

貨物流動のモーダルシフトによる 環境負荷軽減の効果と可能性

小林 一成¹・片谷 教孝²・北村 眞一³

¹非会員 東芝物流株式会社 物流情報システム部
(〒105-0013 東京都港区浜松町1-10-14住友東新橋ビル3号館)

E-mail:kazunari2.kobayashi@toshiba.co.jp

²正会員 桜美林大学 リベラルアーツ学群 (〒194-0294 東京都町田市市常盤町3758)

E-mail:katatani@obirin.ac.jp

³正会員 山梨大学大学院 医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail:skita@yamanashi.ac.jp

本研究では、貨物流動のモーダルシフトによる費用、輸送時間、環境負荷への影響を総合的に評価し、モーダルシフトの可能性と効果を定量的に評価することを目的として、ロジットモデルにより日本全国の貨物流動に関して品目別、都道府県別に輸送分担率推計を行い、モーダルシフトの可能性と、環境負荷の軽減効果についての評価を行った。品目別の感度分析結果から、排出原単位が小さい輸送機関が選択されるためには、ロットサイズの大きな輸送品目をターゲットにシェア拡大を図ることが有効であると考えられた。また、環境負荷を環境税等の形で費用として説明変数に組み込み、分担率への影響と環境負荷の削減効果を調べた結果、排出権取引を想定したケースで排出削減と社会的便益の向上がみられた。

Key Words : modalshift, environmental impact, reduction, logit model

1. はじめに

地球温暖化問題に対する注目が高まってかなりの年月がたち、本年度から京都議定書の削減目標達成の約束期間にはいったことにより、さらに注目度が高まる情勢にある。地球温暖化の原因として、産業革命以降の化石燃料の大量消費による人為期限の温室効果ガス(以下、GHGとする)の大量排出が指摘されている。IPCC第4次評価報告書第1作業部会報告書では、人為起源のGHGの増加が温暖化の原因とほぼ断定している¹⁾。京都議定書では日本の排出削減目標は1990年比でマイナス6%とされているが、環境省の集計によれば2005年の日本のGHG総排出量は、CO₂換算で13.6億tであり、1990年比で7.8%の増加である。

運輸部門においては、自動車中心の貨物輸送がGHGであるCO₂の重要な排出源として認識されている。一方、鉄道、船舶のような大量輸送機関はGHG排出原単位が小さい輸送機関であるが、自動車にシェアを圧倒されている。そこで、自動車輸送の持っている問題点とそれに対する鉄道、船舶といった大量輸送機関の優位性から、輸送効率の良い輸送手段への“モーダルシフト”が有効な対策の一つと考えられている。ただし、モーダルシフ

トは政府の政策の1つとしても取り上げられ、2001年には閣議決定で目標数値も示されているものの、依然として自動車輸送のシェアが高い状況が続いている。

モーダルシフトに関する研究は1980年代から数多く行われているが、近年は地球温暖化対策に焦点をあてたものが多くなってきている。温暖化の抑止効果を分析した例としては小原ら(1994)²⁾、モーダルシフトの実現可能性を検討した例としては中里ら(1995)³⁾が代表例として挙げられ、それ以外にも数多くの研究例があるが、輸送時間や費用の変化と環境負荷を同時に分析し、実現可能性を含めて総合的に評価した例はほとんどみられない。

そこで本研究では、運輸部門における貨物流動のモーダルシフトによる費用、輸送時間、環境負荷への影響を総合的に評価し、モーダルシフトの可能性と効果を定量的に評価することを最終的な目的とした。前報⁴⁾では、実際のモーダルシフトの取り組み事例に基づき、CO₂排出量削減効果の推計を行った結果を報告した。本報では、一般的に交通需要予測に用いられているロジットモデルを用いて日本全国の貨物流動に関して品目別、都道府県別に輸送分担率の推計を行い、品目ごとのモーダルシフトの可能性の評価と、そこからもたらされる環境負荷の軽減効果についての評価を行った結果を報告する。

