quad [\mu] \quad (1c)$$

$$t_i \geq \hat{t}_i \quad \text{for } \forall i \quad [\kappa_i'] \quad (1d)$$

ただし、 X : 合成財の消費量; T : 合成財の消費に要する時間; $\mathbf{x}$: 交通サービスの消費量ベクトル; $\mathbf{t}$: 交通時間ベクトル; P : 合成財の価格; t_i : i 番目の交通サービスの交通時間; c_i : i 番目の交通サービスの価格; I : 予算制約; T^0 : 時間制約; $\hat{t}_i$: i 番目の交通サービスの最小交通時間; λ , μ , κ_i' : 各制約式に対応するラグランジュの未定乗数である。なお、直接効用関数は、合成財の消費量および消費時間に関して増加関数で、かつ交通サービスの消費量および交通時間に関して減少関数であるものと仮定する。

ここで、この消費者の間接効用関数を v とすると、交通時間節約価値式は、先の定義より、以下のように導出される(導出の詳細については、付録1を参照のこと)。

$$-\frac{\partial v / \partial \hat{t}_i}{\partial v / \partial I} = \frac{\kappa_i'^*}{\lambda^*} \quad (2)$$

ところで、最適解の一階条件の一部より、

$$\frac{\kappa_i'^*}{\lambda^*} = x_i^* \frac{\mu^*}{\lambda^*} - \frac{\partial U / \partial t_i|_{U^*}}{\lambda^*} \quad (3)$$

が得られる。つまり、左辺の交通時間節約価値は、右辺の2つの項に分解することができる。DeSerpaは、 $x_i^* = 1$ のケースを想定した上で、右辺の第1項を「資源としての時間価値」(value of time as a resource)、第2項を「商品としての時間価値」(value of time as a commodity)とそれぞれ呼んだ。つまり、「交通時間節約価値」=「資源としての時間価値」-「商品としての時間価値」が成立する。

ここで、「交通時間節約の価値」の意味は次のように説明できる。モデルに導入された制約条件式(1d)は、「時間消費制約」と呼ばれるものである。これは、特定の交通サービスを消費する場合に、最小限必要な時間が存在するという制約であり、交通サービス消費に関する技術的あるいは制度的な制約であると解釈できる。ここで、交通投資プロジェクトを、「時間消費制約を緩和する行為」と考えると、ラグランジュ乗数 $\kappa_i'^*$ は、「時間消費制約条件の緩和によって発生する限界的な効用」を表すことになる。これを、所得に関する限界効用 λ^* で除すことは、時間消費制約条件の緩和効果を金銭ベースに変換していることに相当する。つまり、交通時間節約価値は、交通プロジェクトによる時間消費制約の緩和効果、いわゆる時間短縮効果を金額換算したものということになる。こ

のことから、便益として評価するための重要な数値であることが理解できる。

2.2 離散選択モデルにおける交通時間節約価値

離散選択モデルを用いた場合であっても、先の枠組みを援用することにより、交通時間節約価値を導出することができる^{9), 10), 11)}。離散選択モデルでは、消費者の行動に対して、「 i 番目のサービスが1単位消費され、それ以外のサービスは消費されない」という条件を課すことによって、まず条件付き間接効用関数を設定した上で、次に、離散的に効用が最大となるサービスが選択される、という2段階の最適化が想定される。

ここで、 i 番目の交通サービスが選択される条件下での間接効用関数を v_i とすると、

$$\frac{\kappa_i'^*}{\lambda^*} = \frac{\partial v_i / \partial \hat{t}_i}{\partial v_i / \partial c_i} \quad (4)$$

が成立する(導出の詳細については、付録2を参照のこと)。したがって、条件付き間接効用関数をベースにして、最小交通時間に関する限界効用と交通費用に関する限界効用との比を求めることにより、交通時間節約価値式が導出される。つまり、離散選択行動モデルから、時間配分モデルと整合的な交通時間節約価値を求めることが可能となる。

2.3 交通時間と時間価値との関係に関する研究

最後に、本研究の主な関心事項である、交通時間と時間価値との関係に関する既往研究をレビューする。

まず、主に英国における過去の様々な交通時間価値の実証分析結果をマクロに分析することによって、交通時間と時間価値との関係を調べている研究がある^{12), 13), 14)}。各種要因を用いた時間価値を説明する重回帰分析の結果から、移動距離が長いほど、交通時間価値は増加する傾向にあることが報告されている。

一方で、消費者の効用最大化行動を明示的に考慮した分析も多く行われている。特に、効用関数の非線形性を仮定する、あるいは特定の関数形を仮定しない枠組みに基づいた研究に着目すると、まず、理論的には、河野・森杉¹⁵⁾が、私的交通を対象として、Becker¹⁾のモデルに近い消費者モデルを用いて時間配分行動を定式化し、時間価値に関する比較静学的な分析を行っている。その結果、交通時間の増加と共に時間価値は増加するという結論を得ている。また、このモデルをもとにして、買物交通の時間価値を計測し、交通時間との関係を実データにより分析している¹⁶⁾。ただし、これらのモデルでは、時間価値として「資源としての時間価値」のみに着目し、「商品としての時間価値」は考慮されていないという課題がある。この

研究成果をベースにして、Jiang and Morikawa¹⁷⁾は、「資源としての時間価値」と「商品としての時間価値」の両方を考慮した交通時間節約価値と、交通時間との関係について理論的な分析を行い、その結果から、交通時間の増加に伴って、理論的には交通時間節約価値が増加にも減少にもなりうることを示している。これに対して、森川ら¹⁸⁾は、効用関数が交通時間のべき乗に比例するという仮定を設け、SPデータから離散選択モデルのパラメータ推定を行っている。その結果、交通時間の増加とともに交通時間節約価値は増加していく、という結果を得ている。一方で、Hultkrantz and Mortazavi¹⁹⁾は、心理学的な知見をもとにして、2項選択モデルの効用差を交通時間、交通費用、交通時間差、交通費用差の非線形関数と仮定し、SPデータを用いて交通時間節約価値を求めている。この研究では、分析の結果、交通時間の増加と共に交通時間節約価値が減少する可能性を示している。Hensher²⁰⁾は、間接効用関数中の交通時間に係わるパラメータが、交通時間や交通費用の関数であるという仮定を置くことで、結果的に交通時間と交通費用の交差効果を考慮できる間接効用関数を用い、交通時間節約価値を求めている。その結果、交通時間の増加と共に、交通時間節約価値が減少する可能性を示唆している。加藤・今井²¹⁾は、都市内余暇交通を対象として、時間配分モデルを用いて交通時間節約価値を実データにより分析し、交通時間とともに交通時間節約価値は、ケースによって増加にも減少にもなりうることを示している。

以上のように、交通時間と交通時間節約価値との関係については、さまざまな異なる見解と実証分析の結果が出されている。本研究は、Jiang and Morikawa¹⁷⁾が、効用関数形に特定の仮定を置かない限り、理論的にはアприオリに決定できないと結論づけている、交通時間と交通時間節約価値との関係を、我が国の都市間観光目的交通の実データを用いた分析によって、明らかにするものと位置づけられる。

3——交通時間と交通時間節約価値との関係に関する基礎分析

DeSerpa⁷⁾の定義に従えば、交通時間節約価値は、「資源としての時間価値」と「商品としての時間価値」の2つに分解することができる。このとき、交通時間の変化は、これら2つの時間価値に対してそれぞれ異なる影響を及ぼすことが考えられる。また、交通時間節約価値は、資源としての時間の限界効用 μ^* 、商品としての時間の限界効用 $\partial U/\partial t_i$ 、所得に関する限界効用 λ^* の3つの要素から構成されている。したがって、交通時間の変化がこれら3要

素へ与える影響をそれぞれ検討する必要がある。以下では、所得に関する限界効用が一定と仮定する場合と、一定でないと仮定する場合の2つの場合について、交通時間の変化が、どのように上記の3要素を介して交通時間節約価値に影響を与えるかについて、それぞれ基礎的な検討を行うこととする。なお、以下の検討では、制約時間ならびに所得は、ともに所与で一定という前提をおく。

3.1 所得に関する限界効用 λ^* が一定の場合

この場合には、「資源としての時間」の限界効用 μ^* と、「商品としての時間」の限界効用 $\partial U/\partial t_i$ の2つが、交通時間の変化に伴ってどのような挙動をするのかを検討すればよい。

