【土木計画学研究・論文集 No.10 1992年11月】

上限と下限を持つトビットモデルによるコンテナサイズの選択モデルに関する研究

Two Limit Tobit Model for the Choice of Container Size

渡辺 豊*
By Yutaka WATANABE

The size of container has a close relation to the scale of vehicles. Therefore it is important for infrastructure planning to analyze the need for container size in logistics systems. This paper explores to estimate models that evaluate behavior for the choice of container size.

Since container have an upper and a lower limit size to be utilized, a shipper's choice behavior occurs either discretely or continuously. For those kinds of problems, Two Limit Tobit Model can be used. The concept was pioneered by R.Rosett et al.(1975).

This paper also tries to develop a method for estimating expected values which predict the dependent variable of Two Limit Tobit Model.

1．はじめに

現在の物流活動においては、輸送効率の優れたコンテナ輸送システムが広く普及している。このコンテナのサイズは、それを積載するトラック等の車両に直接影響を与えることになる。最近の研究では、輸出入コンテナサイズの大型化[1]が指摘され、それに伴う港湾周辺の大型車による交通量増加が問題視されている[2]。また、国内コンテナにおいても、コンテナの大型化に対する車両の技術的な検討[3]が行われている。したがって、物流活動において、どのようなニーズによりコンテナサイズが選択されているのかを知り、サイズの大型化等への今後の動向を検討することは、土木計画にとっても重要である。

コンテナサイズの選択は、規格化された特定のサイズの制限により、離散連続的な現象となる。そこで、本論文は、上限と下限を持つトビットモデル[4]を適用するとともに、新たにその期待値の算出方法を開発し、サイズの規格制限下における、コンテナサイズの選択行動のモデル化を第一の目的とする。さらに、既存モデルとの比較を通して、離散連続モデルとしてのトビットモデルの有効性を検証する。

なお、分析には、全世界に流通し、国内においても大都市臨海部において多量に輸送されている[5]、輸出入コンテナの長さを対象とする。

2．離散連続的なコンテナサイズの選択現象

2．1 コンテナサイズの規格

コンテナは、構造物としては単なる箱であり、そのサイズは本来連続的に作り得るものである。しかし、貨物輸送容器としてのコンテナは、①不特定多数の荷主により繰り返し利用されること，②異なる輸送機関に適合する必要があること，③道路等の社

キーワード： ﾄﾋﾞｯﾄﾓﾃﾞﾙ，離散連続ﾓﾃﾞﾙ，ｺﾝﾃﾅ

＊ 正会員 東京商船大学商船学部 助教授
（〒135 東京都江東区越中島2-1-6）

会基盤施設において運用可能であること、などの社会，経済，公共上の制約から、一般に、そのサイズは、ある限られた特定の規格に統一されている[3)6)]。例えば、輸出入コンテナの場合、ISO（国際標準化機構）[6)]規格の20ftコンテナと40ftコンテナが国内流通を認可されている（図１参照）。

しかし、規格化されたコンテナのサイズも、社会のニーズによって徐々に変化して行く。最近の米国やＥＣにおける輸出入コンテナの主流は、すでに45ftや50ftといった、大型サイズへと移っている[1)]。我が国における輸出入コンテナの保有数を見ても、40ftを越えるサイズのコンテナが年々大幅に増加している（図１参照）。しかし、これらのコンテナはまだ、国内流通を認可されていない。

２．２　離散的選択と連続的選択が混在する現象

以上のような規格化の結果、離散的なある特定のサイズのコンテナだけが、広域的に流通することになる（図１参照）。しかし、物流活動におけるコンテナサイズに対する需要は、貨物の出荷に伴う個別の事情に依存し、連続的に変化すると考えられる。よって、適当なサイズのコンテナが存在しなければ、次善の策として、異なるサイズのコンテナが併用さ

