

空港アクセストリップにおける遅刻回避行動を考慮した 交通機関選択モデル

A Mode-Choice Model Considering Delate-Avoidance Behavior In Airport Access Trip.

山下智志 ** , 黒田勝彦 ***

by Satoshi YAMASITA and Katsuhiko KURODA

1. はじめに

航空需要予測を行うにあたって、旅行者の空港アクセストリップ分析の重要性が増加している。それは①空港の大型化に伴い、都心と空港の距離が増大したこと、②飛行機の高速化により、全トリップに対するアクセス時間、イグレス時間の比率が相対的に増大したこと、③都市交通の混雑によって、空港までの所要時間の不確定要素が増大し、乗り遅れないための余裕時間の必要性が増加してきたこと、等の理由による¹⁾。

実際、全旅行時間に対するアクセストリップおよび余裕時間の割合は、図1のとおり無視できないレベルであり、アクセス時間とイグレス時間が同等であるとする、約47%にも達する。つまり旅行者が鉄道か航空路かを選択する際、空港までのアクセス性が大きな要因になっている。

本研究ではこれらの必要性から、空港アクセスに対する旅行者の行動を記述するモデルを構築することを目的とする。以下、従来の研究、本モデルの構造、大阪空港への適用の順で解説する。

出発	空港到着	離陸	着陸
アクセス時間	安全余裕時間	フライト時間	
5.8. 6分	4.8. 2分	6.2. 6分	

図1 旅行者の安全要時間

特-ワス
遅刻回避行動、離散連続混合確率モデル、空港アクセス
** 正会員 工修 文部省統計数理研究 〒106
東京都港区南麻布4-6-7 tel03-3446-1501 fax03-3446-1695
*** 正会員 工博 神戸大学教授 工学部建設学科 〒657
神戸市灘区六甲台町 tel078-881-1212

2. 従来の研究と本研究の概略

本研究では遅刻回避行動による出発時間、機関選択の同時決定モデルを取り扱う。出発時間機関選択モデルとしては飯田、柳沢、内田による、通勤行動における多層ロジットモデルがある²⁾。これは遅刻の概念が明確ではないことや、本来連続変数であるべき出発時間をカテゴリカル変数（順序関係を無視した離散変数）として取り扱っている点などいくつか解決すべき点があるが、行動の決定要因の記述が明確であり、実用的なモデルである。また出発時間経路選択の同時決定モデルとしては岡田、角らの一連の研究がある³⁾。この他、刻回避行動を明示的に扱い、出発時間選択行動を分析したものにはHALLや飯田、内田、泉谷による研究がある^{4) 5)}。

一方、空港アクセスに関するモデルとしては、岸谷、本多、奥村の研究がある⁶⁾。これは、関西新国際空港のアクセス手段の需要予測に非集計ロジットモデルを適用したものである。そのほかには、明確なモデルを示していないが、実務的な研究として運輸省航空局による研究や関西空港の事前調査報告書中にアクセスモデルに対する検討がなされている^{7) 8)}。これらは現在の交通パターンを参考に将来予測をするモデルである。

本研究ではこれらの研究成果を踏まえ、以下の条件を達成するモデルを構築する。

- ①遅刻回避行動を明確にモデルに取り込む。
- ②連続変数をカテゴリカル変数として扱わない。
- ③機関選択と出発時間選択が同時に決定される。

これらを踏襲しながら本研究では、旅行者の行動の決定要因を、遅刻によるペナルティーの大きさと時間価値であるとしモデル化を試みる。以下では、

この2パラメータが与えられた上で各交通機関の選択確率の求め方と、各旅行者の2パラメータの推定方法について解説する。

なお空港アクセストリップの主体は、旅行者以外にも送迎者、空港内就業者、ビジターがあり、その割合も一般的な空港で約半数になる。しかしここでは空港計画においてサービスの主要な受容主体であり、しかも遅刻の概念を明確に持つ旅行者（搭乗者）のみに分析対象を限定する。

