

実験による動的経路選択機構の比較分析

Comparative Analysis of Dynamic Route Choice Behaviour through Laboratory Experiment

飯田恭敬*・宇野伸宏**・山田忠史***

By Yasunori IIDA, Nobuhiro UNO and Tadashi YAMADA

In order to analyze driver's dynamic route choice behavior, the comparative analysis through using the experiment in the laboratory is conducted. This study analyzes an interaction between driver's travel experiences and their route choice behavior from the results of repeated questionnaire experiments asking the hypothetical route choice. Especially, we emphasize on the effects of the changes in the number of route available or various patterns of travel time as travel experiences on driver's route choice. And we refer to the mechanism of the predicted travel time which drivers assume to make by using their own travel experiences dividing the samples into some groups.

Through this study, we obtain the effective factors to make a dynamic route choice model on driver's route choice behavior. The useful results obtained through this study are as follows. Firstly, the increase of the number of the route leads to the increase of the driver's route changes. Secondly drivers tend to decide their route choice through actual travel time and travel time prediction error. Thirdly driver's reaction tends to vary according to the actual travel time if the traffic conditions on the routes continue to oscillate. Finally the range of the actual travel time that the participants experienced has influence on the stability of the driver's mechanism of travel time prediction.

1. はじめに

近年、都市部では、交通渋滞の慢性化が大きな問題となっている。その原因として、社会経済活動の集中に伴う自動車交通需要の増加と地価の上昇、空間的制約及び住民の合意形成の難しさに起因する道路整備の遅れが挙げられる。交通管制の一手法としての良質な交通情報の提供はこの問題に対する短期的な対応策として注目されている。また、道路の建設、改良等のハードウェアとの協調的な整備を通して、ユーザーの様々な要求に応えるためのサービスレベルの向上につながると考えられる。

情報提供及び経路誘導の効果に関する既存の研究の多くは理論的なものであり、均衡理論を応用した研究が数多く行われ、有用な知見を得ている。しかし、交通状態の静的な記述に基づいた研究は、時間的に変化する交通状態に対応して提供される情報の効果を分析するには必ずしも適切ではない。一方、ドライバーの行動を考慮し交通状態を動的に扱った例は多くはなく、今後の研究に待つところが大きい。

実験的アプローチによりドライバーの行動を動的に分析した例としては、これまでに、交通状態の動的な側面を取り扱ったものとして、Horowitz¹⁾による交通流の時間的変動(日変動)を均衡理論の枠組みでシミュレートしたものや、Mahmassani^{2),3)}による出発時刻選択に関する研究などがあるが、研究の蓄積はまだ少ない。

また、飯田等はドライバーに対し代替経路の交通状況などの情報を提供することによってドライバーを誘導して、既存道路ネットワークを有効に利用す

キーワード: 経路選択行動, 屋内実験,

旅行時間の予測, パネルデータ

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室

(〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 工博 京都大学助手 工学部交通土木工学教室

(〒606 京都市左京区吉田本町)

*** 学生員 京都大学大学院工学研究科

(〒606 京都市左京区吉田本町)

るシステムの開発を最終的な目標とし屋内実験を通してドライバーの経路選択行動を分析するための枠組みを提示している⁴⁾。特に交通現象を記述する基本単位として個人に着目し、仮想の経路選択を問う実験を実施した。走行経験の蓄積が個々の被験者の旅行時間予測メカニズムや経路選択メカニズムにどの程度、どの様に影響を及ぼすのかを見るためには、個々の被験者から時系列のデータを収集する必要がある。そのような実験・調査を現実の交通行動を対象として行うことは、データの精度、労力、費用、期間の面で困難であると考えられるため屋内実験を用いる。

本研究は飯田等の研究の延長線上に位置づけられ、走行経験の蓄積を考慮した経路選択行動を明示的に取り扱ったモデルを構築するための知見を得ることを目的にしている。特に本研究では、以下の事項に焦点を合わせて検討する。

- ①被験者が代替的に利用可能な経路数の差異が経路選択及びその行動を規定する旅行時間予測機構に及ぼす影響を分析する。
- ②被験者が経験する旅行時間変動の差異が旅行時間予測機構及び経路選択行動に及ぼす影響を分析する。

2. 実験実施の背景

本研究は飯田等が行った研究の延長上に位置づけられる。従来、行った実験は全部で4ケースあり(実験A～D)⁴⁾、全て1OD2リンクを対象とした2経路選択実験であった。そこで、経路数の増加による被験者の経路選択行動の変化を見るために、今回は経路数を3経路に増やして実験する。この実験を実験Eと呼ぶ。実験Eにおける旅行時間の決定方法は被験者の選択結果が反映される内生的なものである。

