

不確実性要因を考慮した都市間交通分担量の推計

Forecasting Travel Demand Method by using Uncertainty Factors

高橋 清*

by Kiyoshi TAKAHASHI

1. はじめに

交通需要マネジメント(TDM)や環境へのインパクト等が重要視されている今日、既存手法による交通需要予測は大きな転換期にさしかかっている。特に、TDMによる交通需要管理政策は、今までの需要追従型の議論から、需要そのものを発生段階で管理しようとするものである。今後はTDMをはじめ、利用者のモビリティを確保しながら、いかに交通システムをマネジメントするかという戦略を重要視すべきのものであり、そのためにも、交通の需要管理と密接な関連のある交通機関分担率に関して、総合的に議論する必要がある。

特に都市間交通機関分担問題は、これまで機関選択問題として所要時間や運賃による議論により取り扱われてきた。しかし、近年、利用者はその選択要因を到着時刻の正確さや座席確保の確実さなど、分散的概念を伴った要因へと変化させつつある。^{1), 2)}

そこで本研究は、都市間における交通機関の不確実性要因を考慮した分担交通量の推計を試みる。本研究における都市間交通分担とは、利用者が交通機関選択において考慮している不確実な要因をリスクとして捉え、そのリスクを減少させ、かつ、交通機関利用の効用を最小限にくい止めた量と考えられる。

2. リスクを考慮した交通機関分担の定式化

(1) 交通機関分担におけるリスク構造

都市間交通機関を選択する際、利用者は通常不確

実性を伴わない要因と不確実性を伴った要因を同時に考慮し、代替案である交通機関を選択していると考えられる。例えば、現代のように時間価値が高い時代における時間信頼性と、交通における快適性を求めるための座席確保をリスク(分散)と考え、交通機関の所要時間、交通費等が期待値と考えられる。

以上まとめると、交通機関選択は2つ以上の期待値および分散の異なる代替案を混合して、期待値とリスクの管理を図っていると捉えることができる。

特に、その際分散の大小が選好に対して影響を持つような選好関係であるリスク構造を考慮する必要がある。一般に、実数上の確率の集合Pの上の選好関係が正規リスク構造であるとき、ある正の実数 η が存在して次式のように表現できる。

$$R(p) = E(t, p) - \eta V(t, p) \quad (1)$$

上式は、分散の大きさが選好に影響を与える場合には、その選好を保存する関数は、期待値と分散の重み付きの差によって表現できることを示している。ここでリスク回避の場合は $\eta > 0$ 、リスク中立の場合は $\eta = 0$ 、リスク受容の場合は $\eta < 0$ となる。

以下、2つの代替案に配分する場合についての定式化を考える。代替案を $a, b \in A$ とし、 a に対しては確率 p に従う確率変数 x が、 b に対しては q に従う y が、それぞれ結果として対応するものとする。 x および y の期待値をそれぞれ、 $E(x), E(y)$ 分散を $V(x), V(y)$ とする。また x と y との共分散を $V(x, y)$ とする。

利用可能資源のうち、 α 部分を a に、 $(1 - \alpha)$ 部分を b に配分するとすれば、それに対応する結果、

$$Z = \alpha x + (1 - \alpha) y \quad (2)$$

という確率変数である。 z が従う確率の期待値および分散は次のように計算される。

keywords: 公共交通計画、総合交通計画、機関分担

*正会員、工博、東京大学大学院社会基盤工学専攻

〒113 文京区本郷7-3-1、tel 03-3812-2111 ext 6116

fax 03-5800-6868

$$E(z) = \alpha E(x) + (1-\alpha)E(y) \quad (3)$$

$$V(z) = \alpha^2 V(x) + (1-\alpha)^2 V(y) + 2\alpha(1-\alpha)V(x, y) \quad (4)$$

