

所要時間の不確実性を考慮した自動車運転者の出発行動モデルの構築*

Driver's Departure Behavior Model Considering Variable Trip Time*

高嶋 裕治** 荒井 徹*** 谷下 雅義**** 鹿島 茂****

By Yuji TAKASHIMA**, Tohru ARAI***, Masayoshi TANISHITA**** and Shigeru KASHIMA****

1. はじめに

移動に費やす所要時間は、選択する経路の交通混雑状況によって確率的に変動する。自動車運転者は到着時刻に制約が存在する場合、遅刻によるペナルティ（損失）を充分小さくしようと、また、早着による無駄（損失）を最小にしようとして出発行動を決定すると考えられる。すなわち、出発行動は所要時間についての期待値のみでなく、遅刻及び早着の損失を考慮した「到着余裕時間」に基づいて行っているとみなすことができる。

本研究は、到着時刻に制約がある自動車運転者を対象に、「出発行動の決定」を「到着余裕時間の形成」と仮定し、所要時間の不確実性に応答するためにどのように到着余裕時間を形成するかを分析することを目的とする。具体的には以下のようにまとめられる。

- ①自動車運転者の出発行動の決定原理に関する仮説を設定し、出発行動モデルを構築する。
- ②構築した出発行動モデルより、所要時間の不確実性に対する効用及び到着余裕時間を推定する。

2. 出発行動の仮定

自動車運転者は、経験により所要時間分布を知覚しており、実際の所要時間と想定した所要時間の差により遅刻による損失及び早着による損失を認識すると仮定する。すなわち、図1に示すように出発行動を決定すると仮定する。

出発行動に関する決定原理については、以下に示す2つの仮説を設定する。

- ・仮説1：損失均衡化行動

$$\min_{Z_{\text{safety}}} | \text{遅刻損失 LL} - \text{早着損失 EL} |$$

*キーワード：交通行動分析

**学生員 中央大学大学院 理工学研究科

〒112 東京都文京区春日1-13-27

TEL: 03-3817-1817 FAX: 03-3817-1803

***正員 工修 東京都港湾局

****正員 工博 中央大学理工学部

出発行動は、遅刻損失LLと早着損失ELとの大小関係が判断不可能な均衡状態となった結果の行動、すなわち、双方の損失の差を最小とすることにより決定される行動とする。

- ・仮説2：損失最小化行動

$$\min_{Z_{\text{safety}}} (\text{遅刻損失 LL} + \text{早着損失 EL})$$

出発行動は、遅刻損失LLと早着損失ELとの和である総損失を最小とすることにより決定される行動とする。

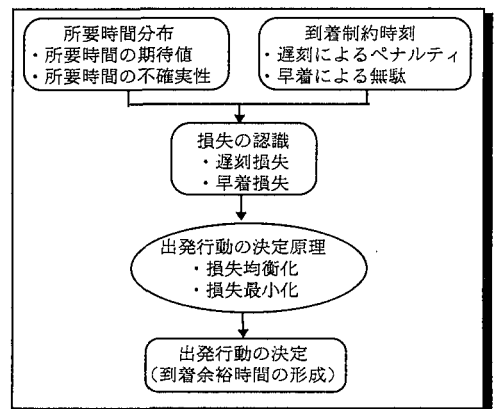


図1 自動車運転者の出発行動

3. 出発行動モデル

自動車運転者が知覚する所要時間分布 $f(t)$ を平均 μ 、分散 σ^2 の「正規分布」及び「対数正規分布」と仮定する。

- ・所要時間分布を正規分布とした場合

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp \left\{ -\frac{(t - t_{\text{start}} - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

- ・所要時間分布を対数正規分布とした場合

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi(t - t_{\text{start}})} \cdot \exp \left\{ -\frac{\{\ln(t - t_{\text{start}}) - \lambda\}^2}{2\xi^2} \right\}$$