実験A～Dの結果から、

被験者の経路選択行動は、旅行時間の決定方法(内生的or外生的)にはあまり影響されず、旅行時間の変動パターンに大きく影響されることがわかっている。そこで、各経路の実旅行時間を外生的にコントロールできる形で与え、旅行時間の変動パターンと被験者の経路選択行動及びその背後にある旅行時間予測機構の関係を捉える。今回行う実験F被験者に一定の周期と振幅を持つ SIN-CURVE型の旅行時間変動を実験B、Dと同様に、外生的に与えかつその振幅の大きさに差異をつけることで、経路選択行動の分析を行う。以上6実験の実験形態の相違点を表-1(a)(b)に示す。また、各実験のOD交通量、経路特性を表-1(c)に示す。

3. 実験方法の概要

今回主に分析する2つの実験は、先に述べたような、経路数あるいは旅行時間変動パターンに違いがあるものの、実験方法は本質的に従来の4実験(実験A～D)と同じ⁴⁾である。そこで、実験方法については簡潔に述べるにとどめる。

屋内実験により経路選択に対する被験者の仮想的な反応を問い、パネルデータを収集する。被験者には事前に経路長、車線数、自由走行時間の経路特性を提示する。実験の手順は、まず回答用紙に前回(n-1回目)以前の被験者各自の経験や経路特性を考慮

表-1(a) 各実験における旅行時間の与え方

	旅行時間の与え方	被験者数	実験回数
実験A	被験者の選択を集計	56名	21回
実験B	予め設定(SIN-CURVE振幅大)	90名	21回
実験C	予め設定(実験Aの結果使用)	44名	35回
実験D	予め設定(グループ別、下表参照)	38名	36回
実験E	被験者の選択を集計	40名	31回
実験F	予め設定(グループ別、下表参照)	80名	35回

表-1(b) 各実験の旅行時間変動パターン

	Group	被験者数	旅行時間の与え方	
			21Stepまで(予め設定)	22Step以降
実験B	————	90	SIN-CURVE(振幅大)	被験者の選択を集計 (1グループに統合)
実験D	Group 1	19	SIN-CURVE(振幅小→大)	
	Group 2	19	SIN-CURVE(振幅大→小)	被験者の選択を集計 (1グループに統合)
実験F	Group 1	20	SIN-CURVE(振幅大)	
	Group 2	20	SIN-CURVE(振幅小)	
	Group 3	40	SIN-CURVE(振幅小)	被験者の選択を集計 (グループ1,2とは独立)

表－1(c) 各実験のOD交通量・経路特性

項目	条件	
OD交通量	7,900(台/h) (3経路選択実験)	5,600(台/h) (2経路選択実験)
経路特性 (経路長) (Λ^* パフォーマンス関数)	(経路1) 25Km $C = 5200(\text{台/h})$ $t = t_0\{1 + a(V/C)^2\}$ $a = 1.00, t_0 = 25(\text{min})$	(経路2) 20Km $C = 4000(\text{台/h})$ $t = t_0\{1 + a(V/C)^2\}$ $a = 1.00, t_0 = 20(\text{min})$
		(経路3) 15Km $C = 2800(\text{台/h})$ $t = t_0\{1 + a(V/C)^2\}$ $a = 1.00, t_0 = 15(\text{min})$
	ただし、上記の経路特性は3経路の場合であり、2経路の場合は上記の経路を 経路2→経路1に、経路3→経路2に変更して利用する。	

実験で異なることも原因として考えられる。

両実験に共通する現象として、初めの6, 7ステップまでは経路変更率が高く、9～14ステップでやや率が低下し、その後はまた少し増加し振幅もわずかに

して、各経路の今回(n回目)の予測時間を記入してもらう。次に予測時間に基づき、今回(n回目)の選択経路を決定し記入してもらう。その後実験者は回答用紙を回収する。旅行時間の決定方法が内生的ならば各経路の選択者数を集計し、旅行時間をパフォーマンス関数により算出して、各被験者の選択経路に応じた実旅行時間を回答用紙に記入し、旅行時間の決定方法が外生的ならば予め決定している旅行時間を記入する。そして各被験者に再度配布する。次に被験者に、回答用紙に示されている前回の走行結果を書き写してもらう。交通の疑似体験である走行結果を「書き写す」という行為によりインパクトを強め、記憶にとどめさせるものである。以下これを繰り返し行う。