すなわち、決定者は、配分比 α を定めることにより、期待値および分散を管理することになる。

$$\text{いま、} E(x) > E(y), V(x) > V(y) \quad (5)$$

とすると、代替案 a は期待値は大きいリスクも大きい(High-Risk High-Return)。また、b は期待値が小さいかわりにリスクも小さい(Low-Risk Low-Return)ことが表現されている。これを交通機関選択として捉えたと、所要時間が短い(期待値大)が、時間信頼性が低く、座席の確保が容易でない(分散大)交通機関と、所要時間は長い(期待値小)が常に座席が確保され、到着時刻も正確な(分散小)交通機関がある区間に整備されたときの選択問題として捉えられよう。

以上の代替案の適切な配分を求めるために、式(1)を最大にすることを考える。つまり、式(1)に式(2)、式(3)を代入して

$$R(p) = \alpha E(x) + (1-\alpha)E(y) - \eta \{ \alpha^2 V(x) + (1-\alpha)^2 V(y) + 2\alpha(1-\alpha)V(x, y) \} \quad (6)$$

を最大とする α^* は

$$\alpha^* = \frac{E(x) - E(y) + 2\eta \{ V(x) - V(x, y) \}}{2\eta \{ V(x) + V(y) - 2V(x, y) \}} \quad (7)$$

として求められる。このように、2つ以上の期待値および分散の異なる代替案を混合して、期待値とリスクの管理を図る。^{3), 4)}

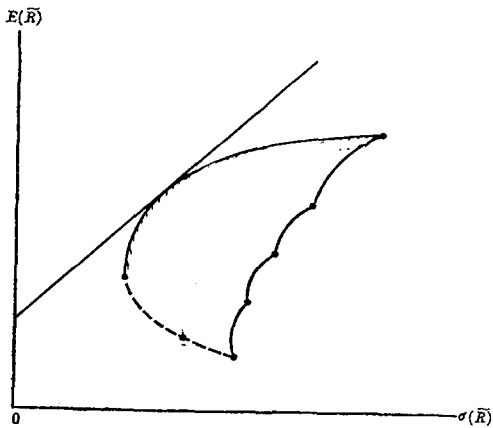


図-1 有効ポートフォリオと最適分担比

また、式(3)および(4)より α を消去することにより $V(z)$ に関する2次曲線が得られ、この曲線状の組み合わせを、有効ポートフォリオと呼ぶ。なお、計算された最適配分率 α は、図-1に示すように、リスク構造として示される式(1)と有効ポートフォリオとの接点となる。この図-1に示されるとおり、組み合わせによる期待値は減少しているが、合成された分散は個々の分散より減少していることがわかる。

(2) 効用関数におけるリスク構造

本研究では多要因から構成される交通機関の評価に関して、効用関数を定義し効用値で一元化された議論を行う。

効用関数により不確実性に対する選好の度合いを議論するには、リスクに対する態度を定量化する必要がある。そこで、意思決定者が不確実性を選ける(好む)ために進んで支払う量をリスク・プレミアム(RP)として次式のように定義する。式(8)は単調減少関数 $u(X)$ のRPである。

$$RP(\bar{X}) = \bar{X} - E(\bar{X}) - u^{-1} \{ E[u(\bar{X})] \} \quad (8)$$

ここで、リスク回避型関数を用いてリスクプレミアムを表現する。いま、結果の期待値 $E(X)$ が0であるくじ X を X_0 に加えることを考える。また、 $\pi(X_0, X)$ を $X_0 + X$ に対する意思決定者のリスクプレミアムとする。確実性同値の定義より、

$$u(X_0 - \pi) = E[u(X_0 + X)] \quad (9)$$

両辺をテーラー展開し、高次の項を無視する。

$$\pi u'(X_0) = \frac{1}{2} E[X^2] u''(X_0) \quad (10)$$

以上よりリスクプレミアムは

$$\pi = \frac{1}{2} \frac{u''(X_0)}{u'(X_0)} E[X^2] = \frac{1}{2} q(X) \sigma_X^2 \quad (11)$$