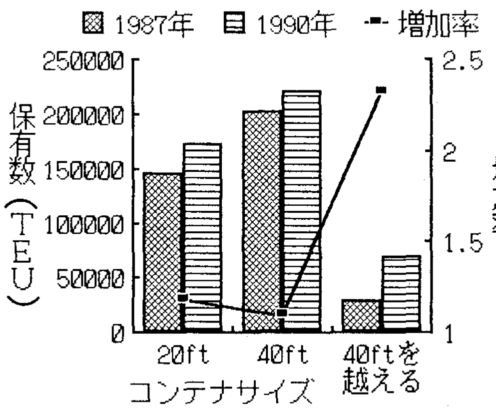

図１　日本における輸出入コンテナ保有数の推移[7)]
ＴＥＵ：20ftコンテナ換算個数

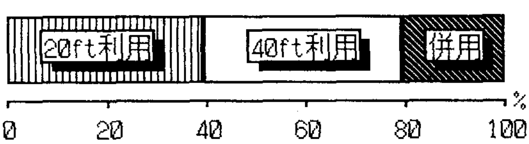

図２　サイズ別コンテナの利用状況
昭和61年の輸出入コンテナ利用実績値[8)]
首都圏における476件の出荷の集計

れる場合も考えられる。例えば、日本における輸出入コンテナの利用の場合は、20ftコンテナと40ftコンテナを併用するケースが、全体の20％以上に及んでいる（図２参照）。さらに、コンテナサイズの選択状況を、出荷一件あたりの選択サイズ平均値で調べると、両者を併用する場合は、その値が出荷ごとに連続的に変化している（図３参照）。

このように、コンテナサイズの選択行動は、①特定のサイズだけを利用する離散的な選択と、②異なるサイズのコンテナを併用する連続的な選択、が混在する現象と考えることができる（図３参照）。

２．３　トビットモデルの適用性

（１）離散連続モデルとしてのトビットモデル

コンテナサイズの選択が離散連続的な現象となるのは、サイズに規格という制限が存在するためである。このような、現象に何等かの制限が生じたことにより、離散連続的となる問題に対しては、トビットモデルが有効と考えられる。

トビットモデルは、J.Tobin(1958)[9)]によって開発された。彼は、世帯主の収入と耐久消費財等の消費の関係を、所得制限下における離散連続問題としてモデル化している。このモデルは、観測値に表われない潜在的な可能性を確率モデルにより表現し、その推定値は、確率に基づく期待値によって示す方法である。このトビットモデルは、それ以後、米国における計量経済学の分野で普及し、T.Amemiya(1984)[10)]の研究により、理論的に体系化されている。

（２）トビットモデルに関する国内の研究例

最近では、国内においてもトビットモデルは注目され、渡辺[11)]の研究では、道路交通量推計手法への応用という視点で、トビットモデルを詳細に検討し、独自な試算を行っている。また、屋井[12)]らの研究では、高層住宅の新規販売に対する需要と供給の関係を、供給個数制限下における需要問題としてトビットモデルを適用し、その線形結合のパラメータを利用している。さらに、渡辺[13)]の研究では、輸出入コンテナの積載車両の交通量分布に対して、サンプルの観測期間による制約と、貨物の出入荷のタイミングと規模の相違、という２つの制限下における離散連続問題としてトビットモデルを仮定し、確率に基づく期待値によって潜在的な交通量の分布を推定している。

（３）上限と下限を持つ選択現象への応用

通常のトビットモデルは、上限もしくは下限といった、ある１つの制限が現象に存在する場合を想定したものであった。しかし、輸出入コンテナのサイズの選択は、上限40ft，下限20ftという２つの制限が同時に存在する現象となる（図３参照）。このような現象に対しては、R.Rosett(1975)[4]らの研究がモデル化を試みている。彼等は、J.Tobin(1958)[9]によって示された、１つの制限を持つトビットモデルの概念を拡張し、上限と下限が同時に存在する現象を理論的に仮定し、シミュレーションデータによってトビットモデルの線形結合の推定を行っている。

しかし、この研究では、上限と下限を持つ場合のトビットモデルに関する、期待値の概念は示されておらず、離散連続的な現象を具体的に予測することはできない。また、実際の現象にこのモデルを適用した例も、まだ報告されていない。そこで本論文は、コンテナサイズの選択現象へ上限と下限を持つトビットモデルを適用し、新たにその期待値の概念を導入し、その算出方法の開発を試みる（３．３節参照）。

