

# 物流センサデータを用いたトラック輸送貨物の連絡橋とフェリーの選択分析\*

An Route Choice Analysis of Truck Transportation Cargo by Useing Net National Freight Circulation Data\*

岡山 正人\*\*

By Masato OKAYAMA\*\*

## 1. はじめに

1999年5月にしまなみ海道が開通したことにより、計画されていたすべての本四連絡橋が開通した。こうした中、2002年12月に「道路関係四公団民営化推進委員会」により、連絡橋の料金を値下げすべきと言った意見が出された。このような意見を受け、2004年7月より2003年3月現在の料金から約1割値下げすることで運営がなされることとなり、現在もさらなる料金の値下げについて議論がされている。

こうした状況下において、著者はトラック事業所を対象にアンケート調査を実施することで、連絡橋の開通や料金の変化がトラック輸送に与える影響について分析を進めてきた。その結果、トラックによる連絡橋およびフェリーの利用要因<sup>1)</sup>や、連絡橋の料金が値下げした際の連絡橋を利用したルートへの変更意向などを明らかにしてきた<sup>2)</sup>。これらの研究では、何れも著者が自ら実施したアンケート調査結果をもとにして分析を行っているため、既存の統計調査などにはない多様な調査項目からの分析結果を得ることができた。しかしながら、分析対象としたサンプル数には限界があり、既存の統計データなどにより全体像の把握や分析結果の信頼性を確認する必要性もある。

そこで本研究では、既存のデータとして「物流センサデータ」を用いて、トラック輸送貨物の本四連絡橋とそれらと代替関係にあるフェリー航路の利用要因について分析を試みた。そしてこれらの結果を、著者の従来の研究結果と比較検討するとともに、トラック輸送貨物の連絡橋とフェリーの選択モデルを構築した。

以下ではまず、利用した物流センサデータの概要を述べ、次に、トラック輸送貨物の連絡橋とフェリーの利用要因を、貨物の種類やロットサイズなどの分析から明らかにした。そして最後に、明らかにした連絡橋やフェリーの利用要因をもとに、ロジスティック回帰分析によりトラック輸送貨物の経路選択モデルを構築した。

## 2. 使用データの概要

### (1) 使用データ

本研究では先に述べたように、2000年10月17日から19日までの3日間に実施された「物流センサデータ」を用いることとした。物流センサデータはいわゆる「純流動調査」で、貨物が発地から出荷され最終目的地に到着するまでの、「費用」や「所要時間」、通過した「物流施設」「利用輸送機関」などが調査されている。

この内本研究で分析対象としたものは、四国を発地または着地とし、その間にフェリーを利用したものも含むトラックによって輸送されたものとした。その結果、分析対象としたデータの輸送ルート数(レコード数)は16,383ルート、総貨物量は約162,531トン、また件数は222,506件となった。

### (2) トラック輸送貨物の実態

図-1は連絡橋とフェリーの利用率を貨物の輸送トン数と輸送ルート数で見たものである。これらによれば、トン数比率ではフェリーが70%を占めているのに対し、ルート数の比率では逆に8割以上が連絡橋となっている。このことから、フェリーを利用している貨物輸送では、連絡橋を利用したものよりも重い貨物を輸送しているものと考えられる。

## 3. トラック輸送貨物のフェリーと連絡橋の利用要因の分析

ここでは、貨物の輸送実態を連絡橋とフェリーを利用した場合で比較することで、貨物の経路選択要因を考察する。なお以下では、輸送ルート数に着目して分析を進めることとした。

### (1) ODペア

ここでは、ODペアによる連絡橋とフェリーの利用量

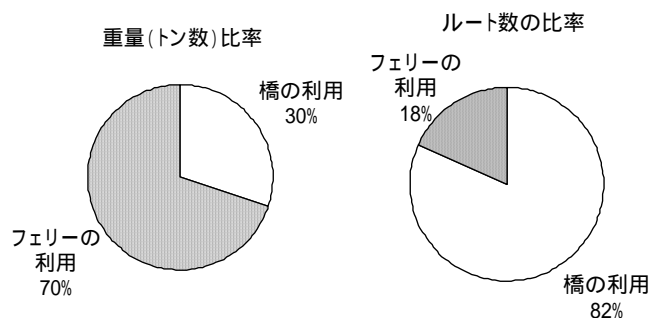


図-1 連絡橋とフェリーの利用率

\*キーワード：物資流動、経路選択、物流計画

\*\*正員、博士(工学)、  
広島商船高等専門学校 流通情報工学科  
(広島県豊田郡大崎上島町東野4272-1、  
Tel & Fax:08466-7-3092、  
E-mail:okayama@hiroshima-cmt.ac.jp)

