

MNLに基づく出発時刻選択行動モデルを用いた通勤鉄道利用者の列車待ち時間に対する意識限界に関する実証的分析*

Valuation of Perception Threshold for Waiting Time at Railway Station by the Departure Time Choice Model Based on the MNL model*

加藤浩徳*, 家田 仁**, 小野田恵****

By Hironori KATO **, Hitoshi IEDA ***, Keiichi ONODA ****

1. はじめに

一般に、交通選択行動においては、代替案となる交通機関や経路のサービス水準の差が選択に大きく影響を与えると考えられる。だが、サービス水準の差がごく僅かな場合には、利用者にはその差が十分知覚されない、あるいはできない可能性がある。したがって、交通行動分析を行う上では、人はどの程度のサービス水準の差ならば、それを有効な差であると知覚し、異なる選択行動をとるようになるかという意識の限界を知る必要があると考えられる。

しかし、利用者がサービス水準の差を意識しているかどうかを直接尋ねることは実際には困難である。そこで本研究では、サービス水準のうち、特に時間を取り上げ、通勤者本人から時刻制約に関する情報を直接尋ねると同時に、その利用者の時刻選択行動を観測することにより、各通勤者のスケジュール変動の費用を推定し、それをもとに列車待ち時間の意識限界を推定することを目的とする。

ところで、交通行動に関するサービス水準の意識限界に関連する研究は、既にいくつか行われている。まず、Krishnan¹⁾は、2 肢選択ロジットモデルにおいて、選択肢間の効用差が小さい場合にはランダムな選択が行われるとの仮説の下、最小知覚差を考慮した MPD モデルを提唱した。これを基に筆者ら²⁾は多肢選択モデルに拡張の上、都市鉄道の経路選択行動を分析し、人間の最小知覚差が所要時間に換算して約 76 秒であることを示した。

また、小野ら³⁾は、幹線旅客鉄道における所要時間短縮に関して、意識データを用いて、その効果の評価方法を検討し、2~4 時間の総所要時間に対し、10 分程度が短縮効果認識の限界であり、また短縮効果は時間の大台を切るなどのPRの影響が少なくないことを示した。

本研究のアプローチに最も近いと考えられるのは、家田ら⁴⁾の研究である。家田らは、計量心理学で言う弁別閾 (Discrimination Threshold) の概念を導入し、列車運行時隔の異なる駅において通勤者の到着時刻を観測し、利用者が当該駅での列車待ち時間を意識しているとみなせるか否かを分析することで、時間弁別閾値を導出した。ここで、弁別閾とは、識別可能な 2 つの刺激の大きさの差の最小値で、丁度可知差異 (JND: Just Noticeable Difference) とも呼ばれ、被験者に刺激差が 50% の正答率で知覚される値を指す⁵⁾。家田らは、消費時間弁別閾は平均で 5 分 24 秒であり、約 1 分 16 秒で弁別率 50%、4 分で同 75%、11 分 14 秒で同 90% という結果を得ている。ところがここでは、通勤者のアクセス行動に対して、①通勤者のアクセス所要時間が、アクセス長分布と速度分布から求められる特定の分布に従うこと、②通勤者は、最寄駅到着後、最初に出発する列車に乗ることを目標に、自宅を出発していること、を仮定している。仮定①については、各通勤者の実際のアクセス行動が仮定されるアクセス行動とは異なる可能性があり、また仮定②については、各通勤者の乗車希望列車に対して発生するスケジュール早着・遅延の費用が適切に評価されないという問題点がある。そこで、以上の問題を克服し、より正確な時間の意識限界を計測するため、本研究では、通勤者の交通行動の観測と同時に、アンケート調査によってスケジュール費用を直接尋ねることにより、より実態に近いデータを収集することとした。

2. 本研究における時刻選択行動の基本的な考え方

(1) 分析対象と適用するモデルと既往の時刻選択モデル

本研究では、鉄道利用者の通勤行動における時刻選択行動を対象に、列車待ち時間に対する時間意識の限界を推定することとする。時刻選択モデルについては、Vickrey⁶⁾以降、国内外で種々の定式化が行われてきている。特に、Hall⁷⁾が利用者は交通所要時間の不確実性を考慮して余裕時間 (セーフティマージン) をもって時刻選択行動をとっていると考えられることを示し、以降この考え方を念頭に置いた多くの分析が行われた。これらの一連の定式化で示されたのは、目的地への早着・遅延

* キーワーズ: 交通行動分析

** 正会員、博(工)、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 専任講師

(〒113-8656 東京都文京区本郷7丁目3番地1号,
Tel: 03-5841-7451, Fax: 03-5841-8506)

*** 正会員、工博、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 教授

**** 学生会員、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 修士課程

といったスケジュール費用によって出発時刻の効用が定まるというモデルであった。ただし、これら研究の蓄積は主に自動車交通を対象としたものである^{8,9,10}。自家用車を利用する場合、就業地到着時刻は通勤者が選んだ自宅出発時刻に直接依存することから、通勤者は各到着時刻のスケジュール費用を考慮の上、自宅出発時刻を任意に選択することができるという特性を持つ。一方で、本研究では鉄道利用者を対象としている。この場合、列車は離散的に運行されているため、就業地到着時刻は乗車した列車によって定まり、単純に自宅の出発時刻が就業地到着時刻と結びついているわけではない。鉄道利用者に関しては、家田¹¹らが、通勤者の鉄道利用者の出発時刻選択行動を定式化し、利用者の行動原理を解明している。だがここでも、鉄道の運行が離散的に行われているために就業地到着時刻を任意の連続的な時刻から選択できないという点については考慮されていない。そこで、本研究では、鉄道の運行が離散的に行われていることを明示的に考慮した利用者の自宅出発時刻選択行動を定式化することとする。