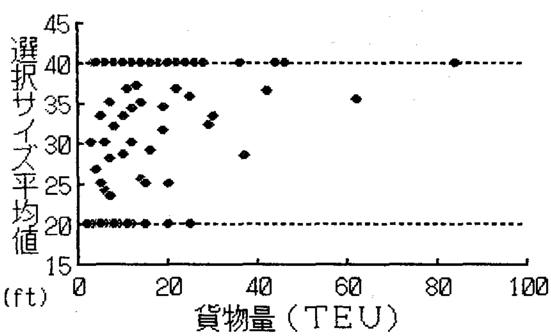

図３　離散連続的なコンテナサイズの選択現象
昭和61年の輸出入コンテナ利用実績値[6]
首都圏における476件の出荷の選択行動

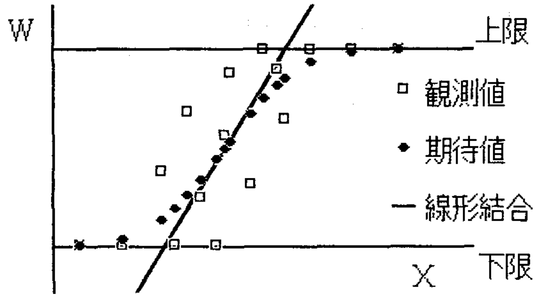

図４　上限と下限を持つトビットモデルのイメージ

３．上限と下限を持つトビットモデル

３．１　上限と下限を持つトビットモデルの概要

社会現象を表わす目的変数の中には、離散的な上限と下限を持ち、その両者の間では、連続的に数値が変化する場合が考えられる（図３参照）。このとき、その説明変数は、

① 目的変数が上限値をとる確率
② 目的変数が下限値をとる確率
③ 目的変数が上限値や下限値をとらない場合の変数値の確率分布

のそれぞれに影響を及ぼすと考えられる。ここで、目的変数(W)が連続的に観測される場合において、Wは説明変数(X)に関連すると仮定し、Xの線形結合を平均とする確率分布で表現する（図４参照）。さらに、Wが上限値もしくは下限値に離散的となって観測される場合は、その確率を、Xの線形結合とWの上限値，下限値との偏差によって示す（図４参照）。R.Rosett(1975)[4]らの方法は、以上のような仮説に基づいている。

この考え方をさらに拡張し、Xの任意の位置におけるWの存在確率を求め、その期待値を算出すれば、①上限，②上限と下限の間の部分の線形結合，③下限、のそれぞれに漸近的で連続した、Wに対する非線形な推定値を得ることができる（図４参照）。

３．２　上限と下限を持つトビットモデルの導出

（１）確率モデルの記述

まず、Wを下限（L_1），上限（L_2）が存在する目的変数とし、Yを独立な説明変数（$X_1, X_2, \cdots, X_m$）の線形結合とする。ここで、

$$Y=\beta_0+\beta_1 X_1+\cdots+\beta_i X_i+\cdots+\beta_m X_m \quad (1)$$

β_i：パラメータ（$i=1,\cdots,m$）
β_0：定数項

である。さらに、未知な変数をランダムなものとしてεで示すと、WとYの関係は次のように表現することができる。

$$\begin{aligned} W&=L_1 && (Y-\varepsilon<L_1) \\ W&=L_2 && (Y-\varepsilon>L_2) \\ W&=Y-\varepsilon && (L_1\leq Y-\varepsilon\leq L_2) \quad (2) \end{aligned}$$

よって、Wに対する確率分布関数(F)及び対応する確率密度関数(f)は、式(1)と式(2)から以下となる。

$$F(u;Y,L_1,L_2)=0 \qquad (u<L_1)$$
$$F(u;Y,L_1,L_2)=0 \qquad (u>L_2)$$
$$F(L_1;Y,L_1,L_2)=Q\{\frac{Y-u}{\sigma}\} \qquad (u=L_1) \qquad (3)$$
$$F(L_2;Y,L_1,L_2)=P\{\frac{Y-u}{\sigma}\} \qquad (u=L_2) \qquad (4)$$
$$F(u;Y,L_1,L_2)=Q\{\frac{Y-u}{\sigma}\} \qquad (L_1<u<L_2)$$
$$f(u;Y,L_1,L_2)=\frac{1}{\sigma}Z\{\frac{Y-u}{\sigma}\} \qquad (L_1<u<L_2) \qquad (5)$$

