【土木計画学研究・論文集　No. 14　1997年9月】

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

Driver's Departure Behavior Model Considering Variable Trip Time*

高嶋　裕治**、谷下　雅義***、鹿島　茂***、荒井　徹****
by Yuji TAKASHIMA, Masayoshi TANISHITA, Shigeru KASHIMA and Toru ARAI

1．はじめに

従来より混雑や沿道環境問題に対する交通政策として、道路や駐車場の整備といった交通施設整備（供給量の増大策）が行われてきたが、これが新たな交通需要を誘発し、混雑緩和にはつながらない可能性があるとの指摘がなされてきた。そこで注目されているのが、混雑料金制の導入や公共交通機関への転換などの交通需要管理政策である。混雑は、ある特定の時間にその供給量を上回るだけ交通需要が発生することから生じるのであり、交通需要管理政策はその需要をコントロールしようとするものである。したがって、有効な交通需要管理政策を立案するためには、各自動車運転者がどのように出発時刻を決定しているのか、についてのできるだけ正確な把握が不可欠である。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（以下、遅刻損失と呼ぶ）と早着による無駄（以下、早着損失と呼ぶ）を考慮して出発時刻を決定していると考えられる。出発時刻の決定は不確実性下での意志決定であり、この際、遅刻損失と早着損失を均等にする、あるいは双方の損失の和を最小にするように決定するという基準が考えられる。しかしながら、Hallをはじめとする既存研究[1)~7)]では、遅刻損失と制約時刻までに費やされる「実効所要時間」による損失（早着損失と解釈できる）との和を最小化する基準のみが設定され、モデル化及びモデルパラメータの推定がなされており、他の行動仮説については議論されていない。そこで本研究では、自動車運転者の出発行動の決定基準として、遅刻と早着の損失差の最小化と双方の損失和の最小化の2つの行動仮説を設定し、それらの仮説に基づいて出発行動モデルを構築することを目的とする。さらに実際の自動車運転者に対して行ったアンケート調査をもとに、出発行動モデルのパラメータ（時間価値の比）を推定し、自動車運転者の出発行動について考察を行う。

*キーワード：不確実性、出発行動、到着余裕時間
**　学生会員　中央大学理工学部大学院
〒112 文京区春日1-13-27　TEL 03-3817-1817/FAX 03-3817-1803
***　正会員　工博　中央大学理工学部
****　工修　東京都港湾局

2．出発行動に関する2つの仮説

(1) 見込み到着余裕時間

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、遅刻による損失を充分小さくしようとし、また早着による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、各自動車運転者の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、それらを見込んで行っているとみなすことができる。したがって、出発時刻は、出発時点において想定する所要時間分布をもとに「到着余裕時間」を見込んで決定していると考えられる。そこで、本研究では、各自動車運転者が所要時間の不確実性に応答するためにどのように「見込み到着余裕時間」を形成するか、に着目して分析を進める。なお、ここで「見込み」という言葉をつけているのは、交通行動を行った結果として実現する値との区別をつけるためであり、「見込み」とは出発行動を行う際、見込む（予想する）ものであることを示す。