表 - 1 フェリーを利用したルートが多いODペア

ODペア		標準化残差(1.96以上のものを掲載)	
四国の県	他道県	四国側の県を発地	四国側の県を着地
徳島	北海道	10.64	5.05
香川	北海道	13.10	6.04
	兵庫	4.47	2.87
	岡山	3.39	7.35
	熊本	2.02	2.37
愛媛	北海道	10.64	7.88
	岡山	2.80	5.46
	広島	5.78	2.69
	山口	2.42	10.09
	福岡	9.32	4.58
	佐賀	3.14	2.67
	熊本	4.93	2.68
高知	宮崎	4.93	5.33
	北海道	9.93	5.05
	山口	2.24	4.05

の違いを分析した。分析はクロス集計表の残差分析<sup>3)</sup>の考え方をもとに以下の方法で行った。

当該ODのフェリーを利用した輸送ルート数の期待値  $E_{ij}$  を分析対象全体のフェリー利用した輸送ルート数の総数  $\times$  (当該ODの総輸送ルート数の実測値 / 分析対象の総輸送ルート数) とすると、

$$e_{ij} = (OD_{ij} \text{のフェリーの実測輸送ルート数} - E_{ij}) / \sqrt{E_{ij}}$$

で得られた  $e_{ij}$  はクロス集計表の「標準化残差」と同じものであると考えられる。そこで、 $e_{ij}$  が標準正規分布に従うと仮定することで、この値が有意水準5%点である1.96を越えるような場合を、フェリーを利用する輸送ルートが多いものと考えた。

表 - 1 はこうした  $e_{ij}$  (標準化残差) をODごとに計算し、その値が当該OD両方向で1.96を越えるODペアのみを掲載したものである。

これによれば、四国の県と北海道での貨物輸送では、フェリーが多く利用される傾向があることがわかる。また、愛媛県を発着地とした貨物輸送では、四国の他の県よりもフェリーを利用する傾向が強い。このように、ODペアによってフェリーを利用する傾向が強いものがあることがわかる。

## (2) 貨物の種類

従来の著者の研究では、「農水産品」「日用雑貨」などは連絡橋を利用するケースが多く、「原木」「石油・石炭製品」「食料工業品」などはフェリーで輸送される場合が多かった。

図 - 2 は、物流センサスデータをもとに、連絡橋またはフェリーを利用している貨物の品種構成について見たものである。

これによれば、「雑工業品」ではフェリーに比べ連絡橋においてその比率が大きくなっており、従来の研究成

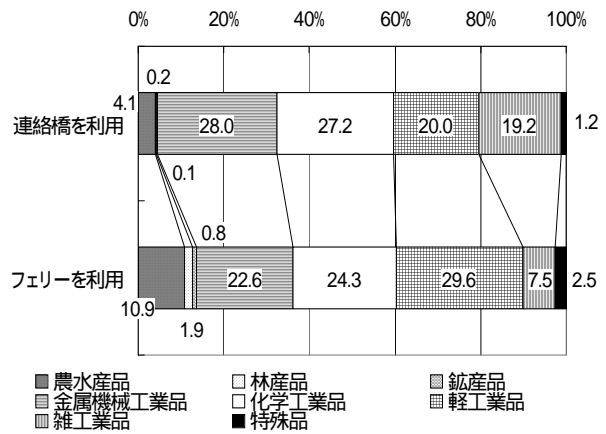


図 - 2 輸送貨物の品種構成比

果同様「雑工業品」は連絡橋を利用して輸送される傾向が強い。また逆に「農水産品」「軽工業品」はフェリーにおける比率が高く、これらの品種ではフェリーを利用する傾向があることがわかる。物流センサスデータでは「食料工業品」は「軽工業品」に分類されており、従来の研究と同様の傾向があるものと見られる。しかしながら、「農水産品」について従来の研究とは逆の結果となった。これは、今回の研究では「農水産品」は北海道など特定の地域から輸送されるものが多くあったが、従来のアンケートによる分析では、サンプル数などの関係からこうしたことが把握できなかったためと思われる。なお、従来の研究でフェリーの利用傾向が強いと考察された「原木」について見ると、今回の分析では「林産品」の比率が小さいため明確な判断はできないが、連絡橋に比べフェリーでその比率が高くなっており、従来の研究結果と同様な傾向が見られる。