(2) 本研究で仮定する通勤者の行動原理

まず人間の行動原理として効用最大化を想定し、ランダム効用を仮定する。ここで通勤者の（間接）効用関数は、駅での列車待ち時間とスケジュール遅延または早着のコストから構成されると仮定する。

なお金銭的費用については、少なくとも現在わが国の鉄道サービスにおいては時刻によらず一定とみなしてよいと考えられるため考慮しない。

自宅出発時刻 i における個人 n の効用 U_{in} を確定項 V_{in} と誤差項 ε_{in} の和と考え、さらに確定項 V_{in} の基本式を以下のように表す。

$$V_{in} = a\bar{t}_{win} + b\bar{t}_{ddin} + c\bar{t}_{edin} + d\bar{t}_{dpin} + e\bar{t}_{epin} \quad (1)$$

ここで、自宅出発時刻 i における個人 n の

$\bar{t}_{win}$: 駅での期待列車待ち時間

$\bar{t}_{ddin}$: 最終不遅刻列車期待スケジュール遅延

$\bar{t}_{edin}$: 最終不遅刻列車期待スケジュール早着

$\bar{t}_{dpin}$: 乗車希望列車期待スケジュール遅延

$\bar{t}_{epin}$: 乗車希望列車期待スケジュール早着

をそれぞれ表し、また a, b, c, d, e : パラメータである。

なお、本研究では、就業地に遅刻せずに到着できる最後の列車のことを「最終不遅刻列車」と呼び、心理的な余裕を持つことができるため乗車することに決めている列車（複数でも可）を「乗車希望列車」と呼ぶ。またスケジュール遅延は、当該列車よりも後に（遅く）発車する列車に乗りした場合に発生し、スケジュール早着は、当該列車よりも先に（早く）発車する列車に乗りするときに発生するものとする。 ε_{in} に i.i.d. ガンベルを仮定すると、個人 n が時刻 i に自宅を出発する確率 P_{in} は式(2)のよ

うに MNL モデルとして表される。

$$P_{in} = \frac{e^{\lambda V_{in}}}{\sum_i e^{\lambda V_i}} \quad (2)$$

ここで、 λ : 誤差の分散にかかわるパラメータである。

(3) 各変数の定義と求め方

まず、時刻 i に自宅を出発し、時刻 j に最寄駅に到着する個人 n の総通勤所要時間 t_{ijn} は、以下のように表される。

$$t_{ijn} = t_{aijn} + t_{wjn} + t_{rjn} + t_{ejn} \quad (3)$$

ここで、

t_{aijn} : アクセス所要時間

t_{wjn} : 列車待ち時間

t_{rjn} : 列車乗車時間（乗換時間含む）

t_{ejn} : イグレス所要時間

である。

利用者は駅に到着後最初に発車する列車に乗車するという仮定を置き、列車待ち時間 t_{wjn} を

$$t_{wjn} = T_{djn} - j_n \quad (4)$$

によって求める。ここで T_{djn} とは、当該駅で時刻 j_n より後に最初に到着する列車の発車時刻を指し、観測によりデータを得ることとする。

次に、列車発車時刻 T_{djn} については、通勤所要時間から以下の関係が成り立つ。

$$T_{djn} = T_{on} - (t_{rjn} + t_{ejn}) \quad (5)$$

ここで、 T_{on} : 就業地到着時刻である。

なお、我が国の都市鉄道ではその所要時間は時刻によらず概ね一定であり、また多くの通勤者のイグレス手段が徒歩と考えられることから、その所要時間の変動は無視できるほど小さいものとみなす。すると、乗車後の所要時間は時刻によらず一定となる。その結果、通勤者の自宅出発時刻選択問題は、最寄駅到着時刻により発生するトータルコストの最小化問題としてとらえることができる。このとき、トータルコストに影響を与えるのは、最終不遅刻列車の発車時刻 T_{ddn} 及び乗車希望列車の発車時刻 T_{dpn} の2つのみである。そこで、本研究では、通勤者の最寄駅到着時刻の実績値 $\tilde{j}_n$ の観測と同時にアンケート調査票を配布し、 T_{ddn} 、 T_{dpn} のデータを入手するものとする。

なお、最寄駅到着時刻 j におけるスケジュール費用はそれぞれ以下のように表される。

$$t_{ddjn} = \begin{cases} T_{djn} - T_{ddn} : \text{If } T_{djn} > T_{ddn} \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$t_{edjn} = \begin{cases} T_{ddn} - T_{djn} : \text{If } T_{ddn} > T_{djn} \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$t_{dpjn} = \begin{cases} T_{djm} - T_{dpn} : \text{If } T_{djm} > T_{dpn} \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$t_{epjn} = \begin{cases} T_{dpn} - T_{djm} : \text{If } T_{dpn} > T_{djm} \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

ここで、最寄駅到着時刻 j における個人 n の

t_{ddjn} : 最終不遅刻列車スケジュール遅延

t_{edjn} : 最終不遅刻列車スケジュール早着

t_{dpjn} : 乗車希望列車スケジュール遅延

t_{epjn} : 乗車希望列車スケジュール早着

を表す。なお、各スケジュール費用について概念的に表したものが図-1である。

(4) 駅到着時刻の確率的変動の考慮

日々の通勤においては、その日の交通状況などがアクセス所要時間を変動させ、通勤者の最寄駅到着時間に影響を与えていると考えられる。一方で、観測調査から得られるのは、特定の1日の各通勤者の最寄駅到着時刻の実績値 $\tilde{j}_n$ のみである。そこで、本研究では、観測結果の最寄駅到着時刻に、アンケートの回答を基にした確率的な分布を与えることで、アクセス所要時間の変動を考慮した分析を行うこととした。