U：確率変数
σ：標準偏差
P：標準正規確率分布関数
Q：1-P
Z：標準正規確率密度関数

（２）尤度関数の定式化

ここで、下限L_1において観測されるサンプルをp個とする。個々のサンプルは、それぞれ下限L_1と同じ値をとる目的変数値($W^1{}_i$)及び、独立変数値($X^1{}_{1i}$, $X^1{}_{2i}$,…,$X^1{}_{mi}$)とその線形結合値($Y^1{}_i$)により表現する。ただし、i=1,…,pである。同様に、上限L_2で観測されるサンプルはq個とし、それぞれ($W^2{}_j$, $X^2{}_{1j}$, $X^2{}_{2j}$,…,$X^2{}_{mj}$, $Y^2{}_j$)として記述する。ただし、j=1,…,qである。また、下限L_1と上限L_2の間で観測されるサンプルはr個とし、それぞれ(W_k, X_{1k}, X_{2k},…, X_{mk}, Y_k)として同様に記述する。ただし、k=1,…,rである。これより、サンプルの尤度関数(ϕ)を、式(1),(3),(4),(5)によって定義すると

$$\phi(\beta_0,\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_m,\sigma)$$
$$=\prod_{i=1}^{p}F(W^1{}_i;Y^1{}_i,L_1,L_2)\prod_{j=1}^{q}F(W^2{}_j;Y^2{}_j,L_1,L_2)\prod_{k=1}^{r}f(W_k;Y_k,L_1,L_2)$$
$$=\prod_{i=1}^{p}Q\{\frac{Y^1{}_i-L_1}{\sigma}\}\prod_{j=1}^{q}P\{\frac{Y^2{}_j-L_2}{\sigma}\}\prod_{k=1}^{r}\frac{1}{\sigma}Z\{\frac{Y_k-W_k}{\sigma}\} \qquad (6)$$

となる。よって、式(6)を対数尤度化し、適当な初期値を与えてニュートンラフソン法等による繰り返し計算を行なえば、最尤推定法によるパラメータを得ることができる[14]。

３．３　上限と下限を持つ場合の期待値

上限と下限を持つトビットモデルにおいても、通常のトビットモデルと同様に[13]、その期待値を考えることができる。ここで、式(2)の概念から、Wには任意の説明変数において、①下限L_1に対する存在確率、②上限L_2に対する存在確率、そして、③下限L_1と上限L_2の間に分布する確率、の３つが存在する。よって、YとL_1，L_2が与えられた時のWの期待値(E)は、式(3),(4),(5)を用いて、

$$E(W;Y,L_1,L_2)=L_1Q\{\frac{Y-L_1}{\sigma}\}+L_2P\{\frac{Y-L_2}{\sigma}\}+\int_{L_1}^{L_2}\frac{u}{\sigma}Z\{\frac{Y-u}{\sigma}\}du$$

と表現できる。ここで、$x=(Y-u)/\sigma$とおき、上式の第３項に変数変換をほどこせば、

$$E(W;Y,L_1,L_2)=L_1Q\{\frac{Y-L_1}{\sigma}\}+L_2P\{\frac{Y-L_2}{\sigma}\}+Y\int_{(Y-L_2)/\sigma}^{(Y-L_1)/\sigma}Z\{x\}dx+\sigma\int_{(Y-L_2)/\sigma}^{(Y-L_1)/\sigma}-xZ\{x\}dx$$

となる。さらに、正規分布の性質から、

$$Z\{x\}=\frac{dP(x)}{dx}, \quad -xZ\{x\}=\frac{dZ(x)}{dx}$$

であるので、期待値(E)は最終的に

$$E(W;Y,L_1,L_2)=L_1Q\{\frac{Y-L_1}{\sigma}\}+L_2P\{\frac{Y-L_2}{\sigma}\}$$
$$+Y\left[P\{\frac{Y-L_1}{\sigma}\}-P\{\frac{Y-L_2}{\sigma}\}\right]$$
$$+\sigma\left[Z\{\frac{Y-L_1}{\sigma}\}-Z\{\frac{Y-L_2}{\sigma}\}\right] \qquad (7)$$

となる。これが、上限と下限を持つトビットモデルの推定値となり、その値は非線形で表現される（図４参照）。このように、トビットモデルでは、推定値が確率に基づく期待値で示されるため、上限値や下限値しかとらない離散的なサンプルに対しても、連続的な数値で予測を行うことが可能である。

４．コンテナサイズの選択行動のモデル化

４．１　モデル化の条件

２章における分析から、コンテナサイズの選択行動をモデル化するには、以下の３つの条件を満たす

必要があると考えられる。

① 離散連続的な選択現象のモデル化

② コンテナサイズの規格値をモデルに導入

③ コンテナサイズに対する需要を連続的に予測

そこで、本論文は、まず、条件①に対しては3章の分析に基づき、上限と下限を持つトビットモデルを適用する。次に、条件②に対しては、輸出入コンテナの規格サイズにより、上限値を40ft，下限値を20ftとしてトビットモデルを定式化する。