式(11)のように定義され、重み付け η は、

$$\eta = \frac{1}{2} \times \frac{u''(X)}{u'(X)} \quad (12)$$

として算出される。

これにより、分担比 α を求めるためには、期待値と分散及び効用関数型を知ることが必要十分条件となる。

(3) 多属性効用関数の構築

多属性効用関数(Multi-attribute Utility Function)は、多目的意思決定問題の解を得るために R.L.Keeney,H. Raiffa らによって提案された手法である。

多属性効用関数は、多属性効用関数の成分である単一属性を評価する過程と、単一属性効用関数相互間の関係を表すスケール定数を評価する部分とからなっている。以下、ある属性集合Xに含まれるすべての要素 x_i が相互に効用独立および選好独立であるならば、多属性効用関数の式は、加法型と乗法型に定式化できる。このとき、単一属性効用関数は、限界効用低減則やリスク評価を表現し得るように次式のような非線形関数型が仮定される。

$$u_i(X) = p_i (|X_i - \theta_i|)^{r_i} \quad (13)$$

X_i : 属性の水準値

θ_i : 基準となる、最悪・最良水準の値

r_i : リスク評価の程度を表すパラメータ

p_i : パラメータ

本研究では、直交表による実験計画法を援用した直交多属性効用関数(Orthogonal Multi-attribute Utility Function)を用いる。直交多属性効用関数とは、直交表に割り付けられた評価要因の組合せ実験の結果をもとにパラメータの推定を行う。この方法による設問の形式は「くじ」の概念を用いた選択形式ではなく、評点付けの設問として表している。従って、被験者にとって比較的理解しやすい設問形式が可能である。⁵⁾

3. 都市間交通機関利用実態調査⁶⁾

本研究では、都市間の交通利用実態と交通機関選択における不確実性要因に関する意識を明らかにするために、札幌～旭川間においてヒアリング調査を行った。調査は平成3年1月18日、21日の両日、同区間の鉄道および高速バスの利用者をアンケート対象者とし、各交通機関に乗り込み、もしくはターミナルにてヒアリング調査を行った。アンケート調査による有効票は、鉄道68票、バス63票を得た。

調査内容は1) 職業や年齢などの属性、2) 交通機関評価モデルを決定するための設問、3) 遅れや座席の確保の不確実性に対する意識を聞く設問に大

別される。

4. 直交多属性効用関数による交通機関の評価

(1) 単一属性効用関数のパラメータ推定

単一属性効用関数のパラメータ決定の方法は、一つの属性に対して最良水準・最悪水準を定め、その中位水準に対する評価値を意識調査から得られたデータにより求める。

本研究では、交通機関選択を構成する要因として、①所要時間、②運賃、③遅れ時間、④座席確保の4要因を仮定し、それぞれの要因ごとの単一属性効用関数を構築した。構築に際し、中位点の評価値は利用実態調査より意識データを用いた。

構築された単一属性効用関数を、横軸に要因、縦軸に効用値とし、「座席確保」の要因について図示すると、次のようなことが明らかとなる。

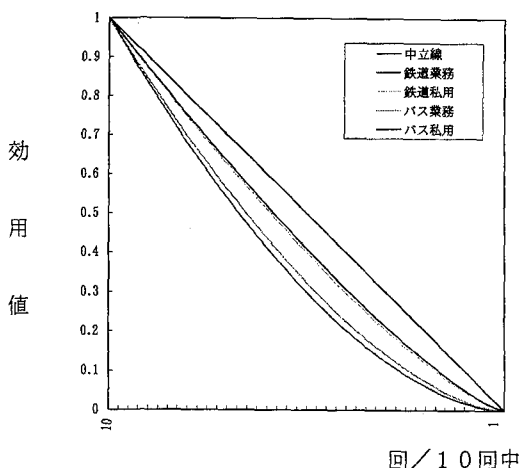


図-2 単一属性効用関数(座席確保)

「座席確保」に対しては、鉄道利用、バス利用のどちらも大きく「リスク回避型」となった(図-2)。こは、都市間交通利用者の意識としては、座席確保を前提としていることと捉えられる。