アンケート調査では、被験者に対して平均的なアクセス所要時間 $\bar{i}_{an}$ を尋ねている。すると最寄駅到着時刻の観測値 $\tilde{j}_n$ より、自宅出発時刻は

$$\hat{i}_n = \tilde{j}_n - \bar{i}_{an} \quad (10)$$

と推定される。

一方で、アンケート調査ではアクセス所要時間の最大値 t_{anMAX} 、最小値 t_{anMIN} も同時に尋ねている。そこで、これをもとにアクセス所要時間の確率密度分布を与えることで、その変動を考慮することとする。本研究では、操作の容易性を考慮し、 $\bar{i}_{an}$ に最頻値を持つ、 $t_{anMIN} \leq \bar{i}_{an} \leq t_{anMAX}$ の範囲の三角分布とした(図-2)。

すると、通勤者が時刻 $\hat{i}_n$ に出発したときに、駅に到着し得る時刻は、

$$\hat{i}_n + t_{anMIN} \leq j \leq \hat{i}_n + t_{anMAX} \quad (11)$$

となる。この全ての j に対し、式(4)から列車待ち時間、式(6)-(9)からスケジュール費用がそれぞれ求まる。同様にして全ての出発時刻に対して、同一のアクセス所要時間分布を仮定すると、ある時刻 i に出発したときの列車待ち時間、スケジュール費用の期待値は、それぞれ以下ようになる。

$$\bar{i}_{win} = \sum_{j=\hat{i}+t_{anMIN}}^{\hat{i}+t_{anMAX}} q_n(j|\hat{i}) \cdot t_{wjn} \quad (12)$$

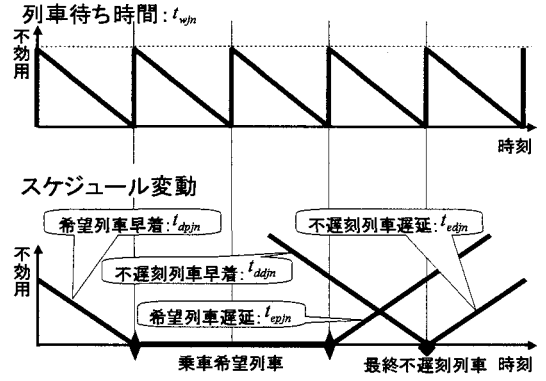


図-1 各説明変数の関係の模式図

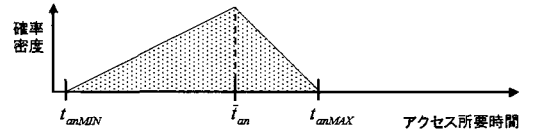


図-2 アクセス所要時間の確率密度分布

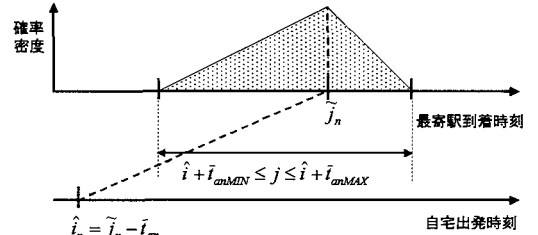


図-3 アクセス所要時間変動を考慮した最寄駅到着時刻

$$\bar{i}_{ddjn} = \sum_{j=\hat{i}+t_{anMIN}}^{\hat{i}+t_{anMAX}} q_n(j|\hat{i}) \cdot t_{ddjn} \quad (13)$$

$$\bar{i}_{edjn} = \sum_{j=\hat{i}+t_{anMIN}}^{\hat{i}+t_{anMAX}} q_n(j|\hat{i}) \cdot t_{edjn} \quad (14)$$

$$\bar{i}_{dpjn} = \sum_{j=\hat{i}+t_{anMIN}}^{\hat{i}+t_{anMAX}} q_n(j|\hat{i}) \cdot t_{dpjn} \quad (15)$$

$$\bar{i}_{epjn} = \sum_{j=\hat{i}+t_{anMIN}}^{\hat{i}+t_{anMAX}} q_n(j|\hat{i}) \cdot t_{epjn} \quad (16)$$