経路選択実験とは別に、被験者の属性を問う属性アンケートを経路選択実験の終了後に実施する。旅行時間予測モデルへ属性を導入し、モデルの説明力の改善の可能性を探る。

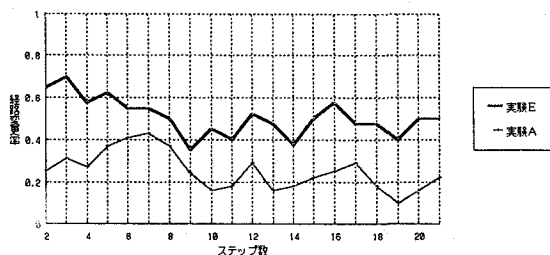
4. 3経路選択実験(実験E)の結果

3経路選択実験(実験E)では、実旅行時間の変動を被験者の経路選択に関する意思決定を集計して内生的に決定している。そこで旅行時間の定義方法が共通で経路数が2本である、実験Aとの比較を通し、経路数の差異が経路選択行動にどのような影響を及ぼすかを分析する。

(1) 経路変更率の推移

実験A, Eのステップ毎の経路変更率を図－1に示す。実験Eでは実験Aに比べて、経路変更率が全体的に20～30%程度高い点が挙げられる。その理由として、経路の選択肢数が増加したため、被験者が積極的に経路変更したこと、選択結果の評価が困難になったこと等が考えられる。ただし、被験者が両

大きくなる点が挙げられる。また、9～14ステップでは両実験とも旅行時間ベースで均衡状態に近い状態にある。その原因は以下のように推察される。実験初期では各経路の様子を観察し、経験を蓄積して、ある程度被験者なりに各経路の様子をつかむため積極的に経路を変更する。9ステップ以降、各経路の様子を把握したか、もしくは把握したと考えて、少し経路変更率が鈍る。一種の安定状態を経験した被験者は、14ステップ以降はさらに良い走行結果を求めて積極的に経路変更する。経路数の増加は、全体的な経路変更率の上昇につながり、マクロに見た被験者の動向は類似の傾向を示すと考えられる。



図－1 ステップ別の経路変更率

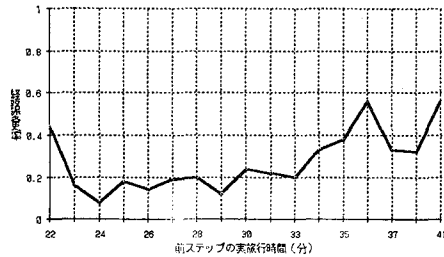
(2) 実旅行時間別の経路変更率

2経路選択実験(実験A)と同様に3経路の場合も、実験特性を認識し、自分が選択した経路の旅行時間が悪くないにもかかわらず予防的に経路を変更する被験者が存在するかどうかを観察する。実験Aの結果を図－2に、実験Eの結果を図－3に示す。

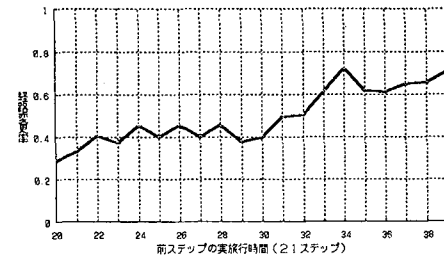
2経路の場合、実旅行時間が24分以前は経路変更率が高い。被験者が各自の経験より2経路選択の特性を把握し、選択経路の旅行時間が小さいと、次回は他の経路より被験者が流入するとの予測をしたと考えられる。

一方3経路の場合は全体的にほぼ右上がりで、実

旅行時間が20～30分の領域では他の実旅行時間の場合と比べて経路変更率は小さい。しかしその値は0.25～0.378で、2経路の場合と比較すると高い値を示している。絶対数で考えても、例えば実旅行時間が22分の時27人中11人が、26分の時33人中15人が経路を変更している。2経路の場合に見られた予防的な経路変更を行う被験者の存在は完全には否定できない。



図－2 実旅行時間別の経路変更率（実験A）



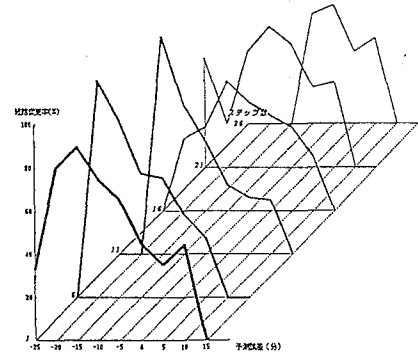
図－3 実旅行時間別の経路変更率（実験E）

（3）旅行時間予測誤差を考慮した経路変更率

旅行時間予測誤差は予測旅行時間から実旅行時間を引いた値で、正值で大きいほど被験者にとって望ましい結果と一般的に考えられる。ここでは、被験者の旅行時間予測誤差に対する認識・対応を実験Eの場合について分析する。