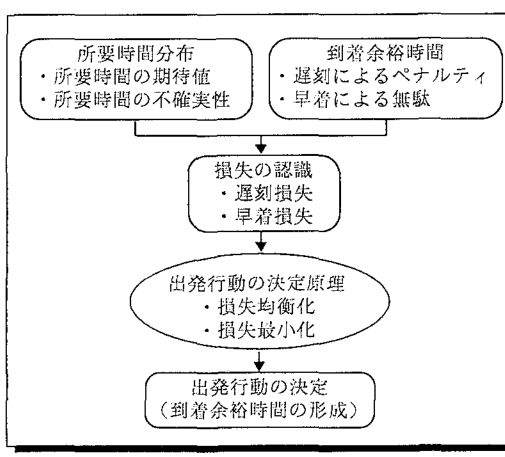


図1　自動車運転者の出発行動

(2) 自動車運転者の出発行動についての仮説

各自動車運転者 i（以下、特に必要のない限り、添え字 i を省略する）は、経験により所要時間の確率分布を知覚しているものとする（図 1 参照）。各自動車運転者は、この所要時間分布をもとに遅刻損失と早着損失を想定し、出発行動、すなわち見込み到着余裕時間の決定を行う。ここで、不確実性下での意志決定においては、1)Hurwicsz 基準〔MaxMin 基準(可能な限り大損害を回避しようとする決定基準)と MaxMax 基準(損害より利得を優先しようとする決定基準)を組み合わせたもので損失和を最小化する基準〕、2)regret 基準〔損失差である機会損失(後悔(regret)と呼ばれている)を最小化する基準〕、3)Laplace 基準〔各損失が等確率で生起する(Laplace の不十分性の原理)としその損失和を最小化する基準〕などがあげられる[8]。

本研究では、自動者運転者の出発行動の決定原理、すなわち各自動車運転者が出発時に見込む到着余裕時間の決定原理として、遅刻と早着の損失の差を最小化する、もしくは双方の損失の和を最小化するという 2 つの仮説を設定する。

・仮説 1 ：損失均衡化行動

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

ここで T_{safety} は見込み到着余裕時間を示す。

これは、遅刻損失 LL と早着損失 EL との差をできるだけ最小（すなわち 0）となるように見込み到着余裕時間を決定する行動であり、regret 基準として解釈できる。

・仮説 2 ：損失最小化行動

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

これは、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行動である。Hurwicsz 基準に等しく、従来研究はこの仮定を置いていると解釈できる。

3. モデル

(1) 自動車運転者が知覚する所要時間分布に関する仮定

今、出発時刻を t_{start} とし、自動車運転者が知覚する到着時刻 t の確率密度関数 f(t)は平均 μ、分散 σ^2 の「正規分布」及び「対数正規分布」と仮定する。このとき f(t)は以下の式で表現される（図 2 上 参照）。

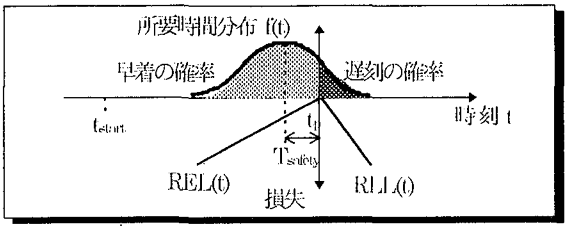


図 2　所要時間分布と早着・遅刻損失

・「正規分布」とした場合

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

・「対数正規分布」とした場合

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_l \left(t - t_{start}\right)} \cdot \exp\left[-\frac{\left\{\ln\left(t - t_{start}\right) - \mu_l\right\}^2}{2\sigma_l^2} \right] \tag{2}$$

ただし、$\mu_l \cdot \sigma_l^2$ ： 確率密度関数のパラメータ

・$\mu_l = \ln\left(t_m - t_{start}\right)$　　t_m は中央値

・$\sigma_l^2 = \ln\left(1 - \dfrac{\sigma^2}{\mu^2}\right)$

ここで、$t_{start} = 0$ とすれば f(t)は所要時間分布と等しい。

(2) 早着損失と遅刻損失についての仮定

遅刻及び早着の単位時間当たりの損失 w_{late}、w_{early} を一定と仮定する。到着時刻 t、到着制約時刻 t_p とするとき、実現する遅刻損失 RLL(t)及び早着損失 REL(t)は次式で表現される（図 2 下 参照）。

$$RLL(t) = w_{late} \cdot \left(t - t_p\right) \tag{3}$$

$$REL(t) = w_{early} \cdot \left(t_p - t\right) \tag{4}$$

ただし，w_{late} ：遅刻の時間価値［円／分］
　　　　w_{early} ：早着の時間価値［円／分］

(3) 見込み到着余裕時間と損失

出発行動を開始する前においては、各自動車運転者は、所要時間分布 f(t)と到着制約時刻 t_p をもとに、見込み到着余裕時間 T_{safety} を決定する。正規分布の場合には出発時刻に平均所要時間とこの見込み到着余裕時間を加えたものが、対数正規分布の場合には所要時間分布の中央値に見込み到着余裕時間を加えたものが、到着制約時刻 t_p となる。そこで、見込み遅刻損失 LL 及び見込み早着損失 EL の期待値は、それぞれ(5),(6)式で表すことができる。