まず、交通時間の変化が「資源としての時間」に与える影響としては、交通時間減少が合成財消費時間増加に与える影響が考えられる。ここで、効用関数形の仮定より、合成財消費時間が増加するにつれて効用は増加するが、その限界効用がどのような特性を持つかは、理論的にはアприオリに決められない。仮に、合成財消費時間に関する限界効用が逡減すると仮定すると、「資源としての時間」に関する限界効用 μ^* は、交通時間が短いときには小さいが、交通時間が長くなると大きくなる。だが、仮に合成財消費時間の限界効用が逡増するならば、「資源としての時間」に関する限界効用 μ^* は、交通時間が短いときには大きく、交通時間が長くなると小さくなる。また、合成財消費時間に関する限界効用が一定ならば、交通時間によらず一定となる。

次に、交通時間の変化が「商品としての時間」に与える影響を考えると、交通時間減少が、移動自体によって発生する不効用を減少させることが予想される。交通時間そのものから発生する不効用としては、移動中の肉体的疲労、不快感、退屈感等が該当する。効用関数形の仮定より、交通時間が増加するにつれて効用は低下するが、やはりその限界効用の特性についてはアприオリに決められない。例えば、長時間移動する旅行者が、「長時間の移動で疲れて仕方がないので、たとえ1分でもよいから交通時間が短くなって欲しい」と感じることもありうるし、一方で、「一定時間以上、交通時間が長ければ、1分くらい短くなったも大して疲れは変わらない」と感じるかもしれない。もし、交通時間に関する限界不効用が逡増ならば、「商品としての時間」に関する限界効用 $\partial U/\partial t_i$ (< 0)の絶対値は、短時間旅行では小さく、長時間旅行では大きくなる。逆に、交通時間に関する限界不効用逡減ならば、「商品としての時間」に関する限界効用 $\partial U/\partial t_i$ の絶対値は、短時間旅行では大きく、長時間旅行では小さくなる。また、交通時間に関する限界効用が一定の場合には、交

通時間によらず商品としての時間に関する限界効用は一定となる。

したがって、所得に関する限界効用 λ^* が一定の場合であっても、資源としての時間ならびに商品としての時間に関する限界効用の特性によって、交通時間と交通時間節約価値との関係には多様な可能性がある。

3.2 所得に関する限界効用 λ^* が一定でない場合

次に、所得に関する限界効用 λ^* が一定でない場合を検討してみる。仮に、所得に関する限界効用 λ^* は逓減するものと仮定してみよう。この場合でも、交通時間の減少は、所得に対する影響という点からみれば、交通費用削減に伴う支出減少と、交通以外の活動時間増加による支出増加という2つの正反対の影響を及ぼしうる。しかし、いずれの影響の方が大きいのかは、アприオリにはわからない。両者のトレードオフによって、所得に関する限界効用の挙動が決まるものと考えらるならば、交通時間増加によって、所得に関する限界効用は、原理的には、増加と減少の2ケースの可能性があることが推察される。この2種類の所得に関する限界効用の変化を、所得に関する限界効用が一定の場合と組み合わせると、その結果として得られる交通時間節約価値には、さらに多様な可能性がある。

3.3 基礎分析の結果と実データを用いた分析の必要性

以上のように、効用関数の特性に応じて、交通時間と交通時間節約価値との関係には、多くの可能性があることが示された。しかし、現実にはどのような関係が見られるのかについては、実データを用いた分析に委ねざるを得ないと考えられる。また、式(4)からも明らかなように、離散選択モデルを前提とする場合、交通時間に関する限界効用と交通費用に関する限界効用の比によって、交通時間節約価値が求められる。そのため、結局は、間接効用関数の形状に依存して、交通時間と交通時間節約価値との関係が決定されることになる。そこで、以下では、非線形効用関数を用いることにより交通時間節約価値式を導出し、それと交通時間との関係を分析することとする。

4——非線形効用関数に基づく交通時間節約価値

離散選択モデルの定式化およびBlayac and Causse²²⁾の議論をベースにして、線形および非線形の効用関数を用いる。なお、交通時間と交通費用の変数は相互に独立であることを仮定する。

ここでは、直接効用関数をTaylor展開し、1次、2次、3次項までの近似式として表すことを考える。ここで、先の

考察にしたがって、2次項までの近似式を用いる場合については、所得に関する限界効用が一定のケースと、そうでないケースの両方について検討する。また、3次項までの近似式を用いる場合には、所得に関する限界効用が一定のケースのみを検討することとする。

具体的な効用関数の近似式の導出は、付録3に示される通りである。導出された条件付き間接効用関数の近似式を用いて、各ケースに対し、交通時間節約価値を求めると、次のようになる。

【1次近似のケース】

$$VTTS_{1-i} = \frac{\theta_{1-t}}{\theta_{1-c}} \quad (5a)$$

【2次近似のケース】

$$VTTS_{2-i} = \frac{\theta_{2-t} + 2\theta_{2-t2}\hat{t}_i + \theta_{2-ct}c_i}{\theta_{2-c} + 2\theta_{2-c2}c_i + \theta_{2-ct}\hat{t}_i} \quad (5b)$$

【2次近似+所得に関する限界効用一定のケース】

$$VTTS_{2c-i} = \frac{\theta_{2c-t} + 2\theta_{2c-t2}\hat{t}_i}{\theta_{2c-c}} \quad (5c)$$

【3次近似+所得に関する限界効用一定のケース】

$$VTTS_{3c-i} = \frac{\theta_{3c-t} + 2\theta_{3c-t2}\hat{t}_i + 3\theta_{3c-t3}\hat{t}_i^2}{\theta_{3c-c}} \quad (5d)$$

ここで、 θ はパラメータを表す。1次近似の場合には、交通時間節約価値は一定値となる。また、2次以上の近似の場合には、所得に関する限界効用が一定の場合、交通時間によって交通時間節約価値が変化する。一方、所得に関する限界効用が一定でない場合には、交通時間節約価値は交通時間と交通費用の両方の影響を受ける。

なお、表記の都合上省略しているが、式(5b, c, d)中の一部のパラメータは、本来、所得と制約時間の関数である。したがって、交通時間節約価値も、当然ながら、両者の関数として表される。つまり、個人の所得水準や制約時間によって、交通時間節約価値は異なるべきものである。ただし、5章の実データを用いた分析では、所得と制約時間に関する個人間の異質性を考慮しない。そのため、5章の分析により統計的に推定されるパラメータは、代表的個人の選好を表現したものと解釈できる。

5——観光目的都市間幹線交通における機関選択データを用いた事例分析

5.1 使用データの概略と分析のケース設定

交通時間節約価値の分析に使用できる交通行動データとしては、様々なものが考えられる^{注1)}。本研究では、第3回幹線旅客純流動調査(平成12年、国土交通省、(財)運輸政策研究機構)のデータから抽出した観光目的の代表交通機関利用に関する実績データを用いることとする。

ここで、都市内交通を対象としなかった理由は、第一に、我が国の都市内の私的交通については、既に実データを用いた事例分析が行われているからである。第二に、通勤・通学目的の交通については、Small²³⁾も指摘するように、居住地選択や時刻選択等の関連行動とも密接に関連することから、本研究で使用する時間配分モデルの枠組みで取り扱うことが適切でない可能性があるからである。第三に、都市内の業務交通については、企業が交通費用を負担するケースが多いため、旅行者の交通費用の感度が歪む可能性を懸念したからである。また、都市間の出張目的の交通を分析対象から排除した理由は、都市内業務交通と同様に、交通費用が企業によって負担されるために、旅行者の交通費用の感度が歪む可能性を懸念したからである。

なお、本研究で分析を行う観光目的都市間幹線交通の代表交通機関としては、航空、鉄道、バス、自家用車の4種類を考慮する。データサンプリングに当たっては、マスターデータより3,000サンプルをランダムに抽出して使用する。全サンプルデータの各代表交通機関に対して、アクセス・イグレスも含めた地方生活圏207ゾーン間での交通時間と交通費用のデータをそれぞれ設定する。なお、使用

した交通サービス水準データの設定方法は表—1の通りである。これは、運輸政策審議会答申第20号の全国幹線交通需要予測において用いられた交通サービスデータ設定方法を適用したものである。データ設定の根拠については、関連文献^{24), 25)}を参考にされたい^{注2)}。

5.2 未知パラメータの推定

5.2.1 ケース設定

ここでは、乗車時間にアクセスやイグレス等の時間も加えた「交通時間」と、「交通費用」の2つの変数のみを用い^{注3)}、以下の4ケースについて分析を行うこととする。