第1ステップ目から5ステップずつに区切り、5ステップずつを1つのグループにまとめ、旅行時間予測誤差別に経路変更率を求めた図を図－4に示す。旅行時間予測誤差は-25分から5分ずつを1つの領域とし、その最初の値を代表値として示す。

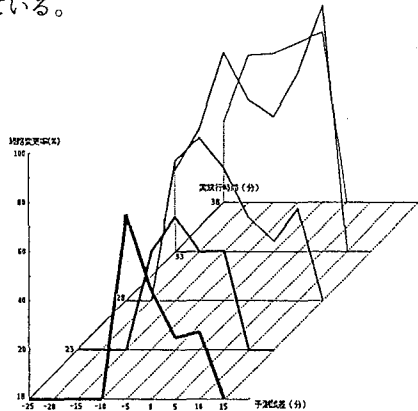
概括的に、予測誤差が正值の時、経路変更率が低いこと、実験の進行に従い、予測誤差が0～5分の範囲で経路変更率が極小値的に低くなることが挙げられる。予測誤差について詳細に見てみると、予測誤



図－4 旅行時間予測誤差別の経路変更率

差が2～4分の範囲での変更率が全ステップを通して、20～40%と比較的小さな値をとっている。特に最後の26～30ステップでは予測誤差が1～5分の時の変更率が27.3%(15/55)と小さな値となっている。3経路選択実験では全体的に変更率が高いことを考慮すると、被験者は予測誤差が5分以下の正值の時、比較的満足して同一経路を再度選択する可能性が高いと考えられる。

次に、実旅行時間と予測誤差を説明要因とした経路変更率を図－5に示す。図－5は図－4のステップ数の代わりに実旅行時間を用いたもので、実旅行時間の値を18～22分までの5分間を1区切りにし18分と表記し、以下23分以降5分ずつに区切ったものを、その5分間の最初の値を代表値としてグラフ中に示している。



図－5 実旅行時間・予測誤差別の経路変更率（E）

実旅行時間が大きいほど、予測誤差の正負及びその大小にかかわらず経路変更率が高い。

実旅行時間が30分前後の場合について詳細に見てみると、実旅行時間が30分のとき予測誤差2～5分の

範囲、及び実旅行時間が31分のとき誤差が1～4分の範囲でそれぞれ変更率が22.6%(7/31), 29.6%(8/27)と他と比較して低い値である。多くの被験者は実旅行時間が均衡状態を示す30分前後で誤差が正の比較的小さい値の時、その選択結果に満足し、同一経路を再度選択する可能性が高い。

(4) 旅行時間予測機構

a) 従来の旅行時間予測モデルを用いた分析

既存の研究で被験者の旅行時間予測機構として仮定した式(1)の旅行時間予測モデル⁴⁾を用いる。そして、3経路選択実験における被験者の旅行時間予測機構を、2経路選択実験の場合との比較を通して分析する。

旅行時間予測モデル

$$y^{n+1} = \alpha + \beta x_0^n + \gamma x_1^n + \delta x_2^n + \varepsilon \quad (1)$$

ここに、

y^{n+1} : 予測補正量 ($y^{n+1} = \hat{t}_s^{n+1} - t_s^n$),

x_k^n : 旅行時間予測誤差 ($x_k^n = \hat{t}_s^{n-k} - t_s^{n-k}$),

$\hat{t}_s^n$: nステップの選択経路Sの予測旅行時間,

t_s^n : nステップの選択経路Sの実旅行時間,

S : 選択経路の番号 (S=1, 2),

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: 定数パラメータ,

ε : 誤差項。

式(1)のモデルは、過去3ステップで経験された旅行時間予測誤差によって予測補正量が定められ、この補正量を前回(nステップ)の実旅行時間に加えることでn+1ステップの旅行時間が予測されることを意味している。定数 α の値はドライバーが安全を見込んで確保する余裕時間(Safety Margin)として解釈し得る。旅行時間予測モデルのパラメータ推定に際しては、複数の被験者に関する時系列データという性質上、誤差の系列相関の影響を考慮しなければならない。そこで誤差の一次自己回帰構造を考慮したParksの方法⁵⁾によりパラメータを推定した。

表-2には、全ステップについて推定したパラメータ(分類名E-03)、前後半を各々のグループとして推定したパラメータ(E-00, E-01)、ステップ数と属性でセグメント化して推定したパラメータを示す。参考のために実験Aのパラメータも載せておく。