ここで、 $q_n(j|\hat{i})$ は、個人 n 自宅を時刻 i に出発するという条件下において、時刻 j に最寄駅に到着する確率を表す。

3. データの収集およびパラメータ推計

(1) データの収集

データ収集のため、首都圏の14の通勤鉄道駅を対象に、通勤者の駅到着時刻の観測およびアンケート調査を実施

表-1 調査の概要ならびに平均運行時隔

実査日時(2001年)		路線名	駅名	調査箇所(入ロ名)	平均運行時隔	サンプル数	アンケート回収枚数
10月24日(水)	7:40-9:00	営団南北線	王子神谷	1番入口・前半	251秒	337	74
				2番入口・前半			
	9:00-9:50			1番入口・後半	360秒	37	15
				2番入口・後半			
11月7日(水)	7:20-8:10	東武東上線	大山	池袋方面行	270秒	75	12
	7:20-8:20	東急世田谷線	世田谷	三軒茶屋方面行	266秒	64	37
11月8日(木)	7:20-8:40	東急多摩川線	鵜の木	多摩川方面行	206秒	115	25
	7:10-8:40	東急池上線	久が原	五反田方面行	304秒	80	24
				蒲田方面行	330秒	164	43
	7:30-8:50	東急池上線	戸越銀座	五反田方面行	167秒	38	15
11月14日(水)	7:20-8:40	営団日比谷線	入谷	中目黒方面行	127秒	93	37
	7:30-8:20	小田急小田原線	参宮橋	新宿方面	373秒	27	20
11月15日(水)	7:20-8:40	東武亀戸線	東あずま	-	300秒	81	23
	7:20-8:40	京成押上線	京成曳舟	押上方面行・押上方面入口	296秒	90	43
	7:30-8:23			押上方面行・青砥方面入口			
	7:40-8:30	京成金町線	柴又	-	600秒	117	19
11月20日(水)	7:20-8:50	東急大井町線	戸越公園	大井町方面行	211秒	40	19
	7:30-9:10			二子玉川方面行	218秒	38	29
11月21日(木)	7:10-8:30	西武新宿線	下落合	西武新宿行	380秒	48	11
11月27日(火)	7:50-9:00	京急大師線	港町	-	300秒	12	7

表-2 調査方法の概要

調査者1 調査票配布	①番号を付したアンケート調査票の配布（郵送による回収）
調査者2 到着時刻観測	時刻および人数計測を行うプログラムを作成の上、ノートPCを用いて ①アンケート調査票が受け取られた時刻と受け取られた調査票の番号の記録 ②アンケート調査票受け取り者を含む全通勤者の到着時刻の記録

した。アンケート調査では、駅到着者の一部に対しての調査票を配布し、各通勤者の行動の前提となる諸条件（利用目的、鉄道利用総所要時間、アクセス・イグレス所要時間、始業時刻、最終不遅刻列車、乗車希望列車など）の情報を入手した。

調査対象駅ならびに対象時間帯の選定に当たっては、①平日朝の通勤時間帯において、列車の運行時隔が一定であること、②各列車のサービス水準（列車種別、行先、着席可能性など）が対象駅間でほぼ均一であること、③駅到着者の到着時刻測定が容易であること、などを考慮し、表-1のような駅・時刻で調査を実施した。また調査の方法の詳細は表-2の通りである。

(2) パラメータ推定方法

観測とアンケートから得たデータを用いてモデルパラメータの推定を行う。

推定にあたっては、離散選択モデルを適用するため、観測された通勤者の駅到着時刻を、毎分 00 秒、30 秒を中心とする 45-15 秒、15-45 秒の 30 秒ごとの時刻帯にそれぞれ離散化した。これは、一般に鉄道事業者が列車遅延などの運行状況を把握する際の最小単位が、ダイヤ上の定時±15 秒（＝30 秒）であることに倣ったためである。具体的なパラメータ推定は、以下の尤度関数の最大化により行った。

$$L(a, b, c, d, e) = \prod_n \prod_i \prod_j w_{jmn} \cdot [q_n(j|i) \cdot p_m]^{a_n(j|i)} \quad (17)$$

ここで、 w_{jmn} ：サンプル n が m 駅で時刻 j に観測されるとき、 m 駅時刻 j におけるサンプル抽出率（＝ m 駅時刻 j でのアンケート回収数／時刻 j における m 駅への全到着数）の逆数である。また、以上のような WESML 推定を行ったのは、観測した駅や時刻によってアンケート調査票配布率や回収率が異なるためである。

4. 時刻選択モデルの推定結果

(1) パラメータ推定とモデルの選択

まず、調査の結果得られた1456サンプル全てに対して、効用関数に式(1)を用いて場合（モデル1）のモデルパラメータの推定結果は、表-3の通りである。この結果を見ると、 $\bar{f}_{djm}$ のパラメータが正になるなど、モデルの仮定と整合的でない部分がある。これは各説明変数間、特に最終不遅刻列車スケジュール遅延と乗車希望列車スケジュール遅延の間で相関が原因と考えられる。また実際にパラメータ推定結果からも、説明変数($\bar{f}_{djm}$, $\bar{f}_{djm}$)間の相関係数が-0.749と高い値となっていることが確認された。

この点を鑑み、より適切な組み合わせの説明変数を見出すため、説明変数の組み合わせをいろいろと変化させてみることにした。

モデル 1 の推定に用いられている説明変数は列車待ち

時間、スケジュール遅延、スケジュール早着の3つに大別され、スケジュール遅延及び早着についてはそれぞれ対象列車が最終不遅刻列車と乗車希望列車となっているものがある。

そこで、まずスケジュール遅延またはスケジュール早着から1つを取り除き、列車待ち時間とあわせて4説明変数でパラメータ推定を行った。

効用関数に組み込む説明変数の組み合わせはそれぞれ

モデル2: ($\bar{t}_{win}, \bar{t}_{ddm}, \bar{t}_{dpm}, \bar{t}_{epjn}$)

モデル3: ($\bar{t}_{win}, \bar{t}_{ddm}, \bar{t}_{dpm}, \bar{t}_{epjn}$)

モデル4: ($\bar{t}_{win}, \bar{t}_{ddm}, \bar{t}_{edjn}, \bar{t}_{epjn}$)

モデル5: ($\bar{t}_{win}, \bar{t}_{ddm}, \bar{t}_{edjn}, \bar{t}_{dpm}$)