そして、条件③に対しては、本論文で開発した上限と下限を持つトビットモデルの期待値を用いて表現する（3．3節参照）。

4．2 モデルの定式化

以上に基づき、コンテナサイズの選択モデルを、上限と下限を持つトビットモデルにより、次のように定式化する。

W_i：輸出入コンテナの出荷における選択サイズの平均値（出荷一件あたりの非集計）

L_1：20ft（選択サイズ平均値の下限）

L_2：40ft（選択サイズ平均値の上限）

Y_i：説明変数による線形結合

i：サンプル（i=1,…,n）

ここで、

$$Y_i=\beta_0+\sum_{j=1}^{m}\beta_j X_{ij} \qquad (8)$$

X_{ij}：輸出入コンテナサイズの選択に関連する説明変数（j=1,…,m）

β_j：パラメータ（j=1,…,m），β_0：定数項である。ただし、サンプルが下限L_1で観測される場合は、$W^1_i=W_i$，$Y^1_i=Y_i$とし、上限L_2で観測される場合は、$W^2_i=W_i$，$Y^2_i=Y_i$として、式(6)に適用する。

4．3 適用データ

（1）目的変数

分析は、昭和61年の実績値[8]を用い、目的変数には、東京港及び横浜港を利用して出荷された輸出入コンテナの、出荷一件あたりの選択サイズの平均値を適用する。これは、荷主からの貨物に応じて輸出入コンテナのサイズを決定し、それを出荷する輸送主体[6]（船会社もしくは利用運送業者）単位による非集計データである（表1参照）。サンプル数は476であり、このうち20ftコンテナのみを利用したのは187サンプル、40ftコンテナのみを利用したのは192サンプル、そして、20ftと40ftの双方のコンテナを併用したのは97サンプルである（表1参照）。

（2）説明変数

コンテナサイズの選択に関連する説明変数には、コンテナサイズの選択行動を行う輸送主体の固有属性と、貨物の荷主が存在する地域の経済属性、の2つを考える必要がある。本論文では、基本的なものとして、前者には①貨物量[8]，②輸送主体の種類[8]，③貨物の品目[8]，④輸出入の相違[8]，⑤輸送料金比[15]を適用し、後者には、⑥輸出入活動の利便性[8]，⑦物流活動の規模[16]，⑧工業活動の規模[17]，⑨商業活動の規模[18]を適用する（表1参照）。

表1 適用データ

変数			適用データ	単位
目的変数			選択された輸出入コンテナサイズの平均値[8]	ft．
説明変数	輸送主体固有属性	①貨物量[8]	出荷一件あたりの総コンテナ数	TEU
		②輸送主体の種類[8]	1：船会社，　0：利用運送業者(倉庫業等)	ダミー
		③貨物の品目[8]	1：雑貨混載(不特定荷主)，0：同一品目積載(特定荷主)	ダミー
		④輸出入の相違[8]	1：輸出貨物，　0：輸入貨物	ダミー
		⑤輸送料金比[15]	20ftコンテナ利用運賃÷40ftコンテナ利用運賃	比率
	地域経済属性	⑥輸出入活動の利便性[8]	港湾との距離（トラックによる実走行距離）	km
		⑦物流活動の規模[16]	物流業事業所における貨物保管面積	m^2
		⑧工業活動の規模[17]	工業製品出荷付加価値額（年間）	100万円
		⑨商業活動の規模[18]	卸売業販売額（年間）	100万円
分析単位	O	地域	荷主が存在する茨城，栃木，群馬，埼玉，千葉，東京，神奈川の各都県における市区町村	
	D	港湾	東京港，横浜港	
	サンプル		輸出入コンテナの輸送主体による出荷一件あたりの非集計データ[8]	
サンプル数：476（20ftのみ利用：187ｻﾝﾌﾟﾙ，40ftのみ利用：192ｻﾝﾌﾟﾙ，20ftと40ftを併用：97ｻﾝﾌﾟﾙ） TEU：20ftコンテナ換算個数				

5．パラメータの推定

5．1　推定結果

表1に示したデータを式(8)に適用し、相互に独立な変数によって上限と下限を持つトビットモデルのパラメータを推定した結果、表2となった。この分析では比較のために、トビットモデルと同じ正規分布を仮定する、離散選択モデルとしてプロビットモデルを適用し、また、連続モデルとしては重回帰モデルを適用し、両者のパラメータの推定も行った。