2 研究方法

本研究では、モーダルシフトによる GHG の排出量の削減効果を推計するにあたり、ロジットモデルを用いた輸送機関分担率の推計を行い、排出量を算定した。

本研究では、対象を次のように設定した。全国の貨物流動を都道府県 ODペア、輸送品目ごとの貨物需要に分け、これを仮想的な荷主として輸送機関の選択を行うことを想定した。選択対象となる輸送機関は、全国貨物純流動調査⁹⁾ (以下、物流センサス)の輸送機関分類に基づき、鉄道 (コンテナ、車扱・その他、計2区分)、自動車 (自家用トラック、営業用トラック (混載、1車貸切、トレーラ、計3区分)、合計4区分)、海運 (フェリー、コンテナ船、RoRo船、その他、計4区分)、航空の計11機関とした。荷主とする品目ごとの貨物需要は、輸送機関と同様、物流センサスの品目分類に基づき設定した。

3. ロジットモデルのパラメータ推定

(1) 多項ロジットモデル

本研究では複数の選択肢からの選択を扱う多項ロジットモデル (multinomial logit model, 以下 ML モデル) を用いた。ML モデルでは、OD ペア j 、品目 m の荷主が輸送機関 k を選ぶ確率は次式で与えられる。

$$P_k^{ijm} = \frac{\exp(V_k^{ijm})}{\sum_l \exp(V_l^{ijm})} = \frac{1}{\sum_k \exp(V_l^{ijm} - V_k^{ijm})}$$

P_k^{ijm} : 輸送機関 k を選択する確率

V_k^{ijm} : 輸送機関 k から受ける効用

$$V_k^{ijm} = \sum_{n=1}^N \theta_n \ln(X_{kn}^{ijm})$$

θ_n, γ : 未知パラメータ

X_{kn}^{ijm} : 特性変数

N : 未知パラメータ θ の数

(2) 効用関数の特定化

本研究では対数線形型の効用関数定義を用いた。

(3) データ作成

データはモデルに投入する説明変数となる選択肢や個人の特性ごとに作成し、これらを特性変数と呼ぶ。特性変数は選択肢特性についての変数と個人の属性についての変数に分けられる。選択肢となる輸送機関の特性変数の持つ値は、全ての OD ペア、輸送品目、輸送機関に関して設定しなければならない。しかし、物流センサスから参照できるデータは調査時に輸送が行われた OD ペア、輸送品目、輸送機関についてのみであるので、輸送費用、所要時間に関しては推定してデータを補完する必要がある。以下に、推定の方法と推定値を示す。

自動車、フェリー、航空輸送の輸送単価:

$$F_{uc}(X_1) = \alpha X_1^{\beta_1}$$

上記以外:

$$F_{uc}(X_1, X_2) = \alpha X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2}$$

a) 輸送費用

輸送機関に応じた輸送単価は物流センサスの都道府県間輸送単価 (代表輸送機関・品類別) データから推定した。輸送運賃は距離制運賃を考慮し、輸送単価を距離の関数として推定した。また、大量輸送機関ではロットサイズに対するスケールメリットを考慮し、距離と出荷ロットの関数として推定する方法をとった。

ただし、自家用トラックの輸送単価は物流センサスでは把握していないため、自家用トラックの輸送単価は、営業用の平均積載率の比から営業用トラックの 1.8 倍⁹⁾とした。

b) 所要時間

機関ごとの所要時間は、都道府県間物流時間 (代表輸送機関別) データと都道府県間道路距離から輸送機関ごとの輸送速度を求め、所要時間を推定した。輸送機関ごとの輸送距離に対する所要時間の回帰係数を表2に示す。

表1 輸送機関ごとの輸送単価推定式の回帰係数

	鉄道		自動車				海運				航空
	コンテナ	車扱	自家	混載	貸切	トレーラ	フェリー	コンテナ	RoRo	その他	
α	817	25400	1880	29200	1730	695	26200	2460	20300	10500	83000
β_1	-0.45	-0.67	-0.50	-0.91	-0.64	-0.58	-0.91	-0.71	-0.91	-0.54	-0.76
β_2	-0.28	-0.21	0	0	0	0	0	-0.2	-0.4	-0.28	0

