阪神・四国間の旅客による交通機関選択モデルに関する研究

小谷 通泰*

A Disaggregate Modal Choice Model for Passengers between Hanshin and Shikoku Districts

Michiyasu ODANI

Abstract

The new bridges connecting Honshu and Shikoku Islands was completed in 1988, which provided a new alternative route by railway to passengers travelling between Osaka / Kobe and Shikoku districts in addition to existing routes by marine transportation.

This study aims to analyse the behavior involved in a passengers' choice of ferry boat, highspeed vessel and railway between those districts on the basis of questionnaire survey given to them. First, factors affecting their modal choice are examined from the views of service levels by each mode and socio-economic characteristics. Second, considering those factors, disaggregate modal choice models are estimated. Finally, choice probabilities of marine transportation are predicted against changes in service levels by using the estimated model.

1. はじめに

阪神・四国間では、1988年3月に児島～坂出間において瀬戸大橋が完成し、従来のフェリー・旅客船、高速艇といった海上輸送機関に加えてJR瀬戸大橋線が利用できるようになり、利用者は多様な交通手段を選択することが可能になった。また、当該地域では、平成9年度の完成を目指して、明石大橋の建設も進められており、今後も交通環境の大きな変化が予想される。こうした状況のもとで、将来における輸送体系のあり方を考えていくためには、まず利用者の交通手段へのニーズを明らかにしていくことが重要となろう。

一方、交通機関の選択をはじめとする交通行動の分析に、近年、従来の集計型のモデルに対して非集計型のモデルの適用が数多く試みられている。この非集計モデルでは、個人を交通行動の単位と考え、各個人が利用可能な選択肢の中から、いずれを選ぶかということに着目している。このため、比較的少数のサンプル数でモデルの構築が可能となり、モデルの中にさまざまな個人属性や各種政策変数を取り込むことが容易とされている。

そこで本研究は、利用者のこれら交通機関の選択行動を明らかにすることを目的として、阪神・四国間の旅客を対象としたアンケート調査結果をもとに、交通機関の選択行動のモデル化を試みたものである。以下ではまず、2.で本研究の分析対象地域である阪神・四国間の交通ネットワークや旅客流動の特性を説明する。また、本研究で使用するアンケート調査の概要について述べる。次いで、3.では交通機関のサービス特性やアンケート調査結果を分析することによって交通機関の選択要因を考察する。そして最後に、4.で非集計ロジットモデルを適用して交通機関の選択モデルを作成するとともに、モデルを用いたいくつかの政策実験を行う。

*正会員 神戸商船大学（〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1）

2. 分析対象地域と使用データの概要

2.1 分析対象地域の概要

まず、図-1は、本研究で分析対象とする阪神・四国間の交通ネットワークを示したものである。阪神を起点とした場合、四国各地は概ね半径100kmから250kmの範囲にあり、利用可能な交通手段としては、フェリー・旅客船、高速艇、JR、航空機がある。

図-1 阪神・四国間の交通ネットワーク

次に図-2は、旅客地域流動調査（運輸省）の結果から、瀬戸大橋開通前後における阪神・四国間の旅客流動量を交通機関別に示している。これによると、阪神・四国間では、開通前の昭和62年度には年間1,470万人、開通後の昭和63年度には1,411万人の旅客流動が見られる。このように、流動量自体には瀬戸大橋開通前後でそれほど大きな差は見られない。

一方、交通機関別の利用人数の比率を見てみると、開通前は自動車（フェリーによる航送旅客を含む）が最も多く43%、次いで旅客船は24%、JRは19%、航空は15%となっている。開通前後を比べてみると瀬戸大橋の開通により、旅客船、自動車はそれぞれ比率がやや低下し、航空機はほぼ横ばいであるのに対して、JRの利用比率が8%から19%に倍増していることがわかる。このように交通手段間の利用比率には顕著な変化が認められる。

2.2 使用データの概要

本研究では、阪神・四国間の旅客を対象として、平成元年10月から11月にかけて運輸省（神戸海運監理部）により実施されたアンケート調査を利用する⁽¹⁾。そして、この調査結果を用いて、フェリー・旅客船、高速艇、JRの各交通手段を対象として交通機関選択モデルを作成する。