$$LL(T_{safety}) = \int_{t_p}^{+\infty} RLL(t) \cdot f(t)dt \quad (5)$$

$$EL(T_{safety}) = \int_{-\infty}^{t_p} REL(t) \cdot f(t)dt \quad (6)$$

（4）仮説 1 モデル

上記の仮定により、仮説 1（損失均衡化行動）に基づく、自動車運転者 i の見込み到着余裕時間 $T_{safety}{}^i$ は遅刻損失と早着損失の差 $DL^i(T_{safety}{}^i)$を最小化したもの、すなわち、$LL^i(T_{safety}{}^i) = EL^i(T_{safety}{}^i)$を解くことにより求められる。したがって、仮説 1 モデルは(7)式のようになる。

$$\min_{T_{safety}{}^i} \quad DL^i(T_{safety}{}^i) = \left| LL^i(T_{safety}{}^i) - EL^i(T_{safety}{}^i) \right|$$

$$w_{late}{}^i \int_{t_p{}^i}^{+\infty} \left(t - t_p{}^i\right) \cdot f(t)dt = w_{early}{}^i \int_{-\infty}^{t_p{}^i} \left(t_p{}^i - t\right) \cdot f(t)dt \quad (7)$$

ここで、遅刻、早着損失を以下のように表す。

・遅刻損失：$LL^i(T_{safety}{}^i) = w_{late}{}^i \int_{t_p{}^i}^{+\infty} \left(t - t_p{}^i\right) \cdot f(t)dt$

$$= w_{late}{}^i \cdot NLL^i(T_{safety}{}^i) \quad (8)$$

・早着損失：$EL^i(T_{safety}{}^i) = w_{early}{}^i \int_{-\infty}^{t_p{}^i} \left(t_p{}^i - t\right) \cdot f(t)dt$

$$= w_{early}{}^i \cdot NEL^i(T_{safety}{}^i) \quad (9)$$

したがって、(7)式より次の関係が得られる。

$$\alpha_1{}^i = \frac{w_{early}{}^i}{w_{late}{}^i} = \frac{NLL^i\left(T_{safety}{}^i\right)}{NEL^i\left(T_{safety}{}^i\right)} \quad (10)$$

ここで、$T_{safety}{}^i$ を注 1 に示すように変数変換によって見込み標準化到着余裕時間 $Z_{safety}{}^i$ に置き換えることで、(10)式はいずれの所要時間分布においても次式のように表すことができる。

$$\alpha_1{}^i = \frac{w_{early}{}^i}{w_{late}{}^i} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{Z_{safety}{}^{i2}}{2}\right) - \frac{Z_{safety}{}^i}{2}\left(1 - erf\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot Z_{safety}{}^i\right)\right)}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{Z_{safety}{}^{i2}}{2}\right) + \frac{Z_{safety}{}^i}{2}\left(1 + erf\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot Z_{safety}{}^i\right)\right)} \quad (11)$$

ここで、erf(•)は誤差関数を示す。

この $\alpha_1{}^i$ は、仮説 1 に基づく自動車運転者 i の遅刻の時間価値と早着の時間価値の比、すなわち遅刻損失と早着損失に関する選好を示すパラメータである。この α_1 の値が T_{safety} を規定することとなる。また、この式の性質から α_1 の値は一意に決まる。