- ・1次近似(線形)の間接効用関数を用いるケース
- ・所得に関する限界効用一定の条件の下で、2次近似の間接効用関数を用いるケース
- ・所得に関する限界効用一定という条件下で、3次近似の間接効用関数を用いるケース
- ・所得に関する限界効用が一定でない条件下で、2次近似の間接効用関数を用いるケース

これら4ケースに対して、同一の利用実績、交通サービスデータを適用し、離散選択モデルによって未知パラメータの推定を行うこととする。

■表—1 事例分析で使用する都市間幹線交通サービスデータの設定方法

(1) 航空の交通サービスデータ	
(a) 空港および路線	2000年10月の時刻表による。
(b) 運賃：2001年10月の時刻表による	2000年10月の時刻表による。
(c) 時間	
・空港間の幹線所要時間	2000年10月の時刻表による。
・ゾーン中心から空港までのアクセス・イグレス時間	ゾーン中心は基本的に市役所・役場所在地。居住地側は自動車。目的地側は鉄道・バス等の公共交通機関による所要時間とする。ただし、3大都市圏では居住地側も公共交通機関利用とする。
・出発前待ち時間	一律40分とする。
・到着後待ち時間	一律20分とする。
・航空同士の乗換時間	乗り換え1回あたり30分とする。
(2) 鉄道の交通サービス	
(a) 路線	2000年10月の時刻表による。
(b) 運賃	2000年10月の時刻表による。
(c) 時間	
・駅間の幹線所要時間	2000年10月の時刻表による。
・ゾーン中心から最寄り駅までのアクセス・イグレス時間	ゾーン中心は基本的に市役所・役場所在地。最寄り駅まで1.5km以内は徒歩とするが、それを超える場合は居住地側は自動車。目的地側は鉄道・バス等の公共交通機関による所要時間とする。ただし、3大都市圏では居住地側も公共交通機関利用とする。
・待ち時間	初乗り駅の待ち時間は15分とする。
・鉄道同士の乗換時間	乗り換え1回あたり20分(乗り換え時の待ち時間を含む)とする。ただし、優等列車同士の乗り継ぎダイヤが設定されている場合は、ダイヤ上の標準的な乗り継ぎ時間とする。
(d) 列車種別について	基本的に、幹線部は新幹線・在来特急の利用とする。幹線以外は、すべてアクセス・イグレスとして扱う。
(3) 高速バスの交通サービスデータ	
(a) 高速バス停間の幹線所要時間	2000年10月の時刻表による。
(b) 運賃	2000年10月の時刻表による。
(c) 時間	
・ゾーン中心から最寄り高速バス停までのアクセス・イグレス時間	居住地側は自動車。目的地側は鉄道・バス等の公共交通機関による所要時間とする。ただし、3大都市圏では居住地側も公共交通機関利用とする。
・待ち時間およびバス同士の乗換時間	乗り換え1回あたり15分とする。
(4) 自動車(高速道路利用)の交通サービスデータ	
(a) 費用	
・高速道路料金	23円/km×高速道路距離+150円で算定。ただし距離による割引を考慮。
・走行経費	22.26円/台km×走行距離で算定。
(b) 時間	
・高速道路の走行時間	90km/h(ただし3大都市圏内は60km/h)として算定。
・一般有料道路・都市高速の走行時間	40km/hとして算定。
・休憩時間	走行距離×(30分/200km)で算定。
・ゾーン中心から最寄りICまでのアクセス・イグレス時間	最短所要時間ルートで設定。ICまでのアクセス・イグレス部と幹線部分を特に区分しない。
(c) その他	平均乗車人員を1.7人/台と設定。
(5) 自動車(一般道路利用)の交通サービスデータ	
(a) 費用	走行経費のみを計上。算定方法は高速道路と同一。
(b) 時間	
・走行時間：国道・県道・その他	30km/h(ただし3大都市圏内は25km/h)として設定。
・休憩時間	走行距離×(30分/200km)で算定。
(c) その他	平均乗車人員を1.7人/台と設定。

5.2.2 パラメータ推定結果

離散選択モデルとしては、効用関数の誤差項にi.i.d.ガソネルを仮定する、多項ロジット(Multinomial Logit: MNL)モデルを適用する。各ケースの未知パラメータの推定結果は、表—2に示す通りである。この結果より、すべてのケースの全ての変数について1%水準で有意であり、かつモデル全体の適合度も十分に高いことが読み取れる。また、変数の符号も整合的と考えられる。なお、サンプルデータのランダム抽出は、合計6回試行しているが、いずれの場合でもほとんど同一の推定結果が得られている。

5.2.3 各ケースの交通時間節約価値の推定

パラメータの推定結果をもとに、各ケースの交通時間節約価値を求めることとする。

(1) 1次近似のケース

1次近似の場合には、交通時間節約価値は一定値として165.9円/分が得られる。

(2) 所得に関する限界効用一定の2次近似のケース

表—2ならびに式(5c)より、交通時間節約価値は、

$$VTTS_i = \frac{1.11 - 0.00043\hat{t}_i}{0.00576} \quad (6)$$

となる。このケースの交通時間と交通時間節約価値との関係を、交通時間が0～600分の範囲で図示したものが

図—1である。これより、交通時間とともに交通時間節約価値は減少することが読み取れる。

(3) 所得に関する限界効用一定の3次近似のケース

表—2ならびに式(5d)より、交通時間節約価値は、

$$VTTS_i = \frac{1.64 - 0.0026\hat{t}_i + 0.00882 \times 10^{-4} \cdot \hat{t}_i^2}{0.00527} \quad (7)$$

となる。これを先と同様に図示したものが、図—2である。

これより、2次近似のケースと同様に交通時間増加とともに交通時間節約価値は減少すること、ならびに3次近似のケースの方が、交通時間増加による交通時間節約価値の減少程度、言い換えれば傾きの絶対値が大きいことが読み取れる。

(4) 所得に関する限界効用一定でない2次近似のケース

表—2ならびに式(5b)より、交通時間節約価値は、

$$VTTS_i = \frac{1.19 - 0.00183\hat{t}_i + 0.0000566c_i}{0.0164 - 0.00000154c_i + 0.0000566\hat{t}_i} \quad (8)$$

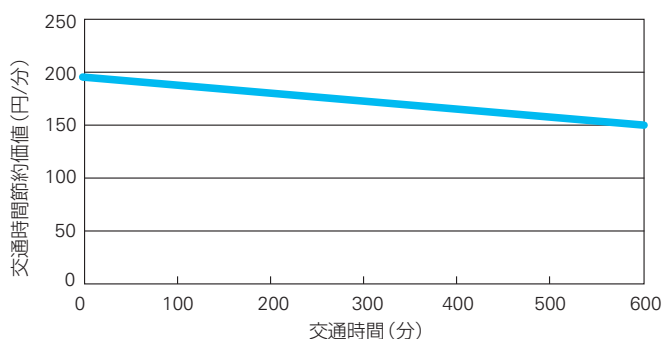
となり、交通時間節約価値は、交通時間と交通費用の両方の影響を受ける。

ここで、交通時間と交通費用との関係は、交通手段によって相当異なることが予想される。そこで、選択実績の多い鉄道、航空、自動車について、交通時間と費用の実績データを吟味してみる。その様子を示したものが、

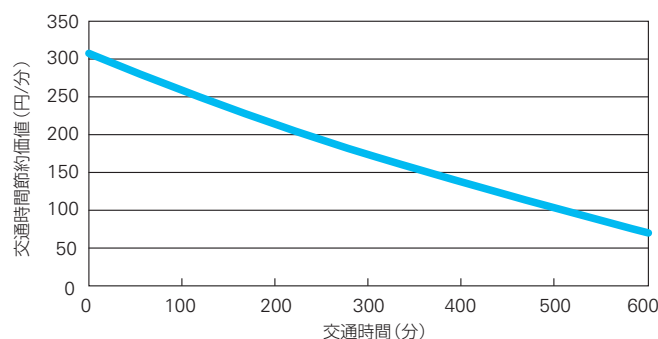
■表—2 各ケースのパラメータ推定結果(いずれもMNLモデルで同一データセットを使用)