まず本研究では、アンケート票の質問事項の中から、

- ① 阪神側、四国側の出発地・目的地
- ② 利用交通機関

③ 交通機関の利用理由

④ 利用者の属性

の4つの項目を分析対象とする。

次に、アンケート調査では、フェリー・旅客船、高速艇については、各航路利用者への聞き取り調査、もしくは旅客の自記式調査により合計2,234通の有効回答が得られている。また JR については瀬戸大橋線利用者に対して調査票1,500票を配布し、郵送により365通の有効回答が回収されている。そこで本研究では、これらのサンプルの中から以下の条件を満たすサンプルを分析対象とした⁽²⁾。

- ① フェリー・旅客船、高速艇、JR 線のいずれかを利用し、フェリーについては自動車での利用者を除いた。
- ② 本州側の発着地が大阪府・兵庫県内であること。
- ③ 往路・復路とも同一交通機関で移動したものの。(アンケート結果から、同一交通機関の利用率は、フェリー・旅客船で84.6%、高速艇で80.4%、JR で84.5%であった。)

この結果、分析対象サンプル数は637人となり、その内訳は、フェリー・旅客船利用者が378人、高速艇利用者が150人、JR 線利用者が109人である。なお、調査はすでに述べたように交通機関ごとに異なったサンプル率で行われているので、サンプル内のシェアは必ずしも、阪神・四国間における現状の交通機関の利用人数の比を表すものではない。

図-3は、分析対象としたサンプルについて、各交通手段ごとに OD 別の比率を示したものである。フェリーでは、阪神—香川間の比率が最も大きく、徳島、愛媛がこれに次いでいる。高速艇は阪神—徳島、香川間に航路があるが、徳島の方が香川より比率は大きくなっている。JR では阪神—香川、愛媛間が大半を占め、阪神—徳島間の利用者はほとんど見られなかった。

3. 交通機関の選択要因の分析

ここでは、次節で交通機関の選択モデルを作成するのに先だって、利用者の交通機関の選択要因を、各交通機関のサービス特性やアンケート調査結果を分析することによって考察する。

まず図-4は、縦軸、横軸にそれぞれ所要時間と料金をとって、阪神・四国間で利用可能な交通機関を比較したものである。所要時間と料金の比(料金/所要時間)をみると、高速艇と JR はともに35から50程度の間にあり、比較的類似した特性を有している。これに対してフェリーは7から9程度の値をとり、高速艇、JR とは異なった特性を示している。すなわち、フェリーは高速艇、JR に比べると所要時間は長いが費用が安くなっている。

また、各交通機関の頻度については、阪神—徳島間、阪神—香川間では、海上輸送手段については総計で一日あたり、それぞれ20便前後と多頻度に運航されているのに対して、これらの OD よりも遠距離である阪神—愛媛間、阪神—高知間では一日あたりフェリーが数便運航されているだけで、運航回数は激減する。また JR については阪神—香川間で34便と多いほか、他の OD では10便前後である(いずれも調査実施当時)。

次に表-1は、各交通機関と旅行者の属性の関連を示したものである。表中の%は、各交通機関ごとに、該当するカテゴリーに属する被験者の全サンプルに対する比率である。日数については、平均日数を求めた。この表により以下の特徴が指摘できる。

図-2 瀬戸大橋開通前後における交通機関別の旅客流動量(運輸省：旅客地域流動調査より)

図-3 アンケート調査結果による交通機関別OD交通量の比率

図-4 交通機関別の所要時間と費用

表-1 交通機関別の利用者属性

交通機関 属 性		フェリー・ 旅客船	高速艇	JR
a) 同伴者	個人	73.3%	76.7%	38.5%
	家族	14.0%	12.7%	17.4%
	グループ	4.5%	8.0%	34.9%
b) 旅行日数		3.0日	2.6日	2.6日
c) 年齢	～29才	34.8%	16.9%	22.9%
	30才～	65.2%	83.1%	77.1%
d) 性別	男性	68.1%	66.2%	59.0%
e) 職業	会社員	38.6%	56.0%	70.6%
	自営業	14.3%	10.7%	5.5%
	学生	19.0%	5.3%	3.7%
	主婦	12.7%	17.3%	12.8%
f) 目的	観光	23.0%	16.7%	39.4%
	ビジネス	32.0%	56.7%	37.6%
	帰省	28.8%	14.7%	11.9%
g) 旅行回数	～5回	72.0%	54.2%	75.9%
	6回～	28.0%	45.8%	34.1%