（5）仮説 2 モデル

同様に、仮説 2（損失最小化行動）に基づく、自動車運転者 i の見込み到着余裕時間 $T_{safety}{}^i$ は遅刻損失と早着損失の和である総損失 $TL^i(T_{safety}{}^i)$を最小化する値であり、具体的には(12)式を解くことにより求められる。

$$\min_{T_{safety}{}^i} \quad TL^i(T_{safety}{}^i) = LL^i(T_{safety}{}^i) + EL^i(T_{safety}{}^i)$$

$$\frac{\partial\, TL^i(T_{safety}{}^i)}{\partial\, T_{safety}{}^i} = \frac{\partial\, LL^i\left(T_{safety}{}^i\right)}{\partial\, T_{safety}{}^i} + \frac{\partial\, EL^i\left(T_{safety}{}^i\right)}{\partial\, T_{safety}{}^i} = 0 \quad (12)$$

ここで、(8),(9)式より次の関係が得られる。

$$\alpha_2^i = \frac{W_{early}{}^i}{W_{late}{}^i} = \frac{\partial\, NLL^i\left(T_{safety}{}^i\right) / \partial\, T_{safety}{}^i}{\partial\, NEL^i\left(T_{safety}{}^i\right) / \partial\, T_{safety}{}^i} \quad (13)$$

仮説 1 と同様に、変数変換によって、(13)式は次式のように表すことができる[注1]。

$$\alpha_2{}^i = \frac{W_{early}{}^i}{W_{late}{}^i} = \frac{1 - erf\left(\frac{1}{\sqrt{2}} Z_{safety}{}^i\right)}{1 + erf\left(\frac{1}{\sqrt{2}} Z_{safety}{}^i\right)} \quad (14)$$

仮説 1 と同様に $\alpha_2{}^i$ は、自動車運転者 i の遅刻と早着の時間価値に対する選好を示す、すなわち T_{safety} を規定するパラメータである。

（6）α_1 と α_2 の関係

α_1 と α_2 はともに(11),(14)式で示したように Z_{safety} の関数であり、この Z_{safety} を媒介変数として図 2 に示すような関係がある。

この図から読み取れるように、$\alpha_1 < \alpha_2$ という関係が成立している。つまり、遅刻の時間価値を一定とした場合、損失均衡化行動よりも損失最小化行動の方が、早着の時間価値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。

では、この 2 つの仮説においてこの時間価値の比 α の分布は異なるのか、また個人の属性によって差はあるのであろうか。以下では、実際のデータをもとに検討を行う。

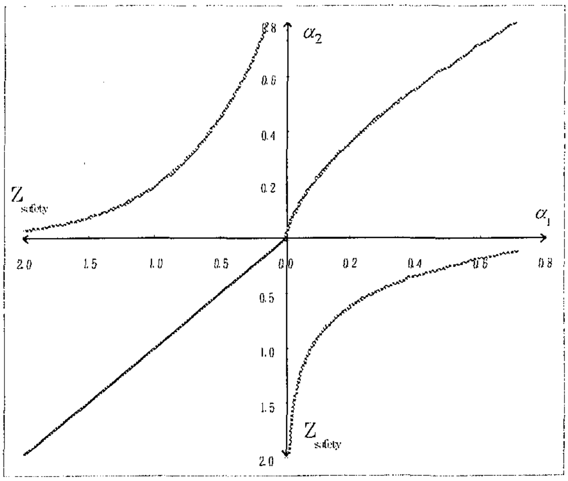


図2　Z_{safety}とα_1, α_2の関係（f(t)が正規分布の場合）

4．アンケート調査の分析

（1）調査概要と分析対象データ

分析に用いるデータは、首都高速道路利用者を対象に郵送による配布によって収集されたアンケートデータである。

この調査は所要時間提供による首都高速道路利用者の交通行動を把握するものであり、出発行動に関連した設問もなされていることから、このデータを用いることとした。

調査の概要を表1に示す。有効回答は通常・最大・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。

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　(T_m) ・最大所要時間　(T_{max}) ・最小所要時間　(T_{min}) ・到着時刻に制約があるときに見込む余裕時間　(T_{safety}) 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)