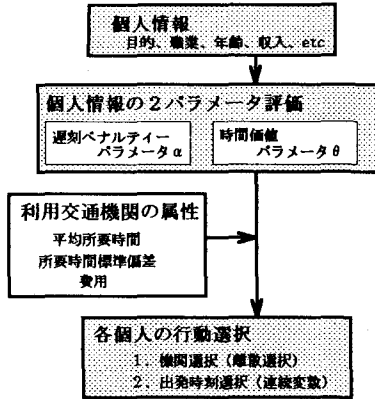


図2 2パラメータモデルの構造

3 行動モデルの構築

(1) 交通機関の特性の評価

空港アクセストリップの特徴は旅行者の遅刻の定義が明確であり、その不効用に差があるものの、利用便の離陸時刻に間に合うことが出発時刻の選択に影響を与えていることに異論はない。

本研究では旅行者は、遅刻確率、所要時間、費用の3つの要因から交通機関と出発時刻の2つの選択を同時に行っていると仮定した。ただしモデルでは出発時刻の代わりに、遅刻回避のための安全余裕時刻を決定する定式化を行う。

$$U_{ijt} = t_{ij} + \mu_i + \alpha_j \text{Erf}(t_{ij}/\alpha, \infty) + \theta_j c_i \quad (1)$$

U_{ijt} : 旅行者 j が交通機関 i 、出発時刻 t を選択したときの
不効用

α_j : 旅行者 j の遅刻ペナルティー (分)

θ_j : 旅行者 j の時間価値の逆数 (分/円)

t_{ij} : 旅行者 j が交通機関 j を選択したときの安全余裕時間

μ_i : 交通機関 i の平均旅行時間

σ_i : 交通機関 i の所要時間の標準偏差

c_i : 交通機関 i の費用

$\text{Erf}(t, \infty)$: 遅刻確率。所要時間分布を正規分布としたため以下の式による。

$$= \int_t^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \text{Exp}(x^2) dx$$

各交通機関の所要時間および費用が旅行者の出発時刻選択に対して独立であるとする、旅行者は同一交通機関内では最適の出発時刻を選択しているはずなので、交通機関に関係なく不効用最小化の原則を適用し、(1)を t で微分し、 $=0$ とすることにより以下の式を得る。

$$t^* = \sigma \times \sqrt{\log \frac{2\alpha}{\sqrt{\pi}\sigma}} \quad (2)$$

t^* : 最適余裕時間

旅行者の機関選択モデルを構築する際、旅行者が選択しないであろう選択肢に対しても効用を算定する必要がある。しかしその場合、(2)が虚数解を持つ可能性がある。これは旅行者が遅刻を前提に旅行時間を選択する場合で、旅行者の遅刻ペナルティーが小さいときに発生する。しかし実際このような行動を起こす旅行者はいない。ここでは各機関の最適出発時刻の算定は所用時間の分散が、出発時刻を早める要因となりうる状態、つまり(2)が σ に対して増加関数である範囲に限定し、それ以外では以下の値を最適出発時刻とする。

$$\sigma \geq \frac{2}{\sqrt{e\pi}} \alpha \quad \text{のとき、} \quad t^* = a \sqrt{\frac{2}{e\pi}} \quad (3)$$

よって旅行者にとっての各交通機関の不効用の最小値は、

$$U_{ij}^* = t^* + \mu_i + \alpha_j \text{Erf}(t^*/\sigma_i, \infty) + \theta_j c_i \quad (4)$$

次に各機関の選択確率を求めるための仮定を効用最大化理論によるか、ランダム効用理論に基づくかによって、扱いが異なる。

効用最大化

$$P(i|\alpha_j, \theta_j) = \begin{cases} 1: U_{ij}^* = \max_i U_{ij}^* \\ 0: U_{ij}^* < \max_i U_{ij}^* \end{cases} \quad (5)$$