注) 表中の％は、各交通機関を利用した全サンプル数に対する該当項目のサンプル数の割合を示している。

- ① フェリー・高速艇では、個人旅行が大半を占めているが、JRでは個人とグループ旅行がそれぞれ3から4割程度を占めている。
- ② 旅行日数は、高速艇とJRがフェリーに比べるとやや短くなっている。これは後に述べる旅行目的におけるビジネスの割合が高いことと関連している。
- ③ 年齢は、いずれの交通機関も30代以上の利用が大半を占めるが、高速艇とJRに比べるとフェリーでは29才までの利用者が多い。また各交通手段とも6割～7割程度が男性であり、船舶利用者の方がやや男性の比率が高くなっている。
- ④ 職業は、高速艇とJRにおいて会社員の割合が高い。またフェリーでは、学生の割合が高くなっている。
- ⑤ 利用目的は高速艇ではビジネスの割合が5割以上を、フェリーとJRでも3割～4割程度を占め、全体的にビジネスの割合が高い。フェリーでの帰省の割合が高くなっているが、これは旅行者の年齢と職業（20代の学生）を反映している。
- ⑥ 過去1年間の旅行回数では、6回以上の旅行者の比率を見てみると、高速艇利用で45.8%と最も高くなっており、11回以上の利用者も28.2%にのぼっている。このように高速艇は繰り返し旅行しているビジネス客に利用されていることがわかる。

図-5は、交通機関の利用理由について、各交

通機関別に、該当する利用理由を選択したサンプル数の全サンプル数に対する割合を示したものである。この図に示すように高速艇とJRは、所要時間は短いが高額な料金が高いこと、そして、JR、高速艇、フェリーの順で乗り換えが便利であることが示されている。また、フェリーについては、体が楽といった快適性が評価されている。便数については交通機関により評価に必ずしも明確な差異はみられなかった。これは、阪神と徳島・香川間では比較的多頻度に交通機関が利用可能なこと、さらに今回対象としたのが中距離帯の旅行であったため、利用者の方で出発時刻を調べた上で各交通機関を利用することが多いと考えられることなどが理由としてあげられる。

また図-6は、交通機関の利用理由について、観光、業務・商用、帰省の3つの目的別に、先の図-5と同様の比率を図示したものである。これによると、観光や帰省では所要時間の短さよりも料金の安さが評価されており、業務・商用では料金の安さよりも所要時間の短さが評価されるといったように全く逆の評価がなされている。特に、帰省では料金が安いことが、観光よりもより強く評価されている。

図-5 交通機関の利用理由—交通機関別

図-6 交通機関の利用理由—交通目的別

このように阪神・四国間では、多様なサービス特性を持った交通機関が利用可能であり、利用者の属性によって交通機関の選択に差異が見られることがわかった。また、利用者による交通機関の利用理由から、各交通機関の持つ交通サービス特性に応じて特徴的な評価が下されており、旅行目的によって交通機関が使い分けられている様子が示された。

4. 交通機関選択モデルの作成

4.1 非集計ロジットモデル

本研究では、利用者が各交通機関を選択する確率を、次式に示す多項ロジットモデルにより推定することとする⁽³⁾⁽⁴⁾。

$$P_{ni} = \exp(V_{ni}) / \sum_{j \in C_n} \exp(V_{nj}) \quad (1)$$

ここで、

- P_{ni} : 個人 n が交通機関 i を選択する確率
- V_{ni} : 経路 i の個人 n にとっての効用の確定項
- C_n : 個人 n にとっての選択可能な交通機関の集合