（2）到着時刻分布 f(t)の設定

自動車運転者が知覚している所要時間分布のパラメータは次式より求めた[注2)]。

$$\cdot\ \mu^i = \frac{T_m{}^i + T_{max}{}^i + T_{min}{}^i}{3}$$

$$\cdot\ \sigma^{i^2} = \frac{1}{2}\left\{\left(T_m{}^i - \mu^i\right)^2 + \left(T_{max}{}^i - \mu^i\right)^2 + \left(T_{min}{}^i - \mu^i\right)^2\right\}$$

ここで、μ^i　：自動車運転者 i の所要時間の平均値

σ^i　：自動車運転者 i の所要時間の標準偏差

T_m、T_{max}、T_{min}：通常、最大、最小所要時間

なお、対数正規分布のパラメータ μ_l 、$\sigma_l{}^2$ に関しては、この式より求まる μ^i 、σ^i を用いて算出を行っている。

（3）パラメータαの推定とその考察

前章で示したように、パラメータα^iは見込み標準化到着余裕時間$Z_{safety}{}^i$の関数となる。アンケート調査では、各自動車運転者の到着余裕時間$T_{safety}{}^i$を尋ねており、この値からパラメータα^iの推定を行った。

全自動者運転者を対象とした推定結果を表2に示す。この結果から以下のことがいえる。

①推定されたパラメータα^iの平均値は、総じて1より小さな値となった。これは、早着の不効用の方が遅刻の不効用より小さく評価されていることを示しており、常識的に考えられるように、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方をより大きく認識していることを示している。平均値として、遅刻の時間価値を1とした場合、早着の時間価値は、約0.1～0.2の間であることがわかる。

②出発行動の決定原理において比較してみると、仮説1（損失均衡化行動）のαの値は、仮説2（損失最小化行動）の値の約52～54%となり、$\alpha_1 < \alpha_2$という関係が成立している。

③到着時刻分布の観点からみると、仮説1，2を問わず、対数正規分布の方がαの値が大きい。これは常識的に考えられるように対数正規分布の形状が遅刻損失を大きくすることによるためである。

次に、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及び表4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、長いトリップの方がよりαが大きい結果となった。これは、長いトリップほど早着の時間

価値を大きく認識しているといえる。

⑤個人属性を考慮した推定結果においては、遅刻の時間価値を一定とすると、次のことがいえる。

- **年齢**：年長になるに従って、早着の時間価値を小さく評価するようになる。つまり、若い人ほど見込み到着余裕時間が短いことを意味する。
- **年収**：高所得者になるほど、早着の時間価値を大きく評価する傾向がある。ただし、年収300万円未満の場合にも早着の時間価値は大きく評価されていることに留意すべきである。
- **走行目的**：常識的に考えられるように、客輸送の場合が最も早着の時間価値が小さい。これは、到着余裕時間を多く見込み、できるだけ早く出発するといえる。

表2　パラメータの推定結果

所要時間分布	損失均衡化行動（仮説1）			損失最小化行動（仮説2）		
	平均値：α_1	分散	変動係数	平均値：α_2	分散	変動係数
正規分布	0.0973	0.0144	1.233	0.1812	0.0290	0.940
対数正規分布	0.1013	0.0112	1.045	0.1964	0.0233	0.777

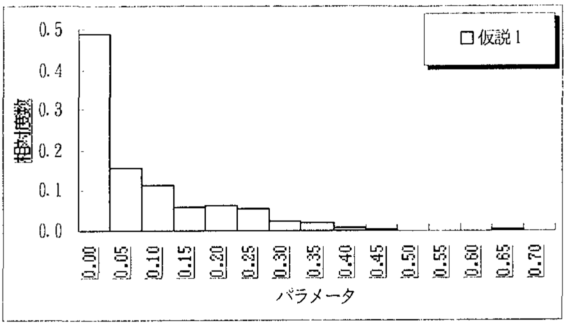
表3　トリップ長を考慮したパラメータの推定結果

所要時間分布	通常所要時間	ｻﾝﾌﾟﾙ数	損失均衡化行動（仮説1）			損失最小化行動（仮説2）		
			平均値	分散	変動係数	平均値	分散	変動係数
正規分布	0～60分	240	0.0912	0.0163	1.400	0.1673	0.0314	1.059
	60～180分	313	0.1019	0.0130	1.119	0.1918	0.0271	0.858
対数正規分布	0～60分	240	0.0884	0.0111	1.196	0.1747	0.0228	0.864
	60～180分	313	0.1114	0.0111	0.946	0.2130	0.0231	0.714