## (3) ロットサイズ

図 - 3 では、連絡橋を利用したものとフェリーを利用したものに分けて、1件当たりの貨物の輸送トン数、すなわち、ロットサイズの違いを調べた。

この図に見られるように、連絡橋を利用した場合のロットサイズは0.1トン未満が6割以上を占めているのがわかる。その一方で、フェリーを利用した貨物のロットサイズでは8割もの貨物が1トンを超えるものとなっている。このように、連絡橋ではロットサイズが小さな貨物を輸送する傾向にあり、逆にフェリーではロットサイズの大きい貨物を輸送する傾向があることがわかる。なお、これは図 - 1 の考察と同様な結果となっている。

## (4) 1時間1トン当りの輸送コスト

一般的に、連絡橋を利用すると輸送時間が早くなる一方、フェリーに比べコストが高くなる場合が多い。このため、急いで輸送する必要があり運賃負担力も大きい貨物は連絡橋を利用する傾向があり、その逆の貨物はフェリーを利用する傾向があるものと思われる。従来の著者

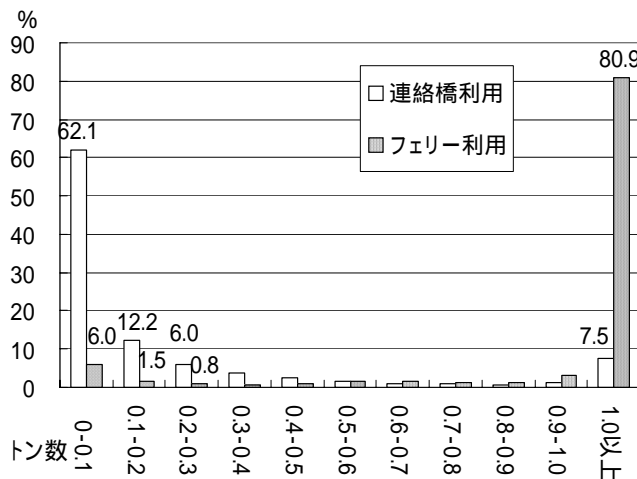


図 - 3 ロットサイズの分布

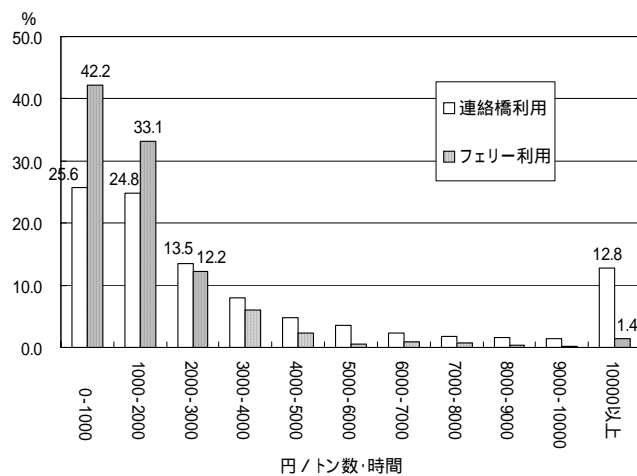


図 - 4 1時間・1トン当たりの輸送コストの分布

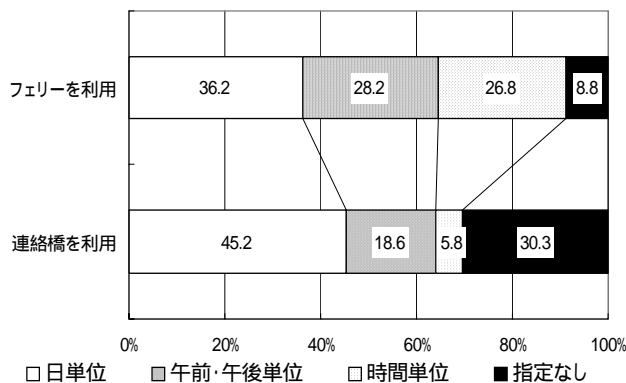


図 - 5 時間指定の構成比

の研究においても、フェリーは輸送コストを重要視する場合に利用される傾向があり、連絡橋は輸送時間を重視する場合に利用される傾向があった。

そこでここでは、輸送ルートごとに1トン・1時間当たりの輸送コストを貨物の「時間輸送コスト(円/トン・時間)」として求め、それを連絡橋を利用したものとフェリーを利用したものに分けてその分布状況を調べた。その結果を示したものが図 - 4である。

この図によれば、連絡橋を利用した場合およびフェリーを利用した場合ともに、2,000円/トン・時間未満の

比率が50%以上を占めており、トラックで輸送されている貨物の時間輸送コストは2,000円/トン・時間のものが多くなっていることがわかる。しかしながら、連絡橋を利用した貨物には時間輸送コストが10,000円/トン・時間のものも1割以上ある。このように従来の研究と同様、時間輸送コストの高い貨物、すなわち運賃負担力の高い貨物は連絡橋を利用する傾向があるものと考えられる。

#### (5) 時間指定

次に、「時間指定」の厳しさの程度によるルートを選択状況について調べた。物流センサデータでは時間指定の程度を「時間指定なし」「日単位」「午前・午後単位」「時間単位」に分けて調査している。図 - 5は、これらの比率を連絡橋を利用した場合とフェリーを利用した場合に分けて集計したものである。