まず、実験Eと同じく旅行時間を内生的に決定する実験Aと比較してみる。その際、実験Aとステップ数を合わせるために表中のE-00の値を用いる。結

果を見ると、 α の値が実験Eで1.049、実験Aで0.430と大きく異なっている。3経路の場合は2経路の場合に比べて余裕時間を多めにとる傾向が伺える。 γ の値を見ると実験Eの場合統計的に非有意であり、前々回の走行経験は全く効果を持たないと考えられる。その理由として、実験Eでは被験者の選択できる経路が3つあり、他の実験と比較しても前回の走行経験に敏感に反応して経路を変更した影響が現れていると考えられる。

次にステップ数と運転頻度を考慮したパラメータの推定結果を見る。運転頻度の差に関係なくステップの進行と共に α, δ, γ の値は不安定に変動し、特に γ, δ は統計的にも非有意なものが多い。それに対して、比較的 β の値が安定している。3経路の場合、被験者の旅行時間予測機構は前回の経験の影響が2経路の場合より重みを持つと考えられる。また、運転頻度でセグメント化した場合、 β に関しては3グループとも大きく変動しないが、走行経験の蓄積によって旅行時間予測機構が最も安定するのは運転頻度の多いグループであると考えられる。つまり3経路選択実験では、運転頻度の多い被験者の旅行時間予測機構の安定状態への到達が相対的に早いと思われる。

b) 同一経路の走行経験に基づくモデル

新たに、前回(nステップ)の選択経路及びそれと同一経路を選択した、前回を除いた最近過去の2時点の走行経験(旅行時間予測誤差)を説明変数としたモデルを仮定する。

$$y^{n+1} = \alpha + \beta x_0^n + \gamma x_p^n + \varepsilon \quad (2)$$

ここに、

y^{n+1} : 予測補正量 ($y^{n+1} = \hat{t}_s^{n+1} - t_s^n$),

x_0^n : 旅行時間予測誤差 ($x_0^n = \hat{t}_s^{n-k} - t_s^{n-k}$),

$x_p^n = \hat{t}_s^{n-p} - t_s^{n-p}$

: Sを選択した最近過去(pステップ前)の予測誤差,

$\hat{t}_s^p$: Sを選択した最近過去の予測旅行時間,

t_s^p : Sを選択した最近過去の実旅行時間,

α, β, γ : 定数パラメータ,

ε : 誤差項。

式(1)のモデルでは、説明変数に過去3回分の選択経路の旅行時間予測誤差を用いている。その走行経験としての予測誤差は、選択経路という基準で識別

表-2 実験Eのパラメータ推定結果

分類名	E-00	E-1A	E-1B	E-1C	E-2A	E-2B	E-2C	E-3A	E-3B	E-3C
運転頻度	—	多	多	多	中	中	中	少	少	少
STEP	6~20	6~10	11~15	16~20	6~10	11~15	16~20	6~10	11~15	16~21
OBS	600	100	100	100	35	35	35	65	65	65
α	1.049 (55.9)	1.469 (3.70)	0.846 (1.64)+	0.166 (0.33)+	1.673 (6.41)	3.678 (13.4)	0.867 (3.58)+	0.271 (6.99)	1.251 (9.73)	0.984 (3.34)
β	0.547 (153)	0.324 (4.77)	0.755 (8.61)	0.567 (6.33)	0.583 (10.1)	0.539 (11.7)	0.672 (22.1)	0.474 (30.7)	0.412 (20.5)	0.628 (29.7)
γ	-0.004 (-1.19)+	-0.004 (0.05)+	-0.103 (-0.97)	0.099 (1.38)+	-0.309 (-5.55)	-0.133 (-2.93)	0.009 (0.26)+	-0.040 (-4.39)	0.009 (0.36)+	0.103 (5.21)
δ	-0.029 (-8.34)	-0.113 (-1.69)+	-0.133 (-1.76)	0.124 (1.60)+	-0.004 (-0.09)+	-0.257 (-5.44)+	0.089 (2.96)	-0.063 (-4.29)	-0.150 (-5.33)	0.152 (7.81)
MSE	14.563	13.142	12.526	16.370	21.910	16.112	4.928	10.409	15.070	13.810