一方、効用の確定項は、一般に次式に示す線型式で表される。

$$V_{ni} = \sum_{k=1}^K \beta_k \cdot X_{nik} \quad (2)$$

ここで、

- β_k : 第 k 番目の変数のパラメータ ($k = 1 \sim K$)
- X_{nik} : 個人 n にとって交通機関 i の第 k 番目の変数

なお代替交通機関の設定とサービス水準の推定は、以下のようにして行った。

まず個人 n にとっての選択肢、すなわち選択可能な交通機関 i は、①フェリー・旅客船、②高速艇、③JR、の3通りとする。代替交通機関は、実際に選択された交通機関に対してそれを除く残る2つの交通機関の中から設定することとする。すなわち、仮に①フェリー・旅客船が選択されたとすれば、代替交通機関は②高速艇、③JRとなる。ただし、高速艇のように実際に航路が存在しない場合には代替機関としない。

次に、利用交通機関及び代替交通機関のサービス水準として、各交通機関の総所要時間、総費用、頻度を取り上げ、以下の方法により算出した。これらは、後に述べる個人属性とともに、上述の効用の確定項を構成する変数 X_{nik} となる。なおフェリー航路のように、代替航路として複数の航路があげられる場合には、費用、所要時間については平均値を、頻度については合計したものをサービス水準とした。

① 所要時間については、各基幹交通機関への(からの)アクセス時間、基幹交通機関の乗車(乗船)時間、乗換時間、および待ち時間の和として総所要時間を求めた。

② 費用は、基幹交通機関の運賃にアクセス交通機関の料金を加えたものを総費用とした。

③ 頻度は、一日あたりの便数とする。

このほかモデル式中には、個人属性として、前節の3.で示した変数を用いた。

4.2 パラメータの推定

表-2は、モデルの推定結果を示したものである。なお、パラメータの推定にはSST統計パッケージ⁽⁵⁾を用いた。表中の t 値は各変数のパラメータの有意性を示すもので、尤度比的中率はモデルの適合度を表す。尤度比は、1に近づくほど適合度が良いことを示すが、0.2から0.4であれば十分高い適合度をもつと判断して良い。的中率は、データとした実際の選択行動結果とモデルにより推定されたそれとの適合度を示すものである。

さらに、選択肢別に無作為に抽出されたサンプルから推定されたロジットモデルには、選択肢固有の定数項にそのサンプルの比率に応じてバイアスが生じることが知られている。そこで、これは以下に示すように、実際のマーケット・シェアを用いて選択肢の定数項を修正することによって補正することができる⁽⁶⁾。表-2中の定数項は、修正を行った値を示している。

$$\beta_i = \beta_i' - \log(H(g)/Q(g)) \quad (3)$$

ただし、

β_i : 修正された選択肢 i の定数項

β_i' : 選択肢 i の定数項の最尤推定値

$H(g)$: 推定に用いたサンプル中の選択肢 i のマーケット・シェア

$Q(g)$: 実際の選択肢 i のマーケット・シェア

得られた推定結果より以下のことがわかる。まず、モデル1は、交通機関のサービス特性である所要時間、費用、頻度を選択肢共通変数とし、これらに選択肢固有の定数項を加えたものである。

① 所要時間と費用のパラメータは負であり、また頻度のパラメータは正である。これは、利用者が所要時間が短く費用の低い、そして頻度の多い交通手段を選択する傾向にあることを示しており、利用者の選択行動にかなった合理的なモデルといえよう。

表-2 モデルの推定結果

変 数	パラメータ () 内は t 値			
	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
所要時間 (分)	-5.880 (-3.88)	-5.151 (-3.22)	-4.825 (-2.94)	-5.307 (-3.52)
費用 (円)	-6.700 (-5.99)	-7.234 (-6.21)	-7.230 (-6.19)	-6.711 (-5.94)
頻度 (便/日)	0.049 (3.82)	0.042 (3.13)	0.045 (3.34)	0.045 (3.46)
定数項	0.11 (0.47)	1.838 (2.69)	1.682 (2.51)	0.546 (1.07)
	0.531 (2.75)	2.154 (4.85)	2.19 (4.97)	0.569 (2.51)
旅行人数		-1.144 (-8.30)	-0.985 (-7.57)	
		-1.139 (-5.72)	-1.103 (-5.72)	
旅行目的		-0.876 (-3.20)		0.212 (0.81)
		-0.103 (-0.32)		0.79 (2.44)
職 業			-0.700 (-2.57)	-1.12 (-4.02)
			-0.072 (-0.22)	-0.778 (-2.22)
変 数	5	9	9	9
尤度比指標	0.199	0.282	0.277	0.223
的 中 率	58.71	70.01	69.86	65.46