とし、そのパラメータ推定結果を示したのが表-4である。その結果からモデル2のときに相対的に説明力が最も高くなっていることが分かる。これは表-3の結果において最も有意度が低い説明変数 $\bar{t}_{ddm}$ を取り除いて推定したものであることを鑑みれば整合的であると言える。なお、説明変数の組み合わせがモデル4の場合については適切にパラメータ推定が行えなかった。

次いで、スケジュール遅延、スケジュール早着からそれぞれ1つずつ用いて3説明変数でパラメータ推定を行い、モデル説明力からより望ましい説明変数の組み合わせを検討した。これは($\bar{t}_{ddm}, \bar{t}_{dpm}$)または($\bar{t}_{edjn}, \bar{t}_{epjn}$)というようなスケジュール遅延同士やスケジュール早着同士の説明変数間では相関が高いことが問題になると考えられるからである。そこで効用関数に組み込む説明変数の組み合わせをそれぞれ

モデル6: ($\bar{t}_{win}, \bar{t}_{dpm}, \bar{t}_{epjn}$)

モデル7: ($\bar{t}_{win}, \bar{t}_{edjn}, \bar{t}_{dpm}$)

モデル8: ($\bar{t}_{win}, \bar{t}_{ddm}, \bar{t}_{epjn}$)

モデル9: ($\bar{t}_{win}, \bar{t}_{ddm}, \bar{t}_{edjn}$)

とし、パラメータ推定した結果が表-5である。相対的に見て説明変数がモデル6が最も説明力が高い。一方で説明変数に $\bar{t}_{dpm}$ を含まない組み合わせではその説明力が低いことが分かる。なおモデル9に関しては、パラメータ推定が適切に行えなかった。

(2) パラメータ推定結果に基づく考察

表-4、表-5から分かる通り、 $\bar{t}_{ddm}$ 、 $\bar{t}_{dpm}$ とともに説明変数として入れてパラメータ推定した場合、両者の相関関係が高いためか、特に $\bar{t}_{ddm}$ のパラメータが整合的でなかったり、 $\bar{t}_{ddm}$ と $\bar{t}_{dpm}$ の有意度を比較すると $\bar{t}_{ddm}$ のそれが低かったりすることが見てとれる。このことから、通勤者はスケジュール遅延に関して主に $\bar{t}_{dpm}$ を考慮しているものと考えられる。一方で、 $\bar{t}_{edjn}$ 、 $\bar{t}_{epjn}$ については両者を説明変数に取り込んでも、パラメータの推定結果は整合的であり、通勤者が $\bar{t}_{edjn}$ 、 $\bar{t}_{epjn}$ をともに考慮しているものと考えられる。

以上の結果から、通勤鉄道利用者の出発時刻選択行動をMNLモデルを用いて分析した結果を考察すると、利用者の行動に関して以下のような特徴が推察される。

表-3 全説明変数を用いたパラメータ推定結果

モデル1			
説明変数	パラメータ	t値	
待ち時間	$\bar{t}_w$ (秒)	-0.00402	(-11.0)
遅延:不遅刻	$\bar{t}_{dd}$ (秒)	0.00059	(2.0)
早着:不遅刻	$\bar{t}_{ed}$ (秒)	-0.00124	(-9.1)
遅延:希望	$\bar{t}_{dp}$ (秒)	-0.00402	(-15.6)
早着:希望	$\bar{t}_{ep}$ (秒)	-0.00423	(-10.4)
初期尤度		-5227.3	
最終尤度		-4716.8	
DF調整済尤度比		0.098	

表-4 4説明変数を用いたパラメータ推定結果

モデル2				モデル3				モデル5			
説明変数	パラメータ	t値		パラメータ	t値			パラメータ	t値		
待ち時間	$\bar{t}_w$ (秒)	-0.00402	(-10.9)	-0.00403	(-11.0)			-0.00385	(-10.5)		
遅延:不遅刻	$\bar{t}_{dd}$ (秒)	-	(-)	-0.00022	(-0.8)			0.00132	(4.6)		
早着:不遅刻	$\bar{t}_{ed}$ (秒)	-0.00116	(-9.0)	-	(-)			-0.00218	(-18.0)		
遅延:希望	$\bar{t}_{dp}$ (秒)	-0.00365	(-21.2)	-0.00270	(-12.3)			-0.00476	(-19.1)		
早着:希望	$\bar{t}_{ep}$ (秒)	-0.00437	(-10.9)	-0.00589	(-16.1)			-	(-)		
初期尤度		-5227.3		-5227.3				-5227.3			
最終尤度		-4718.7		-4761.9				-4784.6			
DF調整済尤度比		0.097		0.089				0.085			

表-5 3説明変数を用いたパラメータ推定結果

モデル6				モデル7				モデル8			
説明変数	パラメータ	t値		パラメータ	t値			パラメータ	t値		
待ち時間	$\bar{t}_w$ (秒)	-0.00403	(-11.0)	-0.00381	(-10.4)			-0.00399	(-10.9)		
遅延:不遅刻	$\bar{t}_{dd}$ (秒)	-	(-)	-	(-)			-0.00307	(-16.4)		
早着:不遅刻	$\bar{t}_{ed}$ (秒)	-	(-)	-0.00204	(-17.9)			-	(-)		
遅延:希望	$\bar{t}_{dp}$ (秒)	-0.00283	(-19.6)	-0.00398	(-22.9)			-	(-)		
早着:希望	$\bar{t}_{ep}$ (秒)	-0.00588	(-16.1)	-	(-)			-0.00547	(-15.1)		
初期尤度		-5227.3		-5227.3				-5227.3			
最終尤度		-4762.2		-4795.4				-4870.0			
DF調整済尤度比		0.089		0.083				0.068			