分類名	E-01	E-1D	E-1E	E-2D	E-2E	E-3D	E-3E	E-03	A
運転頻度	—	多	多	中	中	少	少	—	—
STEP	21~30	21~25	26~30	21~25	26~30	21~25	26~30	ALL	ALL
OBS	400	100	100	35	35	65	65	1120	1008
α	0.771 (9.08)	1.808 (21.6)	0.930 (5.72)	0.879 (1.91)+	1.291 (12.5)	1.191 (2.36)*	1.774 (2.54)*	1.264 (24.2)	0.430 (24.5)
β	0.329 (20.5)	0.545 (37.0)	0.493 (20.6)	0.816 (32.7)	0.522 (21.9)	0.840 (12.3)	0.393 (4.76)	0.542 (430)	0.517 (164)
γ	-0.089 (-6.82)	-0.007 (-0.42)+	0.006 (0.21)+	0.004 (0.13)+	-0.139 (-4.33)	-0.007 (-0.08)+	-0.038 (-0.88)+	-0.005 (-3.87)	0.068 (22.9)
δ	0.024 (2.01)*	-0.005 (-0.41)+	-0.104 (-3.82)	-0.123 (-4.61)	-0.149 (-6.37)	-0.073 (-0.64)+	-0.058 (-1.48)+	0.011 (-9.35)	0.033 (10.9)
MSE	18.934	15.739	8.872	21.28	7.211	11.706	28.350	15.454	0.322

() 内はt値
* は有意水準1%で非有意
+ は有意水準5%で非有意

されており、その選択経路が経路1であったか、経路2であったかは区別せず、混在して使われている。実験Eでは、被験者の代替利用可能経路が3本に増え、さらに、各経路の特性は異なっており、選択経路という基準で、異なる経路の走行経験を混合させて利用することの妥当性に疑問が生じる。そこで、被験者の旅行時間予測には2回前、3回前の選択経路の経験を、利用経路を無視して用いるよりも、前回選択した経路と同一の経路で、最近過去に選択した場合の予測誤差を説明変数とした方が妥当と考えられる。そこで、経路特性の異なる3経路の走行経験を、経路ごとに区別する意味で式(2)のモデルを仮定した。パラメータの推定は通常の最小2乗法により行う。そのため、式(1)のモデルとは異なり、誤差の系列相関は考慮されていない。また、被験者の経路選択結果によっては利用不可のデータもあり、全データを反映したモデルとはなっていない。それ故、式(2)は、被験者の旅行時間予測機構を概略把握するためのモデルと位置づけられる。パラメータ推定結果を表-3に示す。

走行経験に対する記憶の減衰を考慮するため、最近過去の走行経験としてモデルの推定に用いるものに制限を設けた。表中に示した通り「過去2回まで」～「過去5回まで」について推定した。このためモデルの推定には全サンプルを利用できてはいない。

結果から、 β' の値は0.55前後で安定しているが、 γ' の値は1%あるいは5%で非有意である。同一経路に関する最近過去の経験は旅行時間予測に影響を及ぼしていないと考えられる。また、最近過去の走行経験が古いほど α' の値は増加している。前回以前に同一経路を選択した経験が過去のものであるほど、換言すれば選択回数が少なく不慣れた経路であるほど、被験者は旅

行時間予測の際、余裕時間を多くすると考えられる。

表-3 同一経路別のパラメータ推定結果

	最近過去の対象範囲				
	過去2回	過去3回	過去4回	過去5回	過去全部
OBS	579	737	851	937	1081
α'	1.059 (6.94)	1.135 (7.96)	1.177 (8.04)	1.212 (8.53)	1.216 (9.06)
β'	0.569 (21.9)	0.550 (23.5)	0.553 (23.2)	0.558 (24.4)	0.527 (24.6)
γ'	-0.027* (-1.09)	-0.029* (-1.26)	-0.054+ (-2.34)	-0.043+ (-2.00)	-0.047+ (-2.30)
R-SQR	0.461	0.432	0.393	0.390	0.362

() 内はt値
+ は有意水準1%で非有意
* は有意水準5%で非有意

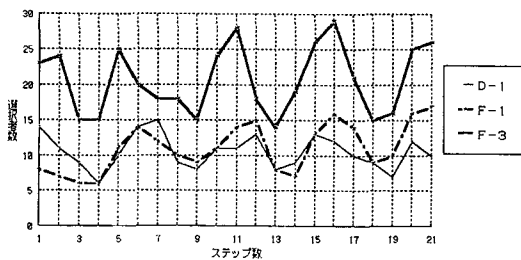
5. 2 経路選択実験(実験F)の結果

実旅行時間の変動パターンが同一周期のSIN-CURVE型であっても、その振幅の大きさが異なる場合、あるいは振幅の大きさが途中で変化した場合に、被験者の経路選択行動及び旅行時間予測機構がどのように変化するかを、実験Fの結果と実験B、Dの結果との比較を介して分析する。