分析の結果、最終的に有意となった変数は、表1における①貨物量，②輸送主体の種類，③貨物の品目，⑦物流活動の規模，⑧工業活動の規模、と定数項及び分散(トビットモデルの場合)の七つである。

一般に、トビットモデルが有効な現象では、重回帰モデルを適用した場合と比較すると、その線形結合の傾きは、より大きくなると考えられる[13]。

表2では、重回帰モデルと比較してトビットモデルは、定数項の値が小さくなり、その他の変数はすべて格段にパラメータの絶対値が大きくなっている。よって、本論文において、コンテナサイズの選択モデルに上限と下限を持つトビットモデルを適用したことは、妥当であったと考えられる。

5．2　コンテナサイズ選択行動の構造

（１）輸送主体固有属性変数

表2における輸送主体固有属性には、①貨物量，②輸送主体の種類，③貨物の品目、の3つの変数がプラスで有意となっている。これには、次のような理由が考えられる。

まず、物流活動において貨物需要が多ければ、規模の経済性からサイズの大きなコンテナが有利と考えられる（①）。特に、船会社は膨大な量のコンテナの実運送を行うので、荷主の意向に密着した利用運送会社と比較すると、コンテナサイズの規模の経

表2　パ　ラ　メ　ー　タ　推　定　結　果

推定モデル		トビットモデル		プロビットモデル		重回帰モデル	
説明変数		パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
輸送主体固有属性	①貨物量	1.67575	7.327**	7.09412×10^{-2}	5.231**	0.32842	6.207**
	②輸送主体の種類	18.15461	2.466*	0.45349	1.898	3.00206	2.053*
	③貨物の品目	15.83012	3.457**	0.51520	3.536**	2.92685	3.110**
	④輸出入の相違	−	−	−	−	−	−
	⑤輸送料金比	−	−	−	−	−	−
地域経済属性	⑥輸出入活動の利便性	−	−	−	−	−	−
	⑦物流活動の規模	-2.23192×10^{-5}	-3.360**	-5.49979×10^{-7}	-2.756**	-4.40216×10^{-6}	-3.421**
	⑧工業活動の規模	-2.38981×10^{-4}	-2.819**	-6.22326×10^{-6}	-2.346*	-4.61277×10^{-5}	-2.707**
	⑨商業活動の規模	−	−	−	−	−	−
定数項		21.40626	4.654**	-0.30106	-1.875	28.47902	27.998**
分散（σ^2）		1.20201×10^{3}	5.407**	1.00000	（仮定）	72.95992（不偏分散）	
説明力		$\rho^2=0.173$		$\rho^2=0.092$		$R^2=0.113$	
		$\rho_L^2=0.259$		−			
的中率		61.98％		62.78％		61.34％	
推定方法		最尤推定法		最尤推定法		最小自乗法	

＊＊：1％有意，＊：5％有意，無印：10％有意
ρ^2：すべてのパラメータを0とした場合（分散を除く）と比較した自由度調整済み尤度比，
ρ_L^2：重回帰モデルのパラメータと比較した自由度調整済み尤度比，R^2：自由度調整済み決定係数
注1）プロビットモデルの推定では、目的変数が30ft以上のものを1，30ftより小さいものを0として分析した。
注2）的中率は、実績値に対する推計値の分担シェアによって算出した。

済性には敏感と考えられる（②）。また、雑貨は、単独でコンテナを満載にすることができない、不特定多数の荷主による少量の貨物の集合であるため、同一品目で満載にされる特定荷主の貨物と比較すると、運賃負担力は小さい[5]。そのため、雑貨のコンテナ輸送には、輸送の経済性が最優先され[5]、容積に対する運賃効率の優れた[15]、大型サイズのコンテナが指向されていると考えられる（③）。

（２）地域経済属性変数

次に、表２における地域経済属性には、⑦物流活動の規模と⑧工業活動の規模がマイナスで有意となっている。これには、次のような理由が考えられる。

まず、本論文は物流活動の規模の変数に、物流事業所における貨物保管面積を採用した（表１参照）。一般に、倉庫等の貨物保管活動を行う物流業者は、荷主の在庫管理活動と密接に関連している。したがって、現在のような多頻度少量化物流が定着した社会では、一回の出荷においても多方面に少量ずつ発送される場合も多いと考えられる。このような状況にある物流業者がコンテナ輸送を行えば、サイズの小さなコンテナへのニーズが高まると考えられる（⑦）。これは、輸送主体固有属性変数において、輸送主体の種類の変数がプラスで有意になった事実と一致する（②）。また、貨物の多頻度少量化は、製品の高付加価値化と密接な関連がある[1]。本論文では、工業活動の規模の変数に工業製品の出荷付加価値額を採用している（表１参照）。したがって、高い付加価値を産出する地域ほど貨物の多頻度少量化が進行し、サイズの小さなコンテナへのニーズが生じると考えられる（⑧）。