表4　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	ｻﾝﾌﾟﾙ数	損失均衡化行動（仮説1）			損失最小化行動（仮説2）		
			平均値	分散	変動係数	平均値	分散	変動係数
正規分布	年齢階層							
	～29歳	55	0.1142	0.0183	1.185	0.2007	0.0362	0.948
	30～39歳	126	0.1124	0.0181	1.197	0.2024	0.0330	0.898
	40～49歳	156	0.0950	0.0116	1.134	0.1819	0.0256	0.880
	50～59歳	157	0.0846	0.0119	1.289	0.1635	0.0256	0.979
	60歳～	59	0.0887	0.0167	1.457	0.1626	0.0318	1.097
	年収階層							
	～300万円	23	0.1144	0.0273	1.444	0.1962	0.0425	1.051
	301～600万円	191	0.0844	0.0114	1.265	0.1624	0.0257	0.987
	601～900万円	185	0.0877	0.0111	1.201	0.1703	0.0247	0.923
	901～1200万円	77	0.1278	0.0219	1.158	0.2177	0.0404	0.923
	1201～1500万円	35	0.1181	0.0128	0.958	0.2241	0.0238	0.688
	1501万円～	35	0.1173	0.0215	1.250	0.2081	0.0359	0.9105
	走行目的							
	商談・事務	124	0.0913	0.0137	1.282	0.1732	0.0275	0.958
	通勤・通学	145	0.1135	0.0166	1.135	0.2048	0.0321	0.875
	客輸送	32	0.0492	0.0062	1.600	0.1027	0.0183	1.317
	貨物輸送	104	0.0929	0.0113	1.144	0.1791	0.0252	0.886
	ﾚｼﾞｬｰ・買い物他	131	0.1008	0.0162	1.263	0.1851	0.0310	0.951
対数正規分布	年齢階層							
	～29歳	55	0.1077	0.0115	0.996	0.2040	0.0255	0.783
	30～39歳	126	0.1138	0.0124	0.979	0.2152	0.0246	0.729
	40～49歳	156	0.1019	0.0097	0.967	0.1994	0.0217	0.739
	50～59歳	157	0.0894	0.0100	1.119	0.1795	0.0210	0.807
	60歳～	59	0.0987	0.0159	1.278	0.1860	0.0286	0.909
	年収階層							
	～300万円	23	0.1101	0.0202	1.291	0.2012	0.0329	0.902
	301～600万円	191	0.0876	0.0080	1.021	0.1776	0.0196	0.788
	601～900万円	185	0.0941	0.0089	1.003	0.1883	0.0203	0.757
	901～1200万円	77	0.1299	0.0184	1.044	0.2299	0.0335	0.796
	1201～1500万円	35	0.1248	0.0092	0.769	0.2420	0.0171	0.540
	1501万円～	35	0.1197	0.0185	1.136	0.2191	0.0303	0.795
	走行目的							
	商談・事務	124	0.0977	0.0122	1.131	0.1907	0.0233	0.800
	通勤・通学	145	0.1164	0.0122	0.949	0.2190	0.0248	0.719
	客輸送	32	0.0595	0.0063	1.334	0.1290	0.0170	1.011
	貨物輸送	104	0.0977	0.0092	0.982	0.1938	0.0207	0.742
	ﾚｼﾞｬｰ・買い物他	131	0.1014	0.0117	1.067	0.1953	0.0242	0.797