表2 輸送機関ごとの輸送距離に対する所要時間の回帰係数

	鉄道		自動車				海運				航空
	コンテナ	車扱	自家	混載	貸切	トレーラ	フェリー	コンテナ	RoRo	その他	
速度係数	.0206	.0289	.0250	.0228	.0253	.0269	.033	.0523	.0431	.0599	.004
定数	26.0	14.3	0.741	9.18	1.51	1.36	4.47	11.5	11.2	11.7	13.9

c) 荷主特性

荷主特性として挙げた、支払い意思額、タイムウィンドウの有無は品目ごとの平均値を用いた。支払い意思額は、物流センサスの品目分類と対応する産業連関表の産業分類の貨物運賃の合計と各品目の総輸送重量から、1tあたりの貨物運賃支払い意思額として算出した。タイムウィンドウの有無は、物流センサスの品類品目・到着日時指定の有無別流動量データから、時間単位の日時指定付き流動量の構成比(%)を用いた。

(4) 推定結果

最尤推定法によりパラメータを推定した。説明変数には基本となる輸送機関特性を投入し、徐々に個人特性の説明変数を加えていった。推定結果を表3に示す。結果は、個人特性を加えなかった場合より格段に適合度は向上し、0.5近い値となった。貨物運賃支払い意思額のパラメータはどれもt値は十分高かった。タイムウィンドウ付貨物重量構成比のパラメータのt値は1.96を下回るものが多かったため、除外した。

表-3 パラメータ推定結果

定数項	θ	t 値	個人特性 θ	t 値
θ_1	-85.08	(-11.66)	θ_{13}	9.02 (10.33)
θ_2	-104.00	(-13.95)	θ_{14}	10.99 (12.49)
θ_3	-75.89	(-10.86)	θ_{15}	8.31 (9.79)
θ_4	-36.87	(-6.86)	θ_{16}	4.35 (6.07)
θ_5	-90.77	(-12.63)	θ_{17}	9.53 (10.98)
θ_6	-110.63	(-14.70)	θ_{18}	10.93 (12.46)
θ_7	-71.11	(-10.13)	θ_{19}	7.87 (9.25)
θ_8	-95.36	(-12.69)	θ_{20}	9.61 (11.06)
θ_9	-100.10	(-13.30)	θ_{21}	10.06 (11.54)
θ_{10}	-158.95	(-14.36)	θ_{22}	14.64 (14.17)
選択肢特性	費用	θ_{11}	-2.73	(-10.18)
	所要時間	θ_{12}	-1.51	(-7.92)
		ρ^2		0.479
		ρ^2		0.958
		HuR		0.868

3. 推計結果

(1) 品類別サンプル群への適用

採用したモデルを品類別サンプル群に適用し、分担率を推計した。このとき、重量品において自家用トラックの過大評価と貸切トラック、トレーラの過大評価が見られた。この点に関して検討を行った結果、自家用トラックの効用に品目ダミー変数を加えた所、鉱産品、特殊品では改善が見られた。これらの品目では品目特有の自家用トラックを利用するメリットがあることが推察される。反対に、化学工業品、林産品では別の理由があると考えられるが、その要因を特定するまでには至らなかった。

この点は今後の課題である。以上を踏まえ感度分析を行った。結果から全品目に共通していえることは、全体的に自動車の分類の中で輸送力の異なる輸送機関で対立する様子がみとれ、ロットサイズに対して輸送能力の高い輸送機関ほど累進的に、輸送能力の低い輸送機関ほど逆進的に分担率が変化している点である。これは、ロットサイズは総輸送費用に直結し、ロットサイズが大きいほど輸送費用が大きくなるため、より輸送単価の安い輸送機関の効用が高くなるということを考えると、輸送能力の大きな輸送機関ほど単価を抑えられることから合理的な結果といえる。