所得の限界効用入 変数名	1次近似のケース 一定				2次近似のケース 一定		3次近似のケース 一定		2次近似のケース 一定でない	
	単位	記号	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
交通費用×10 ⁻²	円	c	-0.00528	(-5.75***)	-0.00576	(-6.18***)	-0.00527	(-5.67***)	-0.0164	(-6.08***)
交通時間	分	t	-0.00876	(-26.4***)	-0.0111	(-27.4***)	-0.0164	(-18.2***)	-0.0119	(-26.6***)
(交通費用) ² ×10 ⁻⁶	円 ²	c ²							0.00768	(12.8***)
(交通費用)×(交通時間)×10 ⁻⁴	分円	c*t							-0.00566	(-12.7***)
(交通時間) ² ×10 ⁻⁴	分 ²	t ²			0.0215	(20.7***)	0.130	(9.13***)	0.0914	(16.7***)
(交通時間) ³ ×10 ⁻⁶	分 ³	t ³					-0.00294	(-5.53***)		
初期対数尤度		L(0)	-3394.3		-3394.3		-3394.3		-3394.3	
最終対数尤度		L*(x)	-2259.8		-2218.8		-2164.1		-2059.3	
自由度調整済み尤度比			0.334		0.346		0.362		0.393	
サンプル数			3,000		3,000		3,000		3,000	

***: 1%有意, **: 5%有意, *: 10%有意



■図—1 交通時間と交通時間節約価値との関係
(所得の限界効用一定・2次近似のケース)



■図—2 交通時間と交通時間節約価値との関係
(所得の限界効用一定・3次近似のケース)

図—3～5である。いずれも、交通時間の増加に伴って交通費用は増加する傾向にあるように読み取れるが、一方で、両者の関係にはかなりのばらつきがあることも確かである。例えば、自動車については、データ設定時に距離に比例するコストが設定されていたが、高速道路と一般道路とでコストがかなり異なることから、結果としては同一交通時間であってもかなり交通費用にばらつきのある結果が得られている。

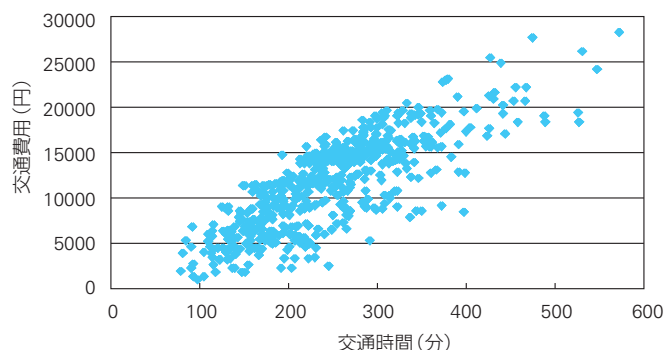
次に、これらの関係を用い、式(8)の交通時間節約価値算定式を適用して、交通時間と交通時間節約価値との関係を鉄道、航空、自動車について、0～600分の範囲でシミュレートした結果を示したものが、図—6～8である。これらの図は、サンプルデータの選択実績に基づいて、各交通機関を選択したサンプル利用者の交通時間と交通時間節約価値との関係を、交通機関別に図示し

たものである。これらより、鉄道と航空については、交通時間と交通時間節約価値との間に明確な関係が見られないが、一方で、自動車については交通時間とともに交通時間節約価値が減少する傾向が見てとれる。

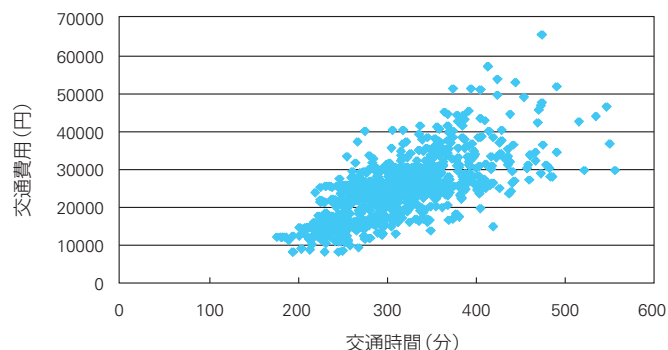
5.2.4 分析結果に対する考察

(1) 交通時間節約価値の推定値に関する考察

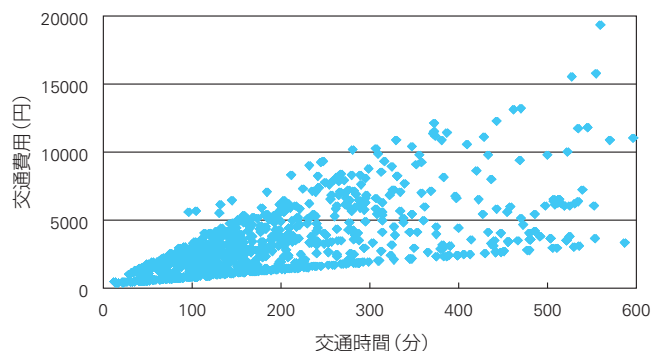
所得に関する限界効用一定を仮定した場合では、いずれの近似式を用いる場合も、サンプルデータの平均交通時間248.9分に対する交通時間節約価値が150円/分を超えている。一方で、所得に関する限界効用が一定でない場合(図—6～8)では、例えば、鉄道と自動車については、平均交通時間(鉄道：278.2分、自動車：219.4分)に対する交通時間節約価値は、いずれも80円/分を下回っている。交通時間節約価値の妥当性を検討する上



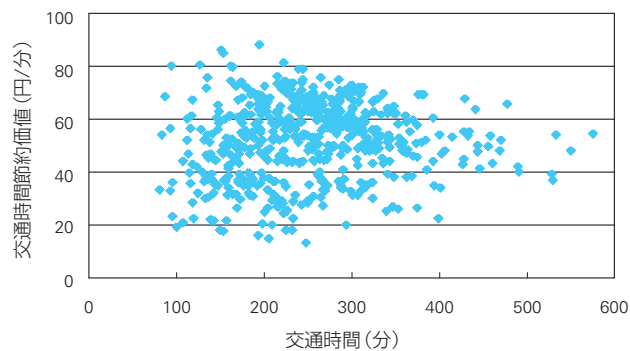
■図—3 鉄道利用サンプルデータの交通時間と交通費用との関係



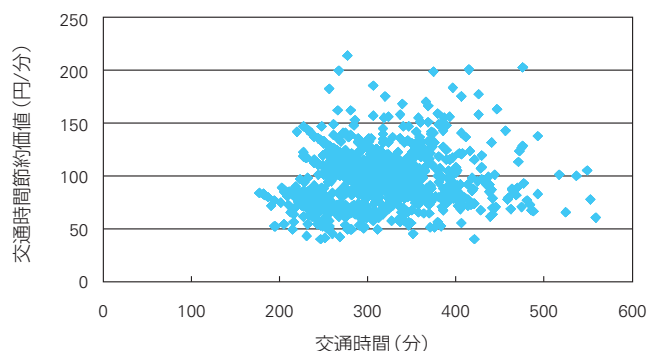
■図—4 航空利用サンプルデータの交通時間と交通費用との関係



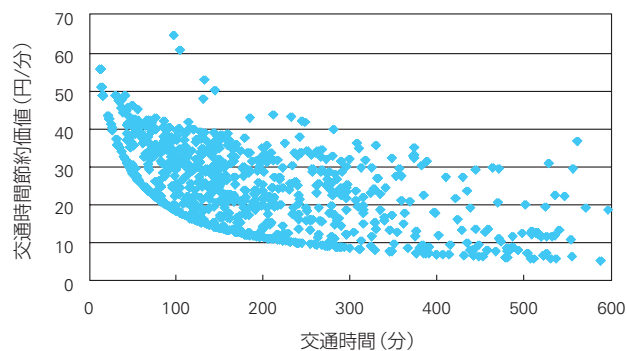
■図—5 自動車利用サンプルデータの交通時間と交通費用との関係



■図—6 交通時間と交通時間節約価値との関係(鉄道)
(所得の限界効用一定でない・2次近似のケース)



■図—7 交通時間と交通時間節約価値との関係(航空)
(所得の限界効用一定でない・2次近似のケース)



■図—8 交通時間と交通時間節約価値との関係(自動車)
(所得の限界効用一定でない・2次近似のケース)