- ① 通勤者は、所要時間の変動などを考慮してセーフティーマージンを持つ乗車希望列車を想定し、その列車に対するスケジュール費用を重視する傾向にある。
- ② スケジュール遅延に関しては、最終不遅刻列車と最も遅い乗車希望列車が合致するもしくは近い場合が多い。
- ③ 通勤者は、出発時刻選択の際、最終不遅刻列車のスケジュール遅延費用より、乗車希望列車のスケジュール遅延費用を強く考慮している。
- ④ 最終不遅刻列車のスケジュール早着費用と乗車希望列車のスケジュール装着費用との相関は低く、最終不遅刻列車よりかなり早い時刻の列車からでも乗車希望列車となっていることがある。
- ⑤ 通勤者は、出発時刻選択の際、最終不遅刻列車のスケジュール早着と乗車希望列車のスケジュール早着を別のものと考え、それらをともに重視している。
- 以上を総合すると、通勤鉄道利用者の自宅出発時刻選択行動において、通勤者は主に、列車待ち時間、乗車希

望列車スケジュール遅延、最終不遅刻列車スケジュール早着、乗車希望列車スケジュール早着を考慮していると説明できると考えられる。そこで、本研究では、時間差に対する意識限界を計測する上で用いる時刻選択モデルに、モデル2を用いることとした。

5. 時刻選択モデルを用いた列車待ち時間意識限界の試算

(1) 時間意識限界の分析手法

前章の結果から、時刻選択モデルの効用関数に以下の式（モデル2）を用いる。

$$V_{in} = a'\bar{t}_{win} + b'\bar{t}_{din} + c'S\bar{t}_{apin} + d\bar{t}_{epin} \quad (18)$$

なお a', b', c', d' はパラメータである。

ここで、列車待ち時間に対する意識限界を知るために、サンプルを、そのサンプル通勤者の利用する駅を運行時間隔の長短により2つのセグメントにわけ、その境界を順次変化させてセグメントごとにパラメータ推定することとする。その上で、列車待ち時間に関するパラメータの

表-6 時刻選択モデルのパラメータ推定結果

駅名	入谷	戸越銀座	鶴の木	戸越公園大井町	戸越公園二子玉川	王子神谷前半	世田谷	大山
平均運行時間(秒)	127	167	206	211	218	251	266	270
標準偏差(秒)	20	44	51	31	43	32	31	42
サンプル数	93	131	246	286	324	661	725	800
パラメータ								
待ち時間	-0.01295	0.00075	-0.00104	-0.00022	-0.00210	-0.00087	-0.00157	-0.00050
早着:不遅刻	-0.00187	-0.00156	-0.00270	-0.00220	-0.00211	-0.00127	-0.00113	-0.00121
遅延:希望	-0.01178	-0.00826	-0.00732	-0.00696	-0.00680	-0.00576	-0.00554	-0.00560
早着:希望	-0.01977	-0.00524	-0.00363	-0.00352	-0.00244	-0.00530	-0.00564	-0.00548
t値								
待ち時間	-2.489	0.243	-0.569	-0.134	-1.348	-0.904	-1.789	-0.641
早着:不遅刻	-2.999	-3.007	-7.561	-7.123	-7.290	-6.177	-6.029	-6.572
遅延:希望	-5.434	-6.978	-11.157	-11.231	-11.868	-16.734	-17.180	-18.414
早着:希望	-2.669	-3.476	-3.368	-3.707	-3.197	-8.896	-9.657	-9.886
初期尤度	-374.56	-525.21	-1000.95	-1147.37	-1298.32	-2622.48	-2862.80	-3163.95
最終尤度	-294.54	-447.13	-853.66	-996.83	-1140.93	-2306.86	-2525.68	-2778.71
尤度比	0.214	0.149	0.147	0.131	0.121	0.120	0.118	0.122
自由度調整尤度比	0.213	0.148	0.147	0.131	0.121	0.120	0.118	0.122
駅名	京成曳舟	東あずま	港町	久が原五反田	久が原蒲田	王子神谷後半	参宮橋	下落合
平均運行時間(秒)	296	300	300	304	330	360	373	380
標準偏差(秒)	33	0	0	60	31	0	40	74
サンプル数	890	971	983	1063	1227	1264	1291	1339
パラメータ								
待ち時間	-0.00200	-0.00191	-0.00164	-0.00211	-0.00315	-0.00319	-0.00322	-0.00289
早着:不遅刻	-0.00161	-0.00171	-0.00172	-0.00175	-0.00157	-0.00155	-0.00158	-0.00147
遅延:希望	-0.00452	-0.00453	-0.00454	-0.00455	-0.00368	-0.00359	-0.00359	-0.00361
早着:希望	-0.00398	-0.00410	-0.00410	-0.00427	-0.00476	-0.00482	-0.00483	-0.00507
t値								
待ち時間	-2.866	-2.969	-2.596	-3.519	-5.859	-6.076	-6.312	-5.986
早着:不遅刻	-8.987	-10.069	-10.162	-10.769	-10.686	-10.744	-11.032	-10.667
遅延:希望	-18.870	-20.077	-20.244	-21.091	-20.893	-20.955	-21.205	-21.575
早着:希望	-8.040	-8.421	-8.450	-8.935	-10.302	-10.462	-10.534	-11.054
初期尤度	-3514.27	-3838.25	-3886.89	-4184.74	-4738.58	-4891.96	-5003.02	-5202.41
最終尤度	-3163.18	-3440.55	-3484.10	-3742.42	-4308.68	-4456.61	-4556.15	-4735.05
尤度比	0.100	0.104	0.104	0.106	0.091	0.089	0.089	0.090
自由度調整尤度比	0.100	0.104	0.104	0.106	0.091	0.089	0.089	0.090