※表2～4のパラメータ推定値の相対度数のモードはα =0～0.05となる（ただし、年収階層1201～1500万円を除く）



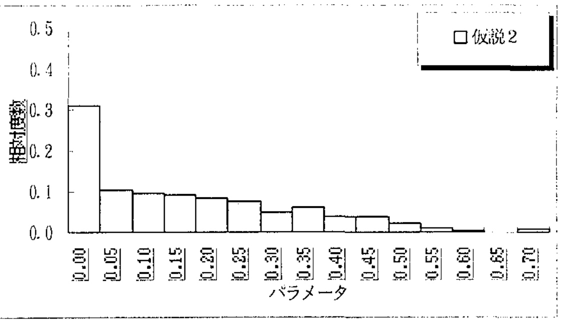


図3　パラメータαの相対度数分布（正規分布）

（4）仮説からみたパラメータαに関する考察

前節では、各自動車運転者のパラメータαの平均値をもとに考察を行った。本節では、パラメータの相対度数分布をもとに考察を行う。全自動車運転者を対象に到着時刻分布 f(t)が正規分布であるときのαの相対度数分布を図3に示す。この図より仮説1、2のいずれに関してもモードはα ＝ 0〜0.05 となっている。これは、自動車運転者の約3〜5割を占めており、遅刻の時間価値に対して早着の時間価値をきわめて小さく認識して出発行動を行っている割合が高いことを示している。この結果は f(t)が対数正規分布の場合でも同様の傾向を示しており、全自動車運転者を対象とした場合には認識しているパラメータ、すなわち時間価値の比は行動仮説によらず同じような形状となることがわかる。これは、個人属性（年齢、年収、走行目的）を考慮した結果においても、モードはα ＝ 0〜0.05 となり同様の傾向を示している。ただし、年収 1201〜1500 万円層の自動車運転者は他の階層と比較するとモードは高くなる結果が得られた（モードα ＝0.10〜0.15）。

5．おわりに

以上、本研究は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「見込み到着余裕時間の形成」と仮定し、その行動原理として、従来より考えられてきた損失最小化行動に加えて損失均衡化行動の仮説を設定し、それらに対応するモデルを構築した。さらに実際の自動車運転者への見込み到着余裕時間についてのアンケートをもとにモデルパラメータαを推定し出発行動について考察を行った。遅刻の時間価値を1とするとき、早着の時間価値は、平均値として約 0.1〜0.2 となること、相対度数分布より自動車運転者の出発行動の仮説によらず、遅刻と早着の時間価値の認識の仕方が同じような分布形状になることがわかった。またトリップ長や個人属性別に遅刻及び早着の時間価値について整理した。

本研究では、自動車運転者が知覚している所要時間分布、そして早着及び遅刻の時間価値についての調査は行っていない。今後、各自動車運転者が想定している所要時間の不確実性（確率分布）、そして、早着と遅刻についての時間価値に対する選好を明らかにするとともに、その結果にもとづき、より詳細な行動仮説の検証を行う必要がある。また別の仮説として損失の積の最小化（ゲーム理論におけるナッシュ交渉解の考え方である）なども挙げられよう。今後研究を進めるとともに、交通需要管理政策に結び付けた議論を展開したいと考えている。

謝辞　土木計画学研究発表会でのコメンテーターの先生及び査読者の先生方から貴重なコメントをいただきました。記して謝意を表します。

【補注】

注1)：パラメータαの推定は以下に示す変数変換を行うことにより求めている。

各仮説モデルにおけるパラメータの推定式（(10),(13)式）は次式のように表される。

・パラメータ：$\alpha = W_{early} / W_{late}$

・仮説1　：$\alpha_1 = \dfrac{NLL(T_{safety})}{NEL(T_{safety})}$

・仮説2　：$\alpha_2 = \dfrac{\partial\ NLL(T_{safety}) / \partial\ T_{safety}}{\partial\ NEL(T_{safety}) / \partial\ T_{safety}}$