ただし、 t ：到着時刻、 t_{start} ：出発時刻

λ, ξ : 確率密度関数のパラメータ
 また、遅刻及び早着の時間当たりの損失関数 $LL(t)$, $EL(t)$ を線形と仮定することにより、

$$LL(t) = w_{late} \cdot (t - t_p)$$

$$EL(t) = w_{early} \cdot (t_p - t)$$

ただし、 w_{late} : 遅刻の負効用 (損失費用 [円/分])
 w_{early} : 早着の負効用 (損失費用 [円/分])
 自動車運転者が認識する遅刻損失 LL 及び早着損失 EL は、それぞれ次のように定式化され、ともに Z_{safety} の関数となる。

$$LL = \int_{t_p}^{+\infty} LL(t) \cdot f(t)dt$$

$$= \frac{w_{late}}{\sqrt{2\pi}} \int_{Z_{safety}}^{+\infty} (Z - Z_{safety}) \cdot \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ$$

$$EL = \int_{-\infty}^{t_p} EL(t) \cdot f(t)dt$$

$$= \frac{w_{early}}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Z_{safety}} (Z_{safety} - Z) \cdot \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ$$

ただし、 Z_{safety} : 標準化到着余裕時間
 ・所要時間分布を正規分布とした場合

$$Z_{safety} = \frac{T_{safety} - T_m}{\sigma}$$

・所要時間分布を対数正規分布とした場合

$$Z_{safety} = \frac{\mu}{\sigma} \cdot \ln\left(\frac{T_m + T_{safety}}{T_m}\right)$$

T_{safety} : 到着余裕時間
 T_m : 通常所要時間

4. 調査と分析対象データ

到着余裕時間の形成状況を調べるためアンケートによる調査を実施した。その概要を表1に示す。有効回答は通常所要時間・最大所要時間・最小所要時間において適切な大小関係を満たし、かつ長いトリップを除外するという観点から通常所要時間が3時間以内の回答とした。

5. 所要時間の不確実性に対する効用の推定

(1) 推定方法

1) 仮説1：損失均衡化行動

自動車運転者 i は、次式のように行動していると仮定する。

表1 調査の概要	
調査形式	アンケート調査
調査対象	第20回首都圏高速道路交通起終点調査回答者より無作為に抽出した1,200名
調査期間	1992年10月～11月
調査方法	郵送による配布及び回収
調査項目	(1). 利用頻度の高いリンクにおいて経験する、 ・通常所要時間 ・最大所要時間 ・最小所要時間 ・到着時刻に制約があるときの見込む余裕時間
	(2). 自動車運転者の個人属性
	(3). 所要時間の不確実性に対する態度
回収率	56.3%(= 676/1,200)
有効回答率	81.8%(= 553/ 676)

$$\min_{Z_{safety}} \text{損失差} \Delta L = | \text{遅刻損失} LL^i - \text{早着損失} EL^i |$$

$$= | w_{late} \cdot L(Z_{safety}^i) - w_{early} \cdot E(Z_{safety}^i) |$$

上式を次式のように線形モデルとして、最小二乗法によりパラメータ α, β を推定する。

$$L(Z_{safety}^i) = \alpha \cdot E(Z_{safety}^i) + \beta$$

$$\alpha = \frac{w_{early}}{w_{late}}, \quad \beta = \frac{\Delta L}{w_{late}}$$

2) 仮説2：損失最小化行動

自動車運転者 i は、次式のように行動していると仮定する。

$$\min_{Z_{safety}} \text{総損失} L^i = \text{遅刻損失} LL^i + \text{早着損失} EL^i$$

$$= w_{late} \cdot L(Z_{safety}^i) + w_{early} \cdot E(Z_{safety}^i)$$

上式を次のように最小化問題としてパラメータ α を推定する。

$$\min_{Z_{safety}} L^i = L(Z_{safety}^i) + \alpha \cdot E(Z_{safety}^i)$$

$$\alpha = \frac{w_{early}}{w_{late}}$$

(2) 推定結果

推定結果を表2.1に示す。

①推定されたパラメータ α は、総じて早着の負効用の方が遅刻の負効用より小さな評価となった。つまり、自動車運転者は早着による無駄よりも遅刻によるペナルティの負効用の方をより大きく認識することを示している。

②出発行動の決定原理において比較してみると、いずれの所要時間分布においても、損失均衡化行動とした場合の値の方が、損失最小化行動とした場合のそれよ

り大きな評価となった。つまり、損失均衡化行動とした場合は、早着の負効用をより大きく認識する決定行動であることを、また、損失最小化行動とした場合は、遅刻の負効用をより大きく認識する決定行動であることを示している。