注1:「駅名」はパラメータ推定に用いたサンプル通勤者の利用する駅の中で最大の平均運行時間隔の駅を指す。

注2:駅名の項目中、0 内は複数の入口・時刻で調査を行った駅でのそれぞれ入口名及び時刻を示す。

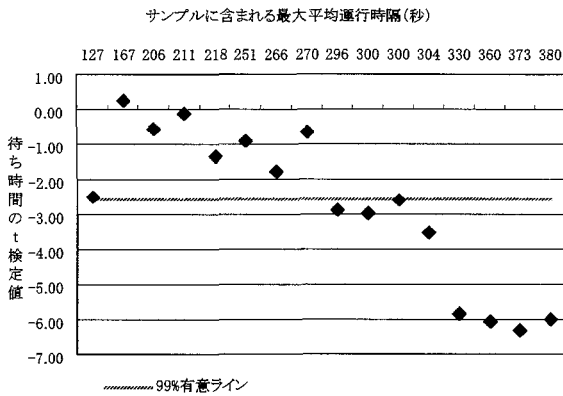


図-4 期待列車待ち時間変数の t 検定値の推移

統計的検定を用い、その有意性の有無から意識限界を推定する。推定においては前章と同様にWESML推定を行った。

(2)時間意識限界の推計結果及び考察

運行時隔の短い駅から順にサンプルを増やしていったときのモデルパラメータの推計結果は表-6の通りである。各変数の符号については一部の例外を除くと、ほぼ整合的な結果が得られていることがわかる。

次に、モデルの適合度（自由度調整済み尤度比）を見ると、概して運行時隔の長いサンプルが増えるにつれて、徐々に低下していくことが分かる。これは列車待ち時間に対する意識の差があるという行動原理が異なるサンプルがより多く混合することによって生じるものと考えられる。

次に、列車待ち時間変数の t 検定値を各セグメントパターンについて示したものが図-4である。これより、運行時隔が短い方のセグメントに含まれる駅の平均運行時隔が全て4分30秒（270秒）以下の場合、列車待ち時間パラメータ α' の t 値は99%有意値より低く、選択行動の際に意識されていないと言える。その反面、セグメントに平均運行時隔が4分56秒（296秒）以上の駅が含まれる場合、 α' が統計的に有意となり、列車待ち時間が意識されるようになっていくことが分かる。

以上の結果から、通勤交通行動において、列車待ち時間が意識されるか否かの限界は平均運行時隔で約4分30秒～4分56秒の間であると推察される。この値は、利用者が駅へ列車待ち時間を意識することなく、ランダムに到着する場合の期待列車待ち時間が約2分20秒程度であることを意味する。この結果は、先行研究である家田ら⁴⁾によって求められた時間弁別閾値の推計結果より、かなり短い値となっていることが分かる。これは、家田らの研究では、通勤者にスケジュール変動に対する費用は発生しないと仮定されているため、実際にはある列車

に乗り遅れた通勤者であったとしても、見かけ上次の列車に向けてかなり早く駅に到着したと観測されてしまい、結果時間弁別閾値が実際より長く推計されてしまうことが原因と考えられる。

6. おわりに

(1)結論

本研究では、鉄道通勤利用者の自宅出発時刻選択行動を、駅での到着時刻観測データと、同時に実施したアンケート調査による通勤者の外生的時刻制約条件のデータとを用いて分析した。MNLモデルに基づく時刻選択モデルを構築した結果、通勤鉄道利用者の自宅出発時刻選択行動においては、列車待ち時間、乗車希望列車のスケジュール遅延、乗車希望列車と最終不遅刻列車のスケジュール早着、が主に考慮されていることがわかった。

またこのモデルを用いて、通勤者が列車待ち時間を意識しているか否かを列車待ち時間のパラメータの統計的な有意性から判定した結果、駅における平均列車運行時隔が4分30秒～4分56秒程度が列車待ち時間に対する意識限界であることが分かった。

本研究より、人間の交通行動において時間の差に対する意識の限界がある可能性が確かめられた。このことは、各種交通需要予測においても、ある程度人間の意識限界を考慮することが求められることを意味しているといえる。

(2)今後の課題

本研究では定常的な選択状況を分析対象としたため、時間の差異についても静的な分析に留まっている。したがって、例えば、サービス水準の改善程度が微少な場合におけるプロジェクトについて、その意識限界を検証するためには、動的な微小変化に対する人間の意識限界を分析する必要があるであろう。

また、本研究においては時刻選択行動の分析に当たり、MNLモデルを用いているが、本来連続量である時刻を離散化すると選択肢間の相関や偏りが生じる可能性が指摘されている。その意味で、本研究では操作の簡易さを考慮しMNLモデルを用いたが、今後はこのような選択肢間の誤差相関を明示的に考慮できる時刻選択モデルを用いて分析を行う必要があると考えられる。

これらについては、今後の課題としたい。

付録 記号表

(1)時刻に関する記号 (単位はすべて秒)

記号	意味
i	自宅出発時刻
j	最寄駅到着時刻
T_{on}	就業地到着時刻
T_{djn}	最寄駅で時刻 j_n より後に最初に到着する列車の発車時刻
T_{ddn}	最終不遅刻列車の発車時刻
T_{dpn}	乗車希望列車の発車時刻
$\tilde{j}_n$	最寄駅到着時刻の観測値
$\hat{i}_n$	推定自宅出発時刻