ここで、各所要時間分布において次式の変数Zを導入して、遅刻・早着損失のNLL及びNELの標準化を行う。

・ f(t)を正規分布とした場合

$$Z = \frac{(t - t_{start}) - \mu}{\sigma}$$

・ f(t)を対数正規分布とした場合

$$Z = \frac{\ln(t - t_{start}) - \mu_l}{\sigma_l}$$

$t = t_p$ のときの変数Zは見込み標準化到着余裕時間 Z_{safety} となり次式のようになる。

・f(t)を正規分布とした場合

$$Z_{safety} = \frac{(t_p - t_{start}) - \mu}{\sigma} = \frac{T_{safety}}{\sigma}$$

・f(t)を対数正規分布とした場合

$$Z_{safety} = \frac{\ln\left\{(t_m - t_{start}) - T_{safety}\right\} - \mu_l}{\sigma_l}$$

ただし、$t_m - t_{start} = T_m$ ：通常所要時間

よって、NLL及びNELを求めると、それぞれ次式のようになる。

$$NLL(Z_{safety}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{Z_{safety}}^{+\infty} \left(Z - Z_{safety}\right) \cdot \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{Z_{safety}^{\ 2}}{2}\right) - \frac{Z_{safety}}{2}\left(1 - \mathrm{erf}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot Z_{safety}\right)\right)$$

$$NEL(Z_{safety}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Z_{safety}} \left(Z_{safety} - Z\right) \cdot \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{Z_{safety}^{\ 2}}{2}\right) + \frac{Z_{safety}}{2}\left(1 + \mathrm{erf}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot Z_{safety}\right)\right)$$

また、NLL、NELを Z_{safety} で微分するとそれぞれ次式のようになる。

$$\frac{\partial\ NLL(Z_{safety})}{\partial\ Z_{safety}} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \mathrm{erf}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot Z_{safety}\right)$$

$$\frac{\partial\ NEL(Z_{safety})}{\partial\ Z_{safety}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \mathrm{erf}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot Z_{safety}\right)$$

これらの式より(11),(14)式が導出される。

注2)：所要時間分布のパラメータは、アンケート調査から得られたデータを母集団から無作為に抽出された標本とみなし、$E(\bar{x}) = \mu$、$E(s^2) = \sigma^2$ の関係をもとに推定している。アンケート調査から得られるデータをもとに推定したものであり、各自動車運転者が知覚する所要時間分布は必ずしも正確であるとはいいきれない。今後改善の余地があると考えている。

【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,pp275-290, 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

3）内田・飯田・松下：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

4）飯田・内田・宇野：通勤者の旅行時間予測機構に関する実験分析，土木計画学研究・講演集，No.13,pp.335-342,1990

5）松本・白水：旅行時間の不確実性が時刻の指定された物資輸送に及ぼす影響，土木学会論文集，No.353/IV-2.pp.75-82,1985

6）松本・角・田辺：一般化出発時刻に基づく交通の実質消費時間の推定，土木学会論文報告集，No.337,pp.177-183.1983

7）岡田・角・杉野・大枝：交通渋滞に応答する自動車通勤者の出発時刻決定行動モデル，土木計画学研究・講演集，No.13,pp.351-358,1990

8）藤田・熊田：意志決定科学，泉文堂，pp.9-18.1996

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

高嶋裕治　谷下雅義　鹿島茂　荒井徹

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し、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「見込み到着余裕時間」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「見込み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について、出発行動の決定原理に関する2つの仮説を提示し、出発行動モデルを構築するとともに、自動車運転者へのアンケート結果からそれらのモデルの考察を行っている。

Driver's Departure Behavior Model Considering Variable Trip Time*

by Yuji TAKASHIMA, Masayoshi TANISHITA, Shigeru KASHIMA and Toru ARAI

Travel time is probability function which depends on congestion rate. A driver decide his/her depature time concidering not only loss by late arriving, but also uselessness by early arriving when he/she has an arrival restriction by time. It means each driver decide his/her expect sufficient time when he/she departs. We propose two hypotheses on decision of expect sufficient time and build a departure behavior model based on these hypotheses. Then this model is examined by results of a questionnaire to drivers.