③所要時間分布を対数正規分布とした場合の方が、正規分布とした場合より精度の良好な結果が得られた。

所要時間分布を対数正規分布とした場合のトリップ長及び自動車運転者の個人属性を考慮した推定結果を表2.2、表2.3に示す。

④トリップ長で比較すると、いずれの出発行動の決定原理においても、短いトリップの方がより精度の良好な結果となった。

⑤個人属性を考慮した推定結果においては、各属性間に明確な相違がみられず、パラメータ α の推定に関しては、個人属性を考慮する必要性が小さいことを示す結果が得られたと言える。

6. 到着余裕時間の推定

6.1 推定結果

出発行動モデルと所要時間の不確実性に対する効用に基づいて到着余裕時間を推定した結果を表3.1に示す。実績値 $\bar{z}_{\text{safety}}$ は到着余裕時間を自動車運転者個々人で標準化し有効サンプルで平均化したものを、適合度は推定値と実績値との関係を次のように定義したものを示す。

$$\text{適合度}(\%) = \frac{\text{推定値} - \text{実績値}}{\text{実績値}} \times 100$$

表3.1より、

①推定された到着余裕時間は、いずれの所要時間分布においても、出発行動の決定原理を損失均衡化行動とした場合は、実績値に対しては小さな評価となり、損失最小化行動とした場合は大きな評価となった。

表2.1 パラメータの推定結果

所要時間分布	損失均衡化行動			損失最小化行動	
	α	β	相関係数	α	相関係数
正規分布	0.0321 (17.339)	0.1331 (43.048)	0.5941	0.0149 (5.984)	0.5943
対数正規分布	0.1840 (35.146)	0.4279 (94.138)	0.8316	0.0871 (25.834)	0.8315

表2.2 トリップ長を考慮したパラメータの推定結果

所要時間分布	通常所要時	サンプル数 (%)	損失均衡化行動			損失最小化行動	
			α	β	相関係数	α	相関係数
対数	0~60分	240 (43.4%)	0.2335 (28.940)	0.4458 (57.522)	0.8824	0.0782 (24.039)	0.8825
正規分布	60~180分	313 (56.6%)	0.1556 (25.492)	0.4278 (87.965)	0.8224	0.0939 (27.806)	0.8222

上段：パラメータ、(下段)：t値

表2.3 自動車運転者の個人属性を考慮したパラメータの推定結果

所要時間分布	自動車運転者の個人属性	サンプル数	損失均衡化行動			損失最小化行動	
			α	β	相関係数	α	相関係数
対数正規分布	年齢階層						
	~29歳	55	0.1879	0.4342	0.8546	0.0842	0.8555
	30~39歳	126	0.2105	0.4439	0.8603	0.1025	0.8726
	40~49歳	156	0.2245	0.4571	0.8950	0.0958	0.8966
	50~59歳	157	0.1559	0.4081	0.7789	0.0799	0.7802
	60歳~	59	0.1559	0.4141	0.8165	0.0671	0.8196
	年収階層						
	~300万円	23	0.2597	0.4903	0.9560	0.1634	0.9631
	301~600万円	191	0.1767	0.4191	0.8318	0.0708	0.8365
	601~900万円	185	0.2335	0.4612	0.9025	0.0961	0.9111
	901~1200万円	77	0.2294	0.4715	0.9214	0.1129	0.9263
	1201~1500万円	35	0.1972	0.4546	0.8382	0.1919	0.8521
	1501万円~	35	0.2564	0.4762	0.9107	0.1368	0.9326
	走行目的						
	商談・事務	124	0.1895	0.4355	0.8541	0.0903	0.8542
	通勤・通学	177	0.2173	0.4453	0.8706	0.0896	0.8707
	客輸送	49	0.1714	0.4344	0.8692	0.0738	0.8692
	貨物輸送	104	0.2462	0.4798	0.9332	0.1220	0.9332
	レジャー・買い物他	82	0.1175	0.3805	0.7178	0.0607	0.7177

②出発行動の決定原理を損失最小化行動かつ所要時間分布を対数正規分布とした場合に精度の良好な結果が得られた。

所要時間分布を対数正規分布とした場合のトリップ長及び自動車運転者の個人属性を考慮した推定結果を表3.2、表3.3に示す。

③出発行動の決定原理を損失均衡化行動とした場合より、損失最小化行動とした場合の方がより精度の良好な結果が得られた。これは、自動車運転者の「出発行動の決定」を「到着余裕時間の形成」とする仮定に基づく、損失最小化行動とした場合の方がより有意であることを示している。