(2)時間に関する記号 (単位はすべて秒)

記号	意味
t_{wjn}	列車待ち時間
t_{ddjn}	最終不遅刻列車スケジュール遅延
t_{edjn}	最終不遅刻列車スケジュール早着
t_{dpjn}	乗車希望列車スケジュール遅延
t_{epjn}	乗車希望列車スケジュール早着
$\tilde{t}_{wjn}$	期待列車待ち時間
$\tilde{t}_{ddjn}$	最終不遅刻列車期待スケジュール遅延
$\tilde{t}_{edjn}$	最終不遅刻列車期待スケジュール早着
$\tilde{t}_{dpjn}$	乗車希望列車期待スケジュール遅延
$\tilde{t}_{epjn}$	乗車希望列車期待スケジュール早着
t_{ajjn}	アクセス所要時間
t_{wjn}	列車待ち時間
t_{rjn}	列車乗車時間 (乗換時間含む)
t_{ejn}	イグレス所要時間
$\bar{t}_{an}$	平均的なアクセス所要時間
t_{anMAX}	アクセス所要時間の最大値
t_{anMIN}	アクセス所要時間の最小値

【参考文献】

- 1) Krishnan, K.S. : Incorporating thresholds of indifference in probabilistic choice models, *Management Science*, Vol.23, No.11, pp.1224-1233, 1977.
- 2) 加藤浩徳, 家田仁, 小野田恵一: 都市鉄道の経路選択行動における最小知覚差の計測, 土木計画学研究・講演集, No.26, (CD-ROM), 2002.
- 3) 小野耕司, 祖田圭介: 意識データによる鉄道所要時間短縮の効果評価, 鉄道総研報告, Vol.14, No.12, pp.37-40, 2000
- 4) 家田仁, 後藤貞二, 松本嘉司, 島崎敏一: 通勤者における消費時間弁別関数の確率的評価, 土木学会論文集, 第383号/IV-7, pp.73-81, 1987.
- 5) 大山正, 今井省吾, 和気典二編: 新編 感覚・心理学ハンドブック, 誠信書房, pp.19-21, 1994.
- 6) Vickrey, W.S. : Congestion theory and transport investment, *American Economic Review*, Vol.59, No.2, pp.251-260, 1969.
- 7) Hall, R.W. : Travel outcome and performance: the effect of uncertainty on accessibility, *Transportation Research-B*, Vol.17B, No.4, pp.275-290, 1983.
- 8) 松本昌二, 白水義晴: 通勤交通における旅行時間の変動と到着目標時刻の設定, 土木計画学研究・講演集, No.8, pp.207-214, 1986.
- 9) 内田敏, 飯田恭敬, 松下晃: 通勤ドライバーの出発時刻決定行動の実証分析, 土木計画学研究・論文集, No.10, pp.39-46, 1992
- 10) 松井寛, 藤田素弘: フレックスタイム下における通勤時刻選択行動とその効果分析, 土木学会論文集, No.470/IV-20, pp.67-76, 1993
- 11) 家田仁, 竹村宗能, 岡村敏之, 今泉航太: 労働時間の違いを考慮した鉄道通勤者の出社行動の分析, 土木計画学研究・講演集, No.20(1), pp.429-432, 1997.
- 12) Small, K. A.: The Scheduling of Consumer Activities: Work Trips, *The American Economic Review*, Vol.72, No.3, pp.467-479, 1982.
- 13) de Palma, A. and Fontan, C.: Departure time choice and heterogeneity of commuters, *Proceedings of 8th World Conference on Transport Research*.
- 14) Henderson, C. and Plank, E.: The flexibility of departure times for work trips, *Transportation Research A*, Vol.18A, No.1, pp.25-36, 1984
- 15) 藤原章正, 神田佑亮, 杉恵頼寧, 岡村敏之: 時刻選択モデルの選択肢区分が選択肢間の類似性及び不均一性に及ぼす影響, 土木計画学研究・論文集, No.17, pp.599-604, 2000.

MNLに基づく出発時刻選択行動モデルを用いた通勤鉄道利用者の列車待ち時間に対する意識限界に関する実証的分析*

加藤浩徳^{***}, 家田仁^{***}, 小野田恵一^{****}

本論文では, 出発時刻選択モデルを用いて, 通勤者の交通行動を分析し, その結果から, 時間の差に対する意識限界を推定した。出発時刻選択モデルを構築する上で, 通勤者の選択行動に影響を与える説明変数を検討し, 列車待ち時間・乗車希望列車スケジュール早着・同スケジュール遅延・最終不遅刻列車スケジュール早着の組み合わせが適切であることを示した。そのモデルを用いて, 鉄道利用者の通勤行動を分析した結果, 時間の差に対する意識限界は平均運行時間として約4分30秒〜4分56秒であることが分かった。

Valuation of Perception Threshold of Waiting Time at Railway Station by Departure Time Choice Model Based on the MNL model**

By Hironori KATO^{***}, Hitoshi IEDA^{***}, Keiichi ONODA^{****}

This paper aims to value the perception threshold of waiting time of rail-use-commuters. The departure time choice model based on the MNL model is used to formulate the traveler's behavior when they commute from home to their work places via railway stations. The arriving time of commuters at the railway station is observed is under an assumption that they minimize the waiting time by taking accounts of their departure time from home and the operating schedule of railway at the station. As a result of statistical analysis, the expected perception threshold of waiting time is around 4.5 to 5 min.