(2) パラメータの決定と直交多属性評価関数による交通機関の評価値

前節により同定された直交多属性効用関数を用い、交通機関の評価値の算出を行う。要因に代入する値としては、所要時間、運賃については現状の値とし、

遅れ時間、座席確保については、前述した交通機関利用実態調査におけるデータを用いた。

その結果、各交通機関に対する期待値(E)、分散(V)および重み係数(η)を効用関数によって評価は、全体の傾向として、鉄道の期待値がバスの期待値より大きくなった。これは所要時間の差が、総合的な期

表ー1 効用値、分散、重み付け係数

利用 モデル型	経験	鉄道		バス		η
		あり	なし	あり	なし	
鉄道業務	E	0.861	0.829	0.779	0.772	0.584
	V	0.111	0.141	0.110	0.118	
鉄道私用	E	0.877	0.850	0.777	0.769	0.449
	V	0.139	0.176	0.104	0.112	
バス業務	E	0.918	0.894	0.909	0.906	0.125
	V	0.190	0.241	0.229	0.245	
バス私用	E	0.930	0.908	0.921	0.918	0.097
	V	0.211	0.266	0.238	0.255	

待値に反映しているからと推定される。一方、バス利用者にとっても鉄道の期待値が大きく推定されている。これは、バスの乗客の中でも鉄道に転換する可能性を持った乗客が多いことが予想される。

交通機関の分散に関しては、一般に利用経験のある方が利用経験のない利用者より分散値は大きく推定されている。また、鉄道モデルでは、鉄道の方がバスより分散値が大きくなる傾向にある。これは、バスでは必ず着席できるということが分散の減少の影響となっていると考えられる。一方、バスモデルでは、バスの分散値が大きくなっているのは遅れ時間の影響が大であると考えられる。

分散の重み付け係数 η は鉄道モデルがバスモデルより大きく、鉄道利用者がバス利用者より分散を重要視して交通機関の選択を行っていると考えられる。

5. 不確実性を考慮した交通機関分担量の推計

本研究により提案するモデルは、式(7)で示されるように期待値、分散、重み付け係数 η の3種類の値によって、鉄道とバスの分担率 α として定式化される。

モデル式に代入する総合評価値(期待値)、分散値は表ー1のデータとし、鉄道の分担率 α (バス分担率 $(1-\alpha)$)の算出を行う。また、現状値との比較を行うため、年平均の分担率の推計を行った。

比較検討を行った結果、業務目的における鉄道の分担率は現状値が高く独占状況となっている。つまり、業務目的にバスが十分利用されていない状況であり、バスとしては座席確保の快適性をアピールするとともに、定時性の確保につとめるべきである。調査結果では、バスを利用したことのない乗客は、バスが必要以上に遅れると感じる人が多いことが明らかとなった。この結果からも適切な情報提供が重要であると言える。

表ー2 推計値と実績値の比較(単位: %)

目 的	業務目的		私用目的	
	鉄 道	バ ス	鉄 道	バ ス
現 状 値	95.0	5.0	54.5	45.5
推 計 値	82.8	17.2	78.4	21.6

一方、私用目的において鉄道の分担率は推計値が現状に比較し約25%も低い状況となっている。つまり、私用目的に関しては、バス利用者が料金の低廉性に影響され、リスクを享受していることとなる。

今後は、観光や私用目的においても、時間価値は上昇すると考えられ、遅れ時間の少ない鉄道の十分乗客を確保することが可能であると考ええる。

参考文献

1) 山下智志、所要時間に関するNM効用関数、土木計画学研究・講演集、No.18(2)、pp.337-340、1995
2) 山下智志、黒田勝彦、交通機関の定時性と遅刻回避型効用関数、土木学会論文集、No.536/IV-31、pp.59-68、1996
3) 久保田敬一、ポートフォリオ理論、日本経済評論社、1989
4) 市川惇信、意思決定論、共立出版、1983
5) 千葉博正、直交多属性評価モデルによる立地評価に関する研究、地域学研究、1986
6) 高橋清、大塚靖、高野伸栄、ポートフォリオ理論を用いた都市間交通機関の選択意識構造に関する研究、土木学会第46回年次学術講演会、pp.356-357、1991