注1)所要時間、費用の係数は、(表中の値) $\times 10^{-3}$ 、 $\times 10^{-4}$ 。

注2)定数項、個人属性については、各変数ごとに上から、フェリー、高速艇のパラメータを示す。

注3)旅行目的：仕事を1、それ以外を0とする。

職 業：会社員を1、それ以外を0とする。

② 所要時間と費用から計算される時間価値（時間のパラメータ／費用のパラメータ）は、いずれのモデルも1時間当たり約500円と安定した値を示している。

③ 尤度比は0.199、的中率は58.71%であり必ずしも高い適合度を得られているわけではない。しかし、定数項を除けば、いずれの変数のパラメータも高い t 値が得られており、これらのパラメータが有意なものであることを示している。中でも費用のパラメータの t 値は非常に高くなっている。

次に、モデル1に、先に3.で示した7つの個人属性から変数を1つずつ付加して、モデルの適合度を調べた。これによると、いずれの変数を付加してもモデル1よりも適合度は改善されるが、なかでも旅行人数を付加したときに最も尤度比が大きくなり（0.267）、次いで職業、旅行目的を投入したとき尤度比が高くなった。このことからこれらの個人属性が、他の属性項目よりも相対的に交通機関の選択行動に強く影響を与えていることがわかる。

そしてさらに、これらの3つの個人属性から2つずつの変数の組をつくりモデル1に付加したのがモデル2から4である。3つのモデルのうち、旅行人数と旅行目的、旅行人数と職業を変数として投入したモデル2、3では、尤度比は0.28前後、的中率は70%前後と最も良好な結果を得た。しかし、職業と旅行目的を投入したモデル4の場合には尤度比は他の2つのモデルほど高くはならなかった。これは、職業と旅行目的の相関が高く、2変数を同時に投入しても説明力の向上に役立たないためと考えられる。

4.3 モデルによる政策実験

ここでは、推定したモデルを用いて政策実験を試みる。使用するモデルは、運賃、所要時間、頻度といった操作可能な政策変数を含み、かつ推定が困難な個人属性を含まないモデル1である。以下では、大阪・香川間についていくつかの政策実験を行った。

まず、現在開発中である高速フェリーの実用性を考える。具体的には、フェリーの所要時間を5%ずつ短縮していき、それぞれの場合について運賃を5%ずつ高くしていった。高速艇とJRは、従来通りの所要時間と運賃とする。実験結果は、図-7に示す通りである。これによれば、運賃を現行のままにして所要時間を20%少なくできれば、フェリーの利用率は、63.9%と現行よりも9.3%高くなる。また、所要時間を5%ずつ短縮していくものとして、運賃をそれに合わせて同じ割合で高くしても、現行より利用率は下回らないと推測できる。

図-7 フェリーについての実験結果

図-8 高速艇についての実験結果

次に、高速艇の運航頻度（便／日）を増やし、それに伴い運賃の値上げを行った場合について検討する。フェリーとJRのサービス水準は現行のままである。実験結果は、図-8に示す通りである。運賃を現行のままにして、高速艇の頻度を現行の4便から2倍の8便に増加すると、利用率は、21.2%となるが現行の利用率からは、3.1%しか増加していない。また、運賃を少しでも上げると、いくら頻度を増やしても高速艇の利用率は著しく減少する。これは、今回作成したモデルの費用のパラメータに比して頻度のパラメータの値が相対的に小さいことを反映している。

上述のように2つの実験を試みたが、マクロな分析ではあるが、所要時間、頻度、運賃などのサービス水準を変化させたときの利用率の変化をみることができた。

5. おわりに

本研究では、阪神・四国間の旅客を対象としたアンケート調査結果をもとに、交通機関の選択要因を分析するとともに、非集計ロジットモデルを適用して交通機関の選択行動をモデル化した。またモデルを用いていくつかの政策実験を行った。まず、得られた成果は以下の通りである。