で、平均労働賃金率との比較が一つの目安と考えられる。我が国の平均労働賃金が37.6円/分(2002年)であることを鑑みれば、所得に関する限界効用一定の場合の交通時間節約価値の推定結果は、やや高すぎるように思われる一方で、所得に関する限界効用が一定でない場合の値は、かなり現実的な結果と考えられる。また、後者の場合において、交通時間節約価値を交通機関間で比較すると、航空、鉄道、自動車の順番に大きい結果が得られており、高速かつ高費用の交通機関ほど、高い交通時間節約価値となっている点も、妥当な結果と考えられる。以上より、少なくとも、今回用いたデータから推定される交通時間節約価値の大小の観点から見ると、個人の所得に関する限界効用が一定でないという仮定を置く方が、より現実的である可能性が高いといえる。

(2) 交通時間と交通時間節約価値との関係に関する考察

(a) 考察に当たっての基本的な考え方

実データを用いた分析では、実際の消費者の選択行動結果をデータとして使用しているため、それらの結果から交通時間と交通時間節約価値との関係を考察するにあたっては、3章で行った基礎分析に加えて、使用データのバックグラウンドにある、交通時間制約価値に影響を及ぼしうる様々な要因を加味する必要があると考えられる。例えば、3章の基礎分析では、消費者の所得や時間の制約は所与かつ一定という前提がおかれていたが、現実には、消費者は、これらの制約をある程度変更することが可能と考えられる。また、基礎分析のモデルでは目的地の選択が明示的に取り扱われていないが、使用しているデータは、当然ながら、目的地選択の結果が反映されたものとなっている。さらに、都市間交通の特性として、移動中の負担を軽減するための様々なサービスの存在が人々の行動特性に影響を与えることも考えられる。これらを鑑み、交通時間の変化に伴って、これらの要因がどのように変化するかを考慮に入れた考察を行うこととする。ただし、本研究の分析で得られた結果は、あくまでも旅行者の時間価値であるので、以下の考察においては、消費者は必ず旅行を行うものとし、また、交通時間の変化によって交通発生需要は影響を受けないものと仮定する。つまり、現在の自由時間制約内に、旅行を取りやめたり、旅行回数を増加させたりすることは考えない。

(b) 所得に関する限界効用 λ^* が一定の場合

所得に関する限界効用が一定の場合についてみてみる。交通時間増加に伴って交通時間価値が減少する直接的原因は、「資源としての時間」の限界効用と「商品としての時間」の限界効用の挙動にかかっている。そこで、これら2つの限界効用の挙動を検討する必要がある。

まず、「資源としての時間」の限界効用 μ^* の挙動の要因について検討する。ここでは、少なくとも次の3つのケースを考慮すべきであろう。第一は、時間制約条件と目的地がともに固定の場合である。このケースでは、交通時間の増加によって時間制約が緊張する。すると、観光時間に関する限界効用逓減を仮定する限りは、「資源としての時間」に関する限界効用 μ^* は増加することが期待される。このケースの結論は、河野・森杉¹⁵⁾によっても、既に示されている点である。ただし、観光時間に関する限界効用が逓増の場合には逆の結論が得られる。この妥当性については、本研究の分析結果からはわからない。第二は、時間制約条件が所与だが、目的地を自由に選択できるケースである。一般に、人々は移動先での活動の価値が最大となる場所を、合理的に選択していると考えられるので、わざわざ長い時間をかけて移動するということは、その移動先は、長い移動時間に見合うだけの高価値の活動を行える場所であることを意味する。このような場合については、交通時間が長くなるほど、観光時間による限界効用は大きくなる可能性がある。第三は、時間制約条件を変更できるケースである。一般的に、交通時間が一定以上長くなると、移動先における滞在時間も長くなることがある。例えば、交通時間の短い場合には日帰り旅行となるが、長時間旅行になると旅行先で宿泊することがありうる。このケースでは、交通時間がある一定以上長くなると、時間制約が緩和されることになる。すると、交通時間の増加によって、「資源としての時間」に関する限界効用 μ^* は減少する可能性が出てくる。ただし、今回の使用データには、旅行者の自由時間制約に関するデータが存在しないので、この点に関する検証を行うことはできない。

次に、「商品としての時間」の限界不効用 $\partial U / \partial t_i$ について検討してみる。ここでは、次の2つの要因を指摘できる。第一は、3章でも述べた交通時間に伴う肉体的、精神的な負担による影響である。ただし、これについては、交通時間増加に伴って、限界不効用が増加にも減少にもなりうる。第二は、旅行時間がある一定以上長くなると、事前に座席予約をしたり、グリーン車やビジネスクラスの座席を確保したりするなど、交通時間による不効用回避を行う可能性である。第二の場合については、「商品としての時間」の限界不効用は、交通時間の増加とともに減少する可能性がある。

以上をまとめると、所得に関する限界効用が一定と仮定する場合に、交通時間増加とともに交通時間節約価値が減少する要因となりうるのは、①観光時間に関する限界効用逓増の場合、あるいは消費者の時間制約の変更行動によって、「資源としての時間」に関する限界効用が、交

通時間増加とともに減少する場合と、②交通時間に関する限界不効用逓減の場合、あるいは移動負担軽減のための計画的行動によって、「商品としての時間」の限界不効用が、交通時間増加とともに減少する場合と考えられる。

(c) 所得に関する限界効用 λ が一定でない場合

次に、所得に関する限界効用が一定と仮定する場合の分析結果を前提として、所得に関する限界効用が一定でないと仮定する場合の結果を考察してみる。以下では、所得に関する限界効用逓減を仮定する。

分析結果の関係が成り立つためには、所得に関する限界効用が一定の場合の要因に加えて、交通時間増加にしたがって、自動車利用の場合には、所得制約が不変あるいは緊張し、鉄道、航空利用の場合には所得制約が緩和されることが説明されなければならない。これに対して、次の3つの可能性が挙げられる。第一は、自動車で旅行する場合には、 $|$ 単位観光時間あたり消費金額 $| < |$ 単位交通時間あたりの交通費用 $|$ が成立するが、鉄道や航空で旅行する場合にはこの逆が成立するという可能性である。この場合、例えば、同一観光時間であっても、鉄道や航空利用時には、自動車利用時よりも消費金額が大きくなければならない。第二は、自動車で移動する場合には、交通時間が長くなっても旅行のための予算を変更することはないが、鉄道や航空で移動する場合には、長時間旅行するほど旅行のための予算を増やすという可能性である。第三は、自動車で移動する旅行者については、交通時間と所得との間に特定の関係がないが、鉄道や航空で移動する旅行者については、長時間旅行する者ほど高所得であるという可能性である。ただし、これらの可能性はあくまでも仮説にすぎない。これらの妥当性を検証するためには、交通機関別の交通時間と所得との関係、あるいは予算計画との関係に関する分析が行われなければならない。だが、これらのデータは、現時点では入手が困難であることから、別途検討が行われるべきであると考えられる。

6——おわりに

本研究では、まず、交通時間と交通費用を変数とする非線形効用関数を用いたMNLモデルを定式化し、観光目的の都市間交通機関選択行動に関する実データを適用して未知パラメータの推定を行った。次に、その結果に基づき、交通時間節約価値を求め、交通時間と交通時間節約価値との関係を分析した。分析の結果、所得に関する限界効用一定を仮定すると、交通時間の増加に伴って交通時間節約価値が減少することが明らかとなった。この原因は、十分に特定できていないわけでは、仮説と

して、消費者の時間・予算制約の変更可能性や都市観光交通の特性等を指摘している。また、所得に関する限界効用が一定でないと仮定する場合でも、自動車利用については、交通時間の増加とともに交通時間節約価値が減少すること、ならびに鉄道や航空については明確な傾向が見られないという結果が得られた。この原因についても、5章において、3つの仮説を提示した。これらの結果は、表明選好 (Stated Preference: SP) データを用いた一部の既往研究成果¹⁸⁾とは正反対のものである。ただし、この背景としては、次のような使用されるデータの特性による影響を考慮すべきと考えられる。SPデータを用いる場合には、調査実施者が、調査において被験者に提示する交通環境条件(予算・時間制約、交通機関のサービス水準等)を、分析モデルで仮定される範囲内に収まるよう調整可能である。その一方で、本研究で用いているような顕示選好 (Revealed Preference: RP) データを用いる場合には、分析者が交通環境条件の調整を行えないために、観測される行動実績が、分析モデルで仮定される交通環境条件の範囲を超える諸要因による影響を受けてしまう可能性がある。当然ながら、実際の消費者は、管理された調査環境下ではない状況で行動するのであるから、交通プロジェクト評価においても、交通環境条件の選択・調整をも含めた、より広い観点から消費者行動を分析し、交通時間と交通時間節約価値との関係が検討されていくべきものと考えられる。