５．３　トビットモデルの有効性

（１）離散選択モデル，連続モデルとの比較

本論文で適用した上限と下限を持つトビットモデルを、プロビットモデル及び重回帰モデルと比較すると、的中率ではその善し悪しを判断することはできない（表２参照）。しかし、重回帰モデルでは、定数項のｔ値が極端に大きく、他の説明変数の影響力がモデルに反映されていない（表２参照）。また、プロビットモデルの場合は、パラメータの大小の傾向はトビットモデルと似るが、説明力（尤度比）の比較ではかなり劣っている（表２参照）。

このように、本論文におけるコンテナサイズの選択行動のモデル化には、離散選択モデルであるプロビットモデルや、連続モデルである重回帰モデルの適用では、妥当な結果を得ることができなかった。

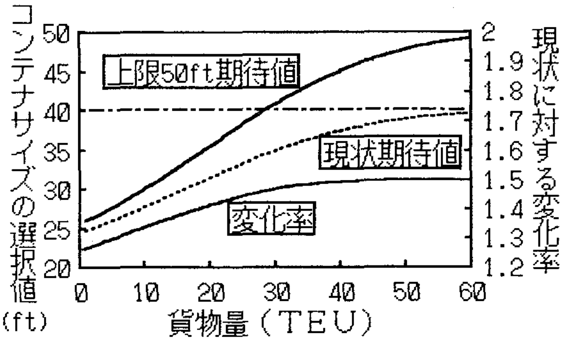

図５　上限と下限を持つトビットモデルの予測
利用運送業者による同一品目積載の例
地域経済属性は東京都中央区を仮定

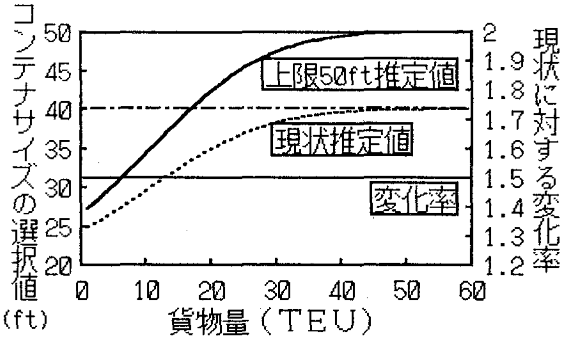

図６　プロビットモデルの予測
利用運送業者による同一品目積載の例
地域経済属性は東京都中央区を仮定

（２）コンテナサイズの規格変化に対する予測

ここで、表２に示されたトビットモデルとプロビットモデルのパラメータを用いて、輸出入コンテナの国内流通サイズの規格制限が、現状の40ftから50ftに規制緩和された状況を、輸送主体の出荷貨物量の変化に対して予測する（図５，図６参照）。

まず、トビットモデルでは、式(7)においてL_1=20, L_2=40とおいた現状に対する期待値と、式(7)においてL_1=20, L_2=50とおいた規制緩和後の期待値を求め、その両者を比較した（図５参照）。その結果、コンテナサイズに対する選択需要の変化は、輸送主体の出荷貨物量の増加に伴って、連続的に上昇して行くという予測結果となった（図５参照）。この予測に基づけば、コンテナサイズの規制緩和による影響が大きいのは、現状において40ftコンテナを多用する

輸送主体であり、逆に、20ftコンテナを多用する輸送主体では、その影響は小さいと考えられる。これは、5．2節で検討したコンテナサイズに対する規模の経済性の概念に一致する（図5参照）。

次に、プロビットモデルでは、確率値(P)を20ft(P=0)から40ft(P=1)に対応させた現状に対する推定値と、確率値を20ft(P=0)から50ft(P=1)に対応させた規制緩和後の推定値を求め、その両者を比較した（図6参照）。その結果、コンテナサイズに対する選択需要の変化は、貨物量の相違にかかわらず一定となり、すべての輸送主体において同率の変化が生じるという予測結果となった（図6参照）。これは、5．2節で検討したコンテナサイズに対する規模の経済性の概念に矛盾している（図6参照）。