ランダム効用

$$P(i|\alpha_j, \theta_j) = \frac{\text{Exp}(U_{ij})}{\sum_i \text{Exp}(U_{ij})} \quad (6)$$

$P(i|\alpha_j, \theta_j)$: パラメータ α_j, θ_j を持つ旅行者の交通機関 i の選択確率

(2) パラメータ分布の推定法

式4により、旅行者の遅刻ペナルティーと時間価値がわかれば、交通機関と出発時刻を得ることができる。しかし、交通機関に対する需要を予測するには、旅行者の2つのパラメータがどのように分布しているかを知る必要がある。そこで各々の旅行者の2つのパラメータの推計方法を解説する。

遅刻ペナルティーと時間価値の関係は選択した交通機関と出発時刻から以下の関係が成り立つ。

$$\alpha_j = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\pi} \sigma_{i(j)} \text{Exp} \left\{ \frac{t_{i(j),j}^2}{\sigma_{i(j)}^2} \right\} \quad (7)$$

$i(j)$: 旅行者 j の選択した交通機関

旅行者の時間価値 θ_j は最尤法を用いて決定するが、その対象となるモデルは、旅行者の個人属性を線形に説明したものである。

時間価値を決定する要因として、旅行目的、職業、年齢を選択し以下の構造式を設定する。

$$\theta_j = \sum_{k=1}^m a_k s_{kj} + b \quad (8)$$

s_{kj} : 旅行者 j の要因 k に対するカテゴリースコア

a_k, b : パラメータ

この構想式の各パラメータを推定する。ランダム効用理論を用いた場合、以下の尤度関数により最尤法を適用する。

ランダム効用にに基づく尤度⁹⁾

$$L(\alpha_j, \theta_j) = \prod_j \prod_{i=i(j)} P(i|\alpha_j, \theta_j) \prod_{i \neq i(j)} \{1 - P(i|\alpha_j, \theta_j)\} \quad (9)$$

最尤法によって求められたモデルを評価するとき、決定係数や最大対数尤度を比較する事例が多いが、

ここではモデルのパラメータ数に違いがあるためこの方法は用いることができない。なぜなら、パラメータ数が増加するにつれてデータに対するフィッティング（尤度）は向上する。しかしモデルの安定性は逆に低下するため、予測精度を比較する測度として尤度は適していない。安定性を含めた予測精度の検定にはブートストラップ法もしくはAICを用いる必要がある。本モデルでは尤度関数が簡単な型で与えられるためAICを用いる。

$$AIC = -2 * \max_{\alpha_j, \theta_j} \left\{ \log \left(L(\alpha_j, \theta_j) \right) \right\} - 2m$$

m : パラメータ数 ($=k+1$) (10)

また効用最大化理論による尤度は計算が不可能なため、便宜的に的中率を示す(7)を最大にするパラメータを推計する。

効用最大化による評価基準

$$L(\alpha_j, \theta_j) = \sum_{i=i(j)} 1/n \quad (11)$$

n : サンプル数

このように a_k, b を得ることにより、図1の要領で各交通機関の需要を予測することができる。

4. 大阪空港における機関選択モデル

(1) アンケートの内容

本モデルを大阪空港において適用する。まず旅行者の安全余裕時間の分布と決定要因を知る必要があり、そのためのアンケート調査を行った。アンケートの内容については既に発表済である¹⁰⁾¹¹⁾。

サンプルが多く、複数の交通機関が選択できる大阪北区、中央区、福島区のデータを例に機関選択モデルを構築する。このとき大阪市北区からの各交通機関の平均旅行時間、旅行時間標準偏差、費用は表1の値を利用する。所要時間の分散値についてはバスおよびタクシーは実測値、鉄道は乗り継ぎのタイミングを考慮した所要時間モデルによっている。