7. おわりに

到着時刻に制約の存在する自動車運転者を対象に、所要時間の不確実性を考慮した出発行動の決定を「到着余裕時間の形成」と仮定し、その行動を示すモデルを構築した。また、そのモデルにより所要時間の不確

実性に対する効用及び到着余裕時間の推定を試みた。その結果、自動車運転者が知覚する所要時間分布においては、従来の正規分布とする仮定より、対数正規分布とする仮定の方がより精度の良好な結果が得られ、出発行動の決定原理については、従来の決定原理に基づいた損失最小化行動とした場合の方がより精度の良好な結果が得られた。

今後の課題は、所要時間の不確実性に対する効用を推定することを目的とした調査票の設計及び調査の実施、仮説1に対する個人の行動理論からの裏付けなどが挙げられる。

【参考文献】

1) Hall,R.W. : Travel outcome and performance : The effect of uncertainty on accessibility. *Transpn. Res.-B*,Vol.17B,No.4,pp27 5-290, 1983
2) 飯田・柳沢・内田：通勤ドライバーの出発時刻と経路選択の同時選択に関する行動分析, 交通工学, Vol.28 No.6, pp11-20,1993

表3.1 到着余裕時間の推定結果

所要時間分布	損失均衡化行動			損失最小化行動			実績値 $\bar{Z}_{safety}$
	α	Z_{safety}	適合度	α	Z_{safety}	適合度	
正規分布	0.0321	1.318	-17.1%	0.0149	2.178	+37.1%	1.589
対数正規分布	0.1840	0.669	-47.6%	0.0871	1.404	+9.9%	1.277

表3.2 トリップ長を考慮した到着余裕時間の推定結果

所要時間分布	通常所要時間	サンプル数(%)	損失均衡化行動			損失最小化行動			実績値 $\bar{Z}_{safety}$
			α	Z_{safety}	適合度	α	Z_{safety}	適合度	
対数正規分布	0~60分	240(43.4%)	0.2335	0.576	-55.7%	0.0782	1.457	+12.0%	1.301
	60~180分	313(56.6%)	0.1556	0.733	-41.7%	0.0939	1.367	+8.7%	1.258

表3.3 自動車運転者の個人属性を考慮した到着余裕時間の推定結果

所要時間分布	自動車運転者の個人属性	サンプル数	損失均衡化行動			損失最小化行動			実績値 $\bar{Z}_{safety}$
			α	Z_{safety}	適合度	α	Z_{safety}	適合度	
対数正規分布	年齢階層								
	～29歳	55	0.1879	0.660	-48.4%	0.0842	1.421	+11.0%	1.280
	30～39歳	126	0.2105	0.616	-50.8%	0.1025	1.323	+5.7%	1.252
	40～49歳	156	0.2245	0.591	-51.8%	0.0958	1.357	+10.8%	1.225
	50～59歳	157	0.1559	0.732	-44.4%	0.0799	1.447	+10.0%	1.316
	60歳～	59	0.1559	0.732	-46.2%	0.0671	1.531	+12.5%	1.361
	年収階層								
	～300万円	23	0.2597	0.534	-67.3%	0.1634	1.078	-33.9%	1.632
	301～600万円	191	0.1767	0.684	-49.0%	0.0708	1.506	+12.3%	1.341
	601～900万円	185	0.2335	0.576	-54.1%	0.0961	1.355	+7.9%	1.256
	901～1200万円	77	0.2294	0.583	-49.3%	0.1129	1.273	+10.8%	1.149
	1201～1500万円	35	0.1972	0.641	-36.7%	0.1919	0.990	-2.3%	1.013
	1501万円～	35	0.2564	0.539	-52.9%	0.1368	1.173	+2.4%	1.145
	走行目的								
	商談・事務	124	0.1895	0.657	-48.8%	0.0903	1.386	+8.0%	1.283
	通勤・通学	177	0.2173	0.604	-50.5%	0.0896	1.390	+13.8%	1.221
	客輸送	49	0.1714	0.696	-47.6%	0.0738	1.485	+11.7%	1.329
	貨物輸送	104	0.2462	0.555	-54.9%	0.1220	1.233	+0.2%	1.231
	レジャー・買い物他	82	0.1175	0.840	-41.9%	0.0607	1.579	+9.1%	1.447