- ① 交通機関の選択要因を、サービス水準、個人属性、利用者意識の3つの観点から分析した。まず、交通機関のサービス特性を比較することによって、高速艇とJRとは類似し、フェリーがこれらと異質な特性を持つことを明らかにした。次に、利用者の属性と利用交通機関の関連を分析した結果、フェリーの利用者は学生による帰省を目的とした利用、高速艇の利用者は日帰りでビジネスを目的とした利用、JRの利用者はフェリーや高速艇よりも比較的人数の多い観光やビジネスによる利用が多いという特徴がそれぞれみられた。最後に、利用者が回答した交通機関の選択理由から、利用者が運賃と所要時間の2つのサービス特性を重視しており、各交通機関のサービス特性を反映した選択がなされていることが示した。
- ② 多項ロジットモデルを適用して交通機関の選択モデルを作成した。まず所要時間、費用、頻度、定数項の4変数からなるモデルを作成した。この結果、利用者の選択行動にかなった合理的で、有意なモデルが得られた。また、このモデルをベースにして、個人属性項目を順次付加しモデルの適合度を比較した結果、旅行人数、旅行目的（または職業）が交通機関の選択行動に有意な効果を持つことが示された。次に、このモデルを用いて、フェリーの航行速度や高速艇の運航頻度を变化させた場合の政策実験を行い、それらの効果を定量的に分析することが可能なことを示した。

今後に残された課題をまとめると、以下のようになる。

- ① 選択肢の構造として、3つの交通機関を並列に扱った。すでに述べたように、JRと高速艇は比較的に類似した特性をもっており、選択肢を階層的に位置づけることも可能である。つまり、フェリーとそれ以外の高速艇・JRとの選択を第1段階に、JRと高速艇との選択を第2段階として、2段階に分けて選択行動をモデル化することが考えられる。
- ② 阪神・四国間の全ODを対象として分析を行ったが、ODによって移動距離や利用可能な交通機関の組み合わせに差異が見られることから、今後は個々のODごとに選択要因の分析やモデルの作成を試みたい。また今回、航空機や自動車については分析対象としなかったため、これらの交通機関を含めた手段間での選択行動を分析する必要がある。

最後に、本研究を遂行するにあたっては、元神戸商船大学学部学生澤木茂氏（現㈱豊田自動織機製作所）の協力を得た。感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 関西交通経済研究センター：瀬戸大橋開通後の交通体系の変化に関する調査報告書，平成2年3月
- (2) 小谷・澤木：阪神・四国間の旅客による交通機関選択モデルに関する研究，土木学会第46回年次学術講演会概要集第IV部門，平成3年9月
- (3) 土木学会土木計画学研究委員会：土木計画学講習会テキスト—非集計行動モデルの理論と実際，昭和59年
- (4) Moshe Ben-Akiva and S. R. Lerman : Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand, The MIT Press, 1985
- (5) J. A. Dubin and R. D. Rivers : SST Reference Manual
- (6) 前掲(3) pp. 110~113
- (7) 森川・山田：SPデータとRPデータを用いた都市間鉄道のサービス改善に伴う需要予測法，土木計画学研究・講演集，No.13, pp. 659~666, 1990. 11

質 疑 応 答

今井昭夫(神戸商船大学)：いくつかの交通機関選択モデルを作成されていますが、将来何らかの新しい交通手段の導入が予定され、これらのモデルで予測するときどのモデルを使えばよいかお教え下さい。

小谷通泰：導入を予定している新たな交通手段が、まずどのような交通サービス特性を持った手段であるかを規定する必要があります。これに対応して、それらのサービス特性を示す変数を政策変数として含むようなモデルの作成が必要と考えられます。しかし、快適性といった定式化が困難な要因をどのように変数化するか、将来にわたって選択行動が変化しないかどうかなどの検討は必要と考えられます。

鶴田三郎(東京商船大学)：陸上交通に関して行われている研究に対して手法もしくは結果として特徴的な点をお教え下さい。

小谷通泰：陸上交通であろうと、海上交通であろうと基本的には、交通機関の選択行動は、交通手段のもつサービス特性や個人属性によって説明されることには変わりはないと考えます。しかし、海上交通手段特有の、フェリーなどのもつ居住性や、港へのアクセスといった要因については、今後積極的に考慮していく必要があります。