6．おわりに

本論文は、物流活動に用いられているコンテナのサイズが、車両規模や道路等の社会基盤施設に影響を与えることに注目し、その選択行動を非集計データによってモデル化し、コンテナサイズに対する選択の需要（ニーズ）の把握をミクロ的に行った。

分析の結果、コンテナサイズの選択行動において、

① コンテナサイズに対する選択の需要には、貨物需要量や輸送活動に伴う規模の経済性が働いている（表2，図5参照）。

② 多頻度少量化や高付加価値化等の産業構造の変化は、コンテナサイズの選択にも関連する可能性がある（表2参照）。

の2点が結論として明らかになった。本論文は、全世界に普及した輸出入コンテナを分析の対象としたが、この結論は、近年成長が目覚ましい国内コンテナ輸送[3]に対しても有効と考えられる。また、最近の輸出入貨物量は増加の一途をたどっており[2]、結論①から判断すると、今後、輸出入コンテナサイズの大型化は避けられないと考えられる（図5参照）。

さて、本論文は、コンテナサイズの選択行動が、サイズ規格制限下における離散連続的な現象となるため、上限と下限を持つトビットモデルの適用を行った。さらに、このモデルの期待値の算出方法を新たに開発し、サイズの規格制限（上限）が、規制緩和によって変化した場合の予測を行った。上述した結論の導きは、このような分析により可能となった。

また、本論文の上限と下限を持つトビットモデルは、同時に分析を行った離散選択モデル(プロビットモデル)や、連続モデル(重回帰モデル)と比較すると、総合的に優れている。よって、トビットモデルの概念は、離散連続的な現象に有効と考えれる。

謝辞

本論文では、東京大学工学部都市工学科太田勝敏教授にご指導をいただき、ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

1)渡辺､｢輸出入コンテナの大型化に関する基礎的研究｣､土木学会､第46回年次学術講演会､講演概要集､p.282～p.283､1991年9月
2)渡辺､｢輸出入コンテナ輸送と港湾周辺の道路交通量増加に関する研究｣､アーバンインフラ･テクノロジー推進会議､第2回技術研究発表会論文集､p.51～p.58､1990年10月
3)坂田､｢コンテナ貨車をめぐる近年の技術開発｣､鉄道図書刊行会､鉄道ピクトリアル､No.540､p.20～p.24､1991年3月
4)Rosett,R.and F.Nelson(1975). "Estimation of the Two-Limit Probit Regression Model." Econometrica 43:pp.141-146
5)渡辺､｢輸出入コンテナの港湾間道路輸送における経路選択に関する研究｣､土木学会､土木計画学研究･論文集No8､p.65～p.72､1990年11月
6)日本海上コンテナ協会､｢コンテナリゼーション総覧｣､成山堂､p.1～p.62､p.815～p.830､1978年
7)日本海上コンテナ協会､｢わが国の国際大型コンテナ保有数｣､Containerization No.235, p71,1991年5月
8)日本海上コンテナ協会､｢国際大型コンテナ流動実態調査報告書｣､p.93～p.138､1987年3月
9)Tobin,J.(1958)."Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables." Econometrica 26:pp.24-36
10)Amemiya,T.(1984). "Tobit models: A survey." Journal of Econometrics 24:pp.3-61
11)渡辺､｢トビットモデルとその道路交通量推計への適用についての予備的検討｣､道路交通経済研究所､道交研シリーズ自主研究3-Vol.2､p.149～p.163､1991年11月
12)屋井、岩倉、伊藤､｢需給特性を用いた住空間評価のヘドニック分析法｣､土木学会､土木計画学研究･論文集No.9､p.253～260､1991年11月
13)渡辺､｢輸出入コンテナ積載車両の交通量分布モデルに関する研究－トビットモデルの適用性について－｣､日本都市計画学会､都市計画論文集No.26-A､p.319～p.324､1991年12月
14)Judge,G.G.,W.E.Griffiths,R.C.Hill,and T.Lee(1980). "The Theory and Practice of Econometrics." John Wiley & Sons :pp.11-53
15)交通日本の社､｢貨物運賃と各種料金表｣､p.1～p.71､1985年
16)日本倉庫協会､｢会員名簿｣､p.85～p.192､1986年
17)通商産業大臣官房調査統計部､｢昭和61年工業統計表｣､p.2～p.25､1988年3月
18)通商産業大臣官房調査統計部､｢昭和60年商業統計表｣､p.24～p.209､1986年9月