本研究の成果から得られるプロジェクト評価に関する示唆としては、本研究で改めて示されたように、交通時間によって交通時間節約価値が変化する可能性を挙げることができる。この場合、たとえ同一交通プロジェクトによって同一の交通時間短縮を受ける場合であっても、時間短縮による1人あたりの便益は、旅行者の交通時間によって異なることになる。したがって、プロジェクト評価を行う際に、旅行者が全体として、どのような交通時間分布となっているかを丁寧に把握した上で、交通時間に応じた適切な時間価値を適用する必要があると考えられる。

ここで、仮に、本研究の分析結果で示されたように、交通時間増加とともに交通時間節約価値が減少するものと考えてみた場合、交通プロジェクトによって交通時間短縮がなされればなされるほど、人々の観光目的の交通時間節約に対する価値はますます高まることになる。また、本研究の仮説で示されたように、人々が、交通時間にに応じて時間制約を変更することがあるのであれば、例えば、従来、一泊旅行をしていた消費者は、交通時間の短縮によって日帰旅行をするようになり、その結果、さらに交通時間短縮に対する社会的要請が高まるといった現象が起こりうる。我が国の国土計画において、全国一日交通圏

あるいは地域半日交通圏等の概念がしばしば用いられてきたが、もし、交通プロジェクトによって、ある地域が一日あるいは半日で往復できるようになった場合、その効果を便益として計算するのならば、人々の時間制約条件の変化による時間価値の変化をある程度留意する必要があるのかもしれない。

最後に、本研究の課題をまとめると、以下の通りである。第一に、本研究で置かれているモデルおよびデータ設定上の仮定が、分析結果の精度に与える影響が少なくないと考えられる。例えば、時間価値の分析に当たって、離散選択モデルを用いる場合に、効用関数設定によるバイアスのあることが指摘されている²⁶⁾。今回は、間接効用関数の変数として交通時間と交通費用のみを使用しているが、これは、できるだけモデルをシンプルにすることが狙いであったためである。また、交通時間に関する限界効用は、交通機関間で同一であるという強い仮定を置いている。だが、実際には交通時間、乗換、混雑による不効用が交通機関間で異なる可能性は高く、これらを考慮したパラメータの推定を行うことが望ましい。第二に、今回のモデルでは、個人間の嗜好の同質性が仮定されているが、実際には異質性が存在する可能性は大きい。個人間の嗜好の異質性を考慮した時間価値の分析に関してはいくつかの研究成果^{26), 27)}も出されつつあり、これらの成果をふまえつつ、時間価値計測を行うことが必要な課題と考えられる。第三に、仮に交通時間節約価値が交通時間によって変化すると考えるとき、交通時間短縮便益を算定する上で、交通時間節約価値の変化を便

益算定にどうやって組み込むのかという技術的な問題がある。特に、所得に関する限界効用が一定でない場合には、便益計測に様々な問題を引き起こしうるので、実務的にいわゆる台形公式のような、簡便な計算方法が適用可能か否かについては、別途検討を行う必要があるであろう。第四に、本研究では、交通時間節約価値の特性を説明するために、個人の消費活動や制約に関する仮説を提示しておきながら、データの制約から、それらの交通時間節約価値に対する影響に関する分析を行うことができなかった。今後、観光活動をはじめとする余暇活動に関する政策の重要性が増すことが期待されることから、人々の活動状況をよりの確に把握するための調査およびその手法の検討の重要性を指摘しておきたい。最後に、我が国では、マニュアルの整備とともに交通プロジェクトの費用便益分析が普及しつつあるにもかかわらず、交通時間価値に関する実証研究が不足していることが課題として指摘されている^{28), 29)}。交通時間価値は、交通目的や交通環境によっても異なりうることから、これらの多様性を考慮した、交通時間価値に関する分析の積み重ねが、今後さらに必要と考えられる。

謝辞：本研究の一部は、財団法人大林都市研究振興財団の助成をいただいて実施されたものである。元東京大学大学院の藤生慎氏にはデータの整理等においてご協力をいただいた。また、3名の匿名の査読者からは貴重な意見をいただいた。ここに深く感謝する次第である。

付録

1. 時間配分モデルからの交通時間節約価値の導出

式(1)の最適化問題に対応するラグランジュ関数は、以下のように定義できる。

$$L = U(X, T, \mathbf{x}, \mathbf{t}) + \lambda \left(I - PX - \sum_i c_i x_i \right) + \mu \left(T^0 - T - \sum_i t_i x_i \right) + \sum_i \kappa_i' (t_i - \hat{t}_i) \quad (\text{A1})$$

すると、クーン・タッカーの定理より、最適解となるための一階の条件は、

$$\frac{\partial U}{\partial X} = \lambda P, \quad \frac{\partial U}{\partial T} = \mu \quad (\text{A2a,b})$$

$$\frac{\partial U}{\partial x_i} = \lambda c_i + \mu t_i \quad \text{for } \forall i \quad (\text{A2c})$$

$$\frac{\partial U}{\partial t_i} = \mu x_i - \kappa_i' \quad \text{for } \forall i \quad (\text{A2d})$$

$$\kappa_i' (t_i - \hat{t}_i) = 0 \text{ かつ } \kappa_i' \geq 0 \quad \text{for } \forall i \quad (\text{A2e})$$

$$PX + \sum_i c_i x_i = I, \quad T + \sum_i t_i x_i = T^0 \quad (\text{A2f,g})$$

となる。

ここで、この消費者の間接効用関数を $v(\mathbf{c}, \hat{\mathbf{t}}, I, T^0)$ とする。このとき、先の最適化問題に包絡線定理を適用することにより、

$$\frac{\partial v}{\partial \hat{t}_i} = \frac{\partial U}{\partial \hat{t}_i} + \kappa_i'^* \frac{\partial (t_i - \hat{t}_i)}{\partial \hat{t}_i} = -\kappa_i'^* \quad (\text{A3a})$$

$$\frac{\partial v}{\partial I} = \frac{\partial U}{\partial I} + \lambda^* \frac{\partial (I - PX - \sum_i c_i x_i)}{\partial I} = \lambda^* \quad (\text{A3b})$$

が得られる。

次に、交通時間節約価値を、定義より導出する。ここでは、説明の単純化のために、交通サービスは1種類であるものと仮定する。まず、間接効用関数 $v(\mathbf{c}, \hat{\mathbf{t}}, I, T^0)$ が与えられており、ある効用水準に対して、最小交通時間 $\hat{t}$ を ϵ だけ増加させる一方で、所得 I を増加させるという操作によって、元の効用に戻すケースを想定する。最小交通時

間を ε だけ増加するのに対応する必要な増加所得を $\sigma(v, \varepsilon) \cdot \varepsilon$ と表すならば、

$$v(c, \hat{t}, I, T^0) = v(c, \hat{t} + \varepsilon, I + \sigma(v, \varepsilon) \cdot \varepsilon, T^0) \quad (A4)$$

となる。ここで、この右辺は、平均値の定理を適用すると、

$$v(c, \hat{t} + \varepsilon, I + \sigma(v, \varepsilon) \cdot \varepsilon, T^0) = v(c, \hat{t}, I, T^0) + \varepsilon \cdot \frac{\partial v(c, \hat{t}, I, T^0)}{\partial \hat{t}} \bigg|_{v=v_m} + \sigma(v, \varepsilon) \cdot \varepsilon \cdot \frac{\partial v(c, \hat{t}, I, T^0)}{\partial I} \bigg|_{v=v_m} \quad (A5)$$

と表すことができる。ここで、 v_m は点 $v(c, \hat{t}, I, T^0)$ と $v(c, \hat{t} + \varepsilon, I + \sigma(v, \varepsilon) \cdot \varepsilon, T^0)$ との中間の任意の点であり、 $\varepsilon \rightarrow 0$ のとき $v_m \rightarrow v(c, \hat{t}, I, T^0)$ となる。

これを、式 (A5) に代入すると、

$$\sigma(v, \varepsilon) = - \frac{\partial v(c, \hat{t}, I, T^0)}{\partial \hat{t}} \bigg/ \frac{\partial v(c, \hat{t}, I, T^0)}{\partial I} \bigg|_{v=v_m} \quad (A6)$$