この図によれば、「時間指定なし」の比率は連絡橋を利用した場合の方が大きい他、最も時間指定の厳しくない「日単位」の比率もフェリーに比べ大きくなっている。この逆に、比較的指定の度合いが厳しい「午前・午後単位」「時間単位」の比率はフェリーを利用した場合の方が比率が大きくなっている。このように、時間指定の厳しい貨物はフェリーを利用する傾向が見られる。

しかしながら、一般にはスケジュールが決まっているフェリーよりも、いつでも利用できる連絡橋の方が厳しい時間指定に対応が容易であり、厳しい時間指定の貨物では連絡橋を利用するものと考えられる。また、従来の著者の研究でも時間指定の貨物は連絡橋を利用する傾向にあるといった結果も得られており、時間指定についてはさらなる分析が必要であると思われる。

### 4. ロジスティクス回帰分析による経路選択モデルの構築

#### (1) 経路選択モデル構築の考え方

ここでは、各貨物が連絡橋かフェリーの何れを利用した輸送ルートを選択するかをロジスティック回帰分析を用いてモデル化することを試みる。

ロジスティック回帰分析<sup>4)</sup>を用いたのは、図 - 1の分析でも見たように、フェリーを利用したものは20%にも満たさず、従属変数となる輸送ルートに大きな偏りがあるため、判別分析などでは推定結果の制度に問題を生じる可能性があるものと思われるためである。

モデル構築に用いた経路選択要因は、先の分析結果から得られた「ODペア」「貨物の種類」「ロットサイズ」「時間輸送コスト」の4つを用いた。「時間指定」についてはさらなる分析が必要であるものと考え、分析対象から除外した。

また、「ODペア」は表 - 1の分析でフェリーの利用傾向が強いODペアにはダミー変数として1を、その他

表 - 2 ロジスティック回帰分析を用いた経路選択モデル

説明変数	回帰係数	Wald統計量	オッズ比
ロットサイズ	0.266	986.3**	1.305
時間輸送コスト	-0.011	92.2**	0.989
ODペア	1.214	286.3**	3.366
貨物の 品種	農水産品	1.122	108.2**
	化学工業品	-0.203	8.1**
	雑工業品	-0.579	31.4**
定数	-1.644	-	-
初期-2対数尤度	10256.5	注) Wald統計量および 2値にある*は有意水準 5%で、**は有意水準 1%で有意であることを 示している。	
最終-2対数尤度	7336.3		
2値 / 自由度	2920.3 / 6**		
Cox&Snel IR2乗	0.278		
Nagelkerke R2乗	0.408		
的中率	83.9%		