(1) 経路選択者数

初めに、実験B、D、Fの21ステップまでの結果を比較して、旅行時間変動の振幅の違いが被験者の経路選択行動に及ぼす影響を調べる。3実験計6グループの各ステップ毎の経路選択者数の推移を調べたところ、実験の繰り返しに伴う変化は類似していた。

図-6 ステップ別の経路選択者数



旅行時間変動の振幅が異なる実験Fグループ1, 3, 実験Dグループ1の経路1の結果を図-6に示す。

図より、実験前半部での経路1の選択者数が大体5ステップを周期として変動し、グラフの極値の出現ステップが各グループでほぼ一致しており、周期的な変動を繰り返すという点では、各経路の実旅行時間の変動に追随している。すなわち走行結果としての実旅行時間に被験者は敏感に反応していると考えられる。実旅行時間が内生的に決定される実験後半部(22ステップ以降)では不規則な変動を続けており、前半部の走行経験とは明らかに異なっている。

以上のことから、旅行時間が同一周期で継続的に変動する場合、振幅の大きさは無関係に、前ステップの旅行時間に敏感に反応して、被験者の経路選択は類似の傾向を示すと考えられる。

(2) 旅行時間予測機構

a) 実験前半部でのパラメータ推定結果

ここでは同一周期で振幅が異なる旅行時間変動パターンが旅行時間予測機構に及ぼす影響を分析する。実験B, D, Fの計6グループを対象に、前半部(21ステップまで)での式(1)のパラメータを推定した。その結果を表-4に示す。

β の値が γ , δ より大きく、旅行時間予測の際に前回の経験の影響が非常に大きいという点はどのグループにも共通している。この点は、振幅の大小と無関係に振幅が一定の同一周期の旅行時間変動パターンに対しては、被験者が示す経路選択行動は類似の傾向であり、前ステップの実旅行時間に対して敏感に反応することと整合する。

次にグループ毎に分析してみる。グループによって、旅行時間予測に影響を及ぼしている要素に多少の違いが見られる。旅行時間の変動幅が小から大へ移行するD-1(実験Dグループ1を表す、以下同様)

と逆に大から小へ移行するD-2を比較すると、前回の走行経験に対応する β はD-1の方がD-2より大きく、逆に、定数項 α はD-2の方がD-1より大きくなっている。D-2の被験者は実験初期で大きな振幅を経験したために、余裕時間を多めにして旅行時間の予測を安全側に見込み、変動に対処しようとしている。それに対し、D-1の被験者は実験の初期段階の旅行時間変動の振幅が小さかったので、余裕時間を大きく見積もる必要がなく、むしろ過去(特に前回)の走行経験を利用して予測する傾向がある。

振幅の大きな旅行時間を経験するB, F-1と振幅の小さな旅行時間を経験するF-2, 3を比較すると、被験者が見込む余裕時間 α がB, F-1ではF-2, 3の2倍以上になっている。一方、 β には大きな差異は見られない。このことから、振幅の大小にかかわらず、同一周期の振幅が一定の旅行時間変動を経験した被験者は、過去の走行経験としての旅行時間予測誤差に対して類似の反応を示すと考えられる。振幅の大きさは余裕時間 α に主に影響を及ぼすと考えられる。

表-4 各実験の21ステップまでのパラメータ推定結果

分類	D-1	D-2	F-1	F-2	F-3	B
OBS	361	361	380	380	760	1620
α	0.396 (16.5)	0.721 (72.0)	1.131 (76.6)	0.503 (22.5)	0.471 (19.4)	1.126 (97.1)
β	0.674 (142)	0.490 (130)	0.512 (297)	0.481 (88.9)	0.441 (73.2)	0.460 (286)
γ	0.055 (11.8)	-0.032 (-6.58)	0.063 (39.3)	-0.038 (-7.42)	0.018 (2.90)	0.116 (64.4)
δ	-0.053 (-11.9)	0.017 (3.56)	0.033 (19.8)	0.030 (7.67)	0.028 (5.89)	0.013 (7.57)
MSE	9.807	20.510	11.271	3.808	3.821	0.197

() 内はt値

b) ステップ数による分類

次に、実験前半部での旅行時間の変動の差異が実験後半部での被験者の経路選択行動にどのような影響を及ぼすかを旅行時間予測メカニズムの分析を通じて検討する。実験Fの3グループをステップ数によりセグメント化し、式(1)のパラメータを推定した。旅行時間予測には β の影響が最も大きく、 α は非有意な場合が多いので、 β のみの結果を表-5に示す。

表から、グループ1と3では前半と後半で大きく変化せず0.65前後で安定していることが分かる。一方グループ2では、大きくその値が変化している。グループ1は実験前半部で、外生的に与えた比較的大