(2) モデルの選択

最尤推定の結果を表2に示す。最大対数尤度で比較すると3カテゴリーをすべて含むモデルがよいが、

A I C の最小値は目的ダミーだけのモデル(model3)であり、安定性的に予測精度が勝っている。

5. 結論と今後の課題

本研究では、遅刻回避行動を考慮した機関選択モデルの構築を、従来の多層ロジットモデルによる方法を用いず、最適余裕時間における効用値をもとにモデル化した。それを遅刻概念が明白な空港アクセスストリップについて適用し、旅行者の機関選択、余裕時間選択の推計を行った。その結果、個人属性のうち目的のダミーのみのモデルが最も優れていることがわかった。

本モデルでは余裕時間の選択に際しては不効用関数を最小にする行動を旅行者が必ず選択するという仮定に基づいた分析を行った。これに対して、機関選択については、確率選択モデルの最尤推定により誤差を認めた構造である。このためモデルの誤差がすべて時間価値パラメータに集約されるため、両方に推定誤差が許容されるモデルに比較して、推定精度が劣る可能性がある。また α 、 θ が定義とは違ったパラメータとなる可能性がある。今後、両パラメータに誤差を認めるモデルを開発したい。

参考文献

1)Norman ASFORD.& Paul H.WRIGHT : AIRPORT ENGINEERING , John Wily & Sons, Inc.,1991.
2)飯田恭敬, 柳沢吉保, 内田 敬 : 通勤交通の経路選択と出発時刻分布の同時推定法, 土木計画学研究論文集, No. 9, 1991.
3)岡田良司, 角 知意, 杉野浩茂, 大枝良直 : 交通渋滞に应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.

4)Hall,R.W.:Travel outcome and performance the effect of uncertainty on accessibility, Transpn. Res., Vol.17B, pp.275-290, 1983

5)飯田恭敬, 内田 敬, 泉谷 透 : 旅行時間変動による損失を考慮した適正経路分担交通量, 土木計画学研究論文集, No.8, pp.177-184, 1990.

6)岸谷克巳, 本多 均 : 空港アクセス交通需要予測方法に関する研究, 土木学会第45回年次学術講演会, pp.78-79, 1990.

7)運輸省航空局 : 空港アクセス交通需要予測手法調査報告書, 1989.

8) (財) 大阪科学技術センター : 関西新国際空港周辺地域整備に関する調査報告書-新空港に関するアクセス交通, 1977.

9)Thomas B.Fomby, R. Carter Hill, Stanley R. Johnson : Advanced Econometric Methods, Springer-Verlag,1984.

10)大阪空港道路・駐車場基本計画調査 資料編 (I), (株) ニュージェック, 1992.

11)山下智志, 黒田勝彦 : ブーストラップ法によるリスクモデルの安定性に関する研究, 土木計画学研究講演集 (1), pp751-758, 1993.

表1 大阪中心部よりの各モードの属性

	RAIL	BUS	TAXI
平均所要時間	60.11	58.66	34.87
標準偏差	19.6	35.2	15.4
費用	400	440	4080
余裕時間の度数分布			
~10	0	1	1
~20	0	5	4
~30	6	18	11
~40	1	9	11
~50	2	10	9
~60	0	9	25
~70	0	4	2
~80	0	4	2
~90	0	2	0
90~	0	2	1

表2 ランダム効用による各モデルのパラメータと評価値

	MODEL1	MODEL2	MODEL3	MODEL4	MODEL5	MODEL6	MODEL7	MODEL8
最大対数尤度	-662.434	-662.425	-660.325	-662.433	-660.636	-660.202	-659.623	-659.423
パラメータ数	1	2	2	2	3	3	3	4
AIC	1326.867	1328.849	1324.651	1328.865	1327.271	1326.405	1325.245	1326.846
定数項	8.09E-03	8.14E-03	8.61E-03	8.10E-03	8.60E-03	8.78E-03	8.70E-03	9.10E-03
年齢		-1.1E-06			-3.8E-06	-2.8E-06		-6.0E-06
目的			5.4E-04			-6.0E-04	-4.0E-04	-6.0E-04
職業				-6.8E-21	-4.0E-04		-3.0E-04	-6.0E-04