のODペアでは0とした。「貨物の種類」については図-2の分析同様8品目とし、これを7つのダミー変数で表すこととした。

この結果、モデルでの説明変数は合計10変数となった。そのため、ロットサイズや貨物の種類などの要因間で相関がみられる可能性がある。こうしたことから、モデルの構築に当たっては、各説明変数の統計的有意性を示す「Wald統計量」による検定で、有意水準5%を基準とする変数増加法により変数を選択する方法を用いた。なお、モデルはフェリーを利用したルートを選択確率を求めるように推定を行うこととした。

## (2) モデルの推定結果

表-2は、上記の方法で構築したモデルの推定結果を示している。この表を見るとまず、モデルの統計的有意性を示す2値による検定で、有意水準1%で有意となっていること、また、的中率が83.9%となっていることなどから、ほぼ良好な推定結果を得ているものと考えられる。

また、「貨物の品種」のダミー変数を含み6つの統計的に有意な説明変数が得られており、こうした結果から、3.の連絡橋とフェリーの利用要因の分析とほぼ同様な結果を得た。すなわち、「ロットサイズ」が大きい貨物や「農水産品」ではフェリーを利用する傾向が強い他、フェリーを利用する傾向が強いODペアが存在することも確認できた。一方、「時間輸送コスト」が高い貨物や「雑工業品」では連絡橋を利用する傾向があることが示された。なおこれらに加えて、「化学工業品」も連絡橋を利用する傾向が見られる。3.(2)の考察では触れなかったが、図-2を見ると、あまり強くはないもののこうした傾向が見られる他、従来の研究でも明確ではないが同様な傾向が見られた。

さらに、「Wald統計量」の値から、連絡橋とフェリーの利用決を定する最も大きな要因は「ロットサイズ」であることがわかる。また、続いて「ODペア」「農水産

品」が大きな選択要因となっている。

## 5. おわりに

本研究では、物流センサデータを用いてトラック輸送貨物の本四連絡橋とフェリーの選択行動について分析を行った。本研究の成果をまとめると以下ようになる。

1) 物流センサデータをもとにトラック貨物の輸送実態を分析することで、連絡橋とフェリーの利用要因を抽出した。そして、これらの結果をもとにロジスティック回帰分析によりトラック輸送貨物の経路選択モデルを構築した。その結果、2検定の結果や的中率の値からほぼ良好な推定結果を得たことがわかった。

2) こうした結果から、従来の研究では明らかにされなかったトラック輸送貨物の選択要因が抽出できた。すなわち、フェリーを利用する傾向が強い「ODペア」があることがわかった。そして、「ロットサイズ」の大きい貨物はフェリーを、小さい貨物は連絡橋を利用する傾向があることを示した。また、経路選択モデルのWald統計量の値から、これら2つの要因が連絡橋とフェリーを選択する際に大きな要因となっていることを明らかにした。

3) 「時間輸送コスト」も選択要因となることを示した。このことから従来の研究と同様、運賃負担力の大きい貨物は連絡橋を、小さい貨物はフェリーを利用する傾向が見られることがわかった。

4) 貨物の品種では、「雑工業品」は従来の研究と同様、連絡橋を利用する傾向が見られたが、「農水産品」など従来の結果と異なる結果を得たものもあった。これらとともに「時間指定の有無」については従来の結果と異なった結果となった他、理論的な整合性からも再度検討が必要であるものと考えられた。

## 参考文献

- 1) 岡山・田中・小谷：明石海峡大橋としまなみ海道の開通が本州・四国間のトラック輸送に与えた影響に関する分析、日本沿岸域学会・論文集15、pp.121~192、2003年3月。
- 2) 岡山：本四連絡橋の料金値下げによるトラックの経路選択に関する基礎的研究、土木計画学研究講演集、Vol.30 CD-ROM、2004年11月。
- 3) B.S.エヴェリット：質的データ解析、新曜社、pp.49~50、1980年。
- 4) 丹後・山岡・高木：ロジスティックス回帰分析、朝倉書店、1996年。