表-5 ステップ別のパラメータ推定結果(実験F)

STEP	7~21	22~35	7~11	12~16	17~21	22~26	27~31	32~35
Group1	0.512 (28.7)	0.626 (65.5)	0.473 (32.9)	0.624 (12.3)	0.662 (38.4)	0.658 (29.2)	0.659 (10.8)	0.700 (23.3)
Group2	0.481 (88.9)	0.559 (54.2)	0.234 (8.49)	0.249 (4.17)	0.501 (6.45)	0.348 (13.0)	0.708 (17.3)	0.550 (9.87)
Group3	0.441 (73.2)	0.673 (140)	0.406 (150)	0.545 (59.6)	0.606 (9.52)	0.694 (44.7)	0.634 (45.5)	0.722 (76.4)

() 内はt値

きな旅行時間の変動を経験している。実験後半部では内生的に旅行時間が決定される実験に移行し、さらにグループ2と統合された。そのため旅行時間変動パターンは大きく変化した。前半部で幅広い旅行時間の変動を経験しているので旅行時間予測機構への影響は小さかったものと考えられる。グループ3は後半部も独立して旅行時間を決定したため、増加傾向は見られるが、 β の値の大きな変動はなかったと考えられる。一方、グループ2では、前半部で経験した旅行時間変動がグループ1に比べて小さかったため、後半部でグループ1と統合され、例えば41分という大きな旅行時間を経験したことで旅行時間予測機構に影響を及ぼし β の変化を招いたと考えられる。

旅行時間の変動パターンが、実験の途中で大きく変化する場合、変化の前に経験した実旅行時間の存在領域が広いケース及び旅行時間の定義方法の変更の前後で被験者集団に変わりがなく、同一の旅行時間変動パターンを経験するケースは、旅行時間予測機構は大きく変化することなく、変化後の走行経験の蓄積と共に緩やかに修正される。一方、旅行時間の変動パターンの変化前に経験した実旅行時間の存在領域が小さく、さらに走行経験の異なる被験者が変化後混在した場合、換言すればドライバーの走行環境が大きく変化した、走行結果として得られる実旅行時間の存在範囲が拡大した場合、経路選択行動及び旅行時間予測機構は安定せず、新たな走行経験を通して更新されると考えられる。安定した旅行時間予測モデルを推定するには幅広い旅行時間の変動を被験者に経験させる必要があると考えられる。

6. 結論

本研究では、新たな2つの実験(E, F)を既存の実験結果とを比較することにより、次の結論を得た。

①経路数の増加は全体的な経路変更率の上昇につな

がる。

②被験者は実旅行時間及び予測誤差で走行結果を評価する傾向がある。被験者の多くが実旅行時間が均衡状態の30分の近傍で予測誤差が

正の小さな値のときに満足している。

③振幅の大小にかかわらず、同一周期の振幅が一定の旅行時間変動パターンに対しては、被験者の反応は類似の傾向を示す。前回の実旅行時間に対して敏感に反応した形の旅行時間予測が行われる。

④幅広くかつ様々な実旅行時間の経験を基礎とする旅行時間予測機構は安定性が高い。その一方、経験した実旅行時間の存在範囲が狭いときは、予測機構は安定せず、新たな走行経験を介して更新される。

上記の結論をふまえて、検討すべき今後の課題を挙げてみると、以下の様になる。

- ①ドライバーの経路選択行動を明示的に取り扱った経路選択モデルを構築し、経路選択行動を再現し、情報提供の効果について分析する。
- ②被験者に経路の所要時間についての情報を与え、情報がない場合の経路選択行動とを比較してみる。

◆参考文献◆

- 1) Joel L. Horowitz: The Stability of Stochastic Equilibrium in a Two-Link Transportation Network, Transpn. Res. -B, Vol. 18B, No.1, pp. 13-28, 1984
- 2) Mahmassani, H.S. & Chang, G.-L.: Experiments with departure time choicedynamics of urban commuters, Transpn. Res. Vol. 20B, No. 4 pp. 297-320, 1986.
- 3) Chang, G.-L. & Mahmassani, H.S.: Travel time prediction and departure time adjustment behavior dynamics in a congested traffic system, Transpn. Res., Vol. 22B, pp. 217-232, 1983.
- 4) 飯田恭敏・内田敏・山本政博・村田重雄: 実験アプローチによる経路選択行動のモデル化、土木計画学研究・講演集, No14, pp271-278, 1991
- 5) Parks, R.W.: Efficient estimation of a system of regression equations when disturbances are both serially and contemporaneously correlated, Journal of American Statistical Association, Vol. 62, pp. 500-509, 1967.