が得られる。これより最終的に

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \sigma(v, \varepsilon) = - \frac{\partial v(c, \hat{t}, I, T^0)}{\partial \hat{t}} \bigg/ \frac{\partial v(c, \hat{t}, I, T^0)}{\partial I} \bigg|_{v=v(c, \hat{t}, I, T^0)} = - \frac{\partial v(c, \hat{t}, I, T^0)}{\partial \hat{t}} \bigg/ \frac{\partial v(c, \hat{t}, I, T^0)}{\partial I} \quad (A7)$$

が得られる。したがって、 $-(\partial v / \partial \hat{t}) / (\partial v / \partial I)$ は、最小交通時間を微量量だけ変化させたとき、元の効用水準に引き戻すために必要な所得の変化量を表すことになる。

以上より、交通時間節約価値として式 (2) が導出できる。また、最適解の一階の条件である式 (A2d) の両辺を λ^* で除することにより式 (3) が導出できる。

2. 離散選択モデルを用いる場合の交通時間節約価値の導出

離散選択モデルを用いる場合の交通時間節約価値は、次のように導出できる。式 (1) の基本モデルにおいて、 i 番目の交通サービスが1単位のみ消費されることを仮定する。つまり、 $x_i = 1, x_j = 0$ (for $\forall j \neq i$)、とする。すると、 i 番目の交通サービスが選択されるという条件下での効用最大化問題は、以下のように定式化できる。

$$\text{Max}_{X, T, t_i} U_i(X, T, t_i) \quad (A8a)$$

$$\text{s.t. } PX + c_i = I \quad [\lambda] \quad (A8b)$$

$$T + t_i = T^0 \quad [\mu] \quad (A8c)$$

$$t_i \geq \hat{t}_i \quad [\kappa'_i] \quad (A8d)$$

クーンタッカーの定理より、最適解の一階の条件は、

$$\frac{\partial U_i}{\partial X} = \lambda P, \quad \frac{\partial U_i}{\partial T} = \mu, \quad \frac{\partial U_i}{\partial t_i} = \mu - \kappa'_i \quad (A9a)$$

$$\kappa'_i(t_i - \hat{t}_i) = 0 \quad \text{かつ} \quad \kappa'_i \geq 0 \quad (A9b)$$

$$PX + c_i = I, \quad T + t_i = T^0 \quad (A9c)$$

となる。

ここで、 i 番目の交通サービスが選択されるという条件下での間接効用関数を $v_i = v_i(c, \hat{t}, I, T^0)$ とすると、包絡線定理より

$$\frac{\partial v_i}{\partial c_i} = \frac{\partial U_i}{\partial c_i} + \lambda^* \frac{\partial (I - PX - c_i)}{\partial c_i} = -\lambda^* \quad (A10a)$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial \hat{t}_i} = \frac{\partial U_i}{\partial \hat{t}_i} + \kappa'_i \frac{\partial (t_i - \hat{t}_i)}{\partial \hat{t}_i} = -\kappa'_i \quad (A10b)$$

が得られる。これより、式 (4) が得られる。

3. 効用関数の近似式の導出

まず、条件付き直接効用関数について、以下のように $(X, T, t_i) = (0, 0, 0)$ に対する Taylor 展開を行い、1次項までの近似式として表す。

$$U_i(X, T, t_i) = \frac{\partial U_i}{\partial X} X + \frac{\partial U_i}{\partial T} T + \frac{\partial U_i}{\partial t_i} t_i + Z_{1-i} \quad (A11)$$

これに、最適解の一階の条件式 (A9) を代入 (ただし、 $t_i = \hat{t}_i$ を仮定) することによって、間接効用関数は、

$$v_i(c_i, \hat{t}_i, I, T^0) = \lambda^*(I - c_i) + \mu^*(T^0 - \hat{t}_i) + (\mu^* - \kappa'_i) \hat{t}_i + Z_{1-i} = \lambda^*(I - c_i) + \mu^* T^0 - \kappa'_i \hat{t}_i + Z_{1-i} \quad (A12)$$

となる。ところで、5章の分析で適用されている多項ロジット (MNL) モデルでは、消費者の交通サービス選択確率が、選択肢間の間接効用関数の差の関数として表現される³⁰⁾。そのため、選択肢間で共通の変数、例えば式 (A12) の $\lambda^* I$ と $\mu^* T^0$ の項は、選択確率に影響を及ぼさない。そこで、選択肢間の共通変数の表記を省略すると、

$$v_{1-i} = -\lambda^* c_i - \kappa'_i \hat{t}_i + Z_{1-i} = \theta_{1-c} c_i + \theta_{1-t, i} \hat{t}_i + \theta_{1-i} \quad (A13)$$

が得られる。これは、既往の多くの研究で仮定されている線形の間接効用関数である。なお、この結果からも明らかのように、交通時間に関わるパラメータ $\theta_{1-t, i}$ は、本来、交通機関間で異なるべきである。だが、単純化のため、5章の実データを使ったパラメータ推定においては、交通時間に関するパラメータを交通機関間で同一とする仮定を置いている。この単純化は、分析精度を低下させている可能性があり、さらなる精査が必要であると考えられるが、今後の課題としたい。

次に、先と同様に、条件付きの直接効用関数を、以下のように2次項までの近似式として定義する。

$$U_i(X, T, t_i) = \frac{\partial U_i}{\partial X} X + \frac{\partial U_i}{\partial T} T + \frac{\partial U_i}{\partial t_i} t_i + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial X^2} X^2 + \frac{\partial^2 U_i}{\partial T^2} T^2 + \frac{\partial^2 U_i}{\partial t_i^2} t_i^2 \right) + \left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial X \partial T} XT + \frac{\partial^2 U_i}{\partial X \partial t_i} X t_i + \frac{\partial^2 U_i}{\partial T \partial t_i} T t_i \right) + Z_{2-i} \quad (A14)$$

ここで,

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial X^2} = \alpha_X, \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial T^2} = \alpha_T, \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial t_i^2} = \alpha_i \quad (A15a)$$

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial X \partial T} = \alpha_{XT}, \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial X \partial t_i} = \alpha_{Xi}, \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial T \partial t_i} = \alpha_{Ti} \quad (A15b)$$

とおくと、これと、最適解となるための一階の条件より、

$$\begin{aligned} v_i(c_i, \hat{t}_i, I, T^*) &= \left(\frac{\alpha_T}{2} + \frac{\alpha_i}{2} - \alpha_{Ti} \right) \hat{t}_i^2 + \left(\frac{\alpha_T}{2P^2} \right) c_i^2 \\ &+ \left(\frac{\alpha_{XT} - \alpha_{Xi}}{P} \right) \hat{t}_i c_i + \left\{ (\alpha_{Ti} - \alpha_T) T^* + (\alpha_{Xi} - \alpha_{XT}) \frac{I}{P} - \kappa_i^* \right\} \hat{t}_i \\ &+ \left(-\lambda - \frac{\alpha_X I}{P^2} - \frac{\alpha_{XT} T^*}{P} \right) c_i + Z_{2-i}' \end{aligned} \quad (A16)$$

が得られる。1次近似のケースと同様の仮定を置き、選択肢間での共通変数の表記を省略すると、

$$\begin{aligned} v_{2-i} &= \theta_{2-c} \{I, T^*\} c_i + \theta_{2-\hat{t}} \{I, T^*\} \hat{t}_i + \theta_{2-c\hat{t}} c_i^2 \\ &+ \theta_{2-\hat{t}^2} \hat{t}_i^2 + \theta_{2-c\hat{t}} \hat{t}_i + \theta_{2-i} \end{aligned} \quad (A17)$$

という c_i と $\hat{t}_i$ に関する2次関数の間接効用関数が得られる。ここで、 c_i と $\hat{t}_i$ のパラメータは、所得及び制約時間の関数として表されるが、これらは外生的に与えられ、また、それぞれ選択肢間で共通である。したがって、他の変数のパラメータと同様に推定することが可能である。

次に、所得に関する限界効用が一定の場合について、効用関数の2次近似を行うと、

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial X^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial X \partial T} = 0, \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial X \partial t_i} = 0 \quad (A18)$$

であるので、先と同様の手続きにより、

$$v_{2-c} = \theta_{2-c} c_i + \theta_{2-\hat{t}} \hat{t}_i + \theta_{2-c\hat{t}} \hat{t}_i^2 + \theta_{2-c} \quad (A19)$$

が導出できる。

同様に、所得に関する限界効用一定の場合の3次近似を行うと、間接効用関数は次のように導出される。

これらより、式(5)を導出することができる。

$$v_{2-c} = \theta_{2-c} c_i + \theta_{2-\hat{t}} \hat{t}_i + \theta_{2-c\hat{t}} \hat{t}_i^2 + \theta_{2-\hat{t}^2} \hat{t}_i^3 + \theta_{2-i} \quad (A20)$$

注

注1) 我が国の複数の交通機関を含む都市間交通利用状況データとしては、幹線旅客純流動調査以外にも、例えば、旅客地域流動調査(国土交通省、(財)運輸政策研究機構)が考えられる。ただし、旅客地域流動調査は、真の発地と着地に関する純流動データでない、いわゆる総流動データであるために、個人の交通機関選択行動分析に適していない。そのため、今回の分析での使用を断念している。なお、幹線旅客純流動調査は、我が国の長期輸送需要予測²⁴⁾、²⁵⁾や航空需要予測³¹⁾等においても使用されており、データの信頼性が高いと判断したことも、データ使用の理由である。

注2) 表1で示されるデータの設定方法は、あくまでも1つの例にすぎない。仮に、これらの設定方法を変更すると、推定される交通時間節約価値も変わる可能性がある。例えば、交通時間に応じて、旅行者の乗換時間や走行速度が変化する可能性がある。だが、たとえそうであっても、本研究のデータ設定方法では、この変化を考慮することができない。したがって、本研究で得られている交通時間節約価値、ならびに交通時間と交通時間節約価値との関係に関する結論は、あくまでも本研究で使用しているデータ設定のもとにおけるものにすぎない。より精度の高い分析結果を得るためには、旅行者の交通行動

に関するさらに綿密なデータを用いた同様の分析、ならびに他の同様の調査データを用いた検証分析が不可欠であることは言うまでもない。

注3) 「交通時間」に関して、本研究では、旅行者は、ひとたび特定の交通手段を決めたならば、選択可能な経路の中から、交通時間が最小となる経路を選択するもの、と仮定している。これは、第一に、同一交通手段のうちで交通時間が最小となる経路は、同様に交通費用の側面から見ても最小となることが多いため、一般化価格最小の経路選択を前提とすれば、最小交通時間経路が選択される可能性が高いこと、第二に、発着地に依拠して交通運賃が定められ、経路に依存しないケースにおいても、最小交通時間経路が選択される、という仮定は妥当と思われることを、根拠としている。ただし、現実には、乗換回数や経路上の各種サービスなど交通時間および費用以外の要因により経路選択がなされることも考えられる。本研究では、単純化のため経路選択行動を明示的に考慮していないが、これにより、分析結果の精度が低下している可能性は否定できない。より精度の高い分析を行うためには、旅行者の経路選択をも同時に考慮したより一般的な交通行動モデルを用いる必要が生じる。

参考文献

- 1) Becker, G.: A Theory of the allocation of time, *The Economic Journal*, Vol.75, pp.493-517, 1965.
- 2) Johnson, M.: Travel time and the price of leisure, *Western Economic Journal*, No.4, pp.135-145, 1966.
- 3) Oort, O.: The evaluation of traveling time, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.3, pp.279-286, 1969.
- 4) De Donnea, F.X.: Consumer behaviour, transport mode choice and value of time: some micro-economics models, *Regional and Urban Economics*, Vol.1, pp.355-382, 1972.
- 5) Evans, A.: On the theory of the valuation and allocation of time, *Scottish Journal of Political Economy*, Vol.19, pp.1-17, 1972.
- 6) Jara-Diaz, S.D.: Allocation and valuation of travel-time savings, *Handbook of Transport Modelling*, eds. by Hensher, D.A. and Button, K.J., Elsevier Science Ltd, pp.303-318, 2000.
- 7) DeSerpa, A.C.: A theory of the economics of time, *The Economic Journal*, Vol.81, pp.828-846, 1971.
- 8) DeSerpa, A.C.: Microeconomic theory and the valuation of travel time: some clarification, *Regional and Urban Economics*, Vol.2, pp.401-410, 1973.
- 9) Train K. and McFadden, D.: The goods/leisure tradeoff and disaggregate work trip mode choice models, *Transportation Research*, Vol.12, pp.349-353, 1978.
- 10) Truong, T.P. and Hensher, D.A.: Measurement of travel times values and opportunity cost from a discrete-choice model, *The Economic Journal*, Vol.95, pp.438-451, 1985.
- 11) Bates, J.J.: Measuring travel time values with a discrete choice model: a note, *The Economic Journal*, Vol.97, pp.493-498, 1987.
- 12) Wardman, M.: The value of travel time-A review of British evidence, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.32, pp.285-316, 1998.
- 13) Wardman, M.: A review of British evidence on time and service quality valuation, *Transportation Research*, Vol.37E, pp.107-128, 2001.
- 14) Wardman, M.: Public transport values of time, *Transport Policy*, Vol.11, pp.363-377, 2004.
- 15) 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/IV-46, pp.53-64, 2000.
- 16) 森杉壽芳: 時間価値関数の推計方法に関する研究, 交通における時間価値に関する研究—余暇目的の交通の時間価値プロジェクト, 第3章, pp.26-63, 日交研シリーズA-338, 日本交通政策研究会, 2003.
- 17) Jiang, M. and Morikawa, T.: Theoretical analysis on the variation of value of travel time savings, *Transportation Research*, Vol.38A, pp.551-571, 2004.
- 18) 森川高行, 姜美欄, 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, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.3, pp.513-520, 2002.
- 19) Hultkrantz, L. and Mortazavi, R.: Anomalies in the Value of Travel-time Changes, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.35, pp.285-300, 2001.
- 20) Hensher, D.A.: Behavioral Value of Travel Time Savings in Personal and Commercial Automobile Travel, *The Full Costs and Benefits of Transportation*, ed. by Greene, D.L., Jones, D.W. and Delucchi, M.A., Springer, 1997.

- 21) 加藤浩徳, 今井誠: 時間・所得制約を考慮した資源配分モデルに基づく鉄道利用通勤者の私的交通時間節約価値の実証分析, 土木学会論文集 No.793/IV-68, pp.85-104, 2005.
- 22) Blayac, T. and Causse, A.: Value of travel time: a theoretical legitimization of some nonlinear representative utility in discrete choice models, *Transportation Research*, Vol.35B, pp.391-400, 2001.
- 23) Small, K.: Project Evaluation, *Essays in Transportation Economics and Policy: A Handbook in Honor of John R. Meyer*, eds. by Gomez-Ibanez, J. A., Tye, W.B. and Winston, C., Washington, D.C., Brookings Institution, pp.137-177, 1999.
- 24) 運輸政策審議会答申第20号「21世紀初頭における総合的な交通政策の基本的方向について」-経済社会の変革を促すモビリティの革新-(答申), 長期輸送需要予測小委員会報告, 2000.
- 25) 財団法人運輸政策研究機構: 長期輸送需要予測に関する調査報告書, 2001.
- 26) Hess, S., Bierlaire, M. and Polak, J.W.: Estimating value-of-time using Mixed Logit models, Presented at 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., January, 2005.
- 27) Sillano, M. and Ortuzar, J. de D.: Willingness-to-pay estimation with mixed logit models: some new evidence, *Environmental and Planning A*, Vol.37, pp.525-550, 2005.
- 28) 金本良嗣: プロジェクト評価定着に向けての課題, エコノミクス, No.3, pp.64-69, 2000.
- 29) 加藤浩徳: 交通事業の費用便益分析の現状と課題, 運輸と経済, 第64巻, 第1号, pp.27-35, 2004.
- 30) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.: *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, 1985.
- 31) 交通政策審議会航空分科会航空整備部会: 交通政策審議会航空分科会における需要予測, 2002.

ON THE VALUE OF TRAVEL TIME SAVING OVER TRAVEL TIME: EMPIRICAL STUDY OF INTER-URBAN TRAVEL FOR RECREATION

By Hironori KATO, Keiichi ONODA and Masaki KIMATA

This study analyzes the variation of the Value of Travel Time Saving (VTTS) over travel time. First, we formulate a time allocation model with the discrete choice theory. Next, we derive the VTTS from an approximated indirect utility function. After a discussion on the properties of the variation of the VTTS over travel time, we analyze the VTTS with the empirical data of modal choice of inter-urban leisure travel of Japan. The empirical analysis shows the VTTS decreases as the travel time increases. Finally we discuss the reasons for the results of the empirical analysis

Key Words: *value of travel time saving, discrete choice model, inter-urban travel for recreation, mode choice behavior, non-linear utility function*