図-1 対ロットサイズ感度：軽量品（農水産品）

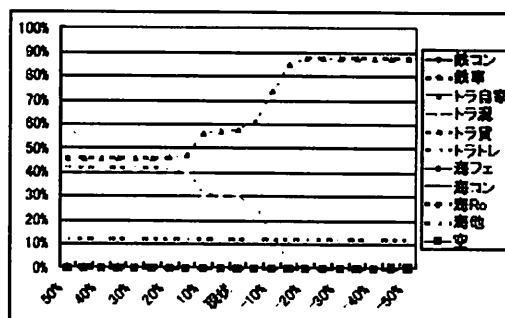


図-2 対ロットサイズ感度：重量品（鉱産品）

本研究で構築したモデルでは鉄道コンテナ輸送、海運コンテナ輸送、海運 RoRo 船輸送は、推計結果に現れず、感度分析でも個別の費用に対する感度分析でしか変化を見ることができなかったが、これらの輸送機関でも上記の理由で、輸送能力とロットサイズに対して同様の分担率の変化を示すことが推定される。このため輸送能力が高く、GHG の排出原単位が小さい輸送機関が選ばれるためには、ロットサイズの増大、またはロットサイズの大きな輸送品目をターゲットにシェアの拡大を図ることが有効である。

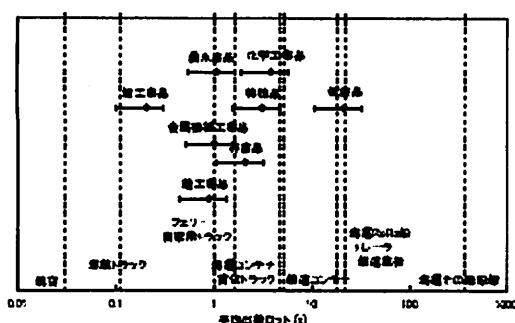


図3 利用した代表輸送機関別平均出荷ロット(点線)と品別平均出荷ロット(黒丸)と感度分析を行った範囲(-50%~50%)

輸送能力とロットサイズが分担率の変化に与える影響を見やすくするために、荷主の利用した輸送機関ごとの平均出荷ロットと品別にみた平均出荷ロットの関係を図3に示す。図3に示すように荷主の利用した代表輸送機関での平均出荷ロットで自動車のロットサイズを比較してみると、混載<自家用<貸切<トレーラという大小関係があることが分かる。ここでの輸送機関ごとの平均出荷ロットがそれぞれの輸送機関での最適輸送ロットであると仮定すると、ロットサイズの変化に対する分担率の変化と、輸送機関の対立関係をうまく説明できる。

(2) モーダルシフトの可能性評価

非集計モデルを用いた輸送分担率の推計は、一定の再現精度が得られた。ただし、輸送品目ごとの細かなセグメントへの適用を試みたときには、重量品で十分な再現精度が得られなかった。これはデータ作成の際に自家用トラックの輸送単価に対しておいた、積載率の仮定が原因であると考えられる。こうした適用限界を考慮し、再現精度が高い軽量品に対して感度分析の結果からモーダルシフトの可能性を評価した結果、軽量品における自

表4 品目別モーダルシフト可能性の評価結果

ロットサイズ	+50%	-50%
農水産品		
自家用	-24%	-2%
営業用	+24%	-1%
金属機械工業品		
自家用	-14%	0%
営業用	+14%	0%
軽工業品		
自家用	-24%	-2%
営業用	+24%	-1%
雑工業品		
自家用	-10%	-1%
営業用	+10%	0%

家用トラックと貸切トラックのロットサイズの変化に対する対立関係から、トラックの自営転換の意味でのモーダルシフトについて、輸送ロットの変化に対するシフト率が定量的に把握できた。

4. 推計モデルへの環境影響の導入

流動全体に対してモデルを適用し、貨物流動のもたらす環境負荷を費用として説明変数に組み込んで、分担率への影響と環境負荷の削減効果を調べた。

(1) 環境費用

費用として説明変数に組み込む方法としては以下の2つを考えた。

- GHGの排出削減に対して削減量分を費用に還元。
実際の政策との対応としては、荷主企業間で行う排出権取引制度、政府による補助金等が挙げられる。
- 排出原単位の高い輸送機関に対して費用を追加。
実際の政策との対応としては、環境課税が挙げられる。

(2) 推計結果

推計された排出量と削減効果、追加された環境費用、消費者(荷主)余剰を以下にまとめる。消費者余剰はロジットモデルにおいて特定化した効用関数から計算されたものである。本研究では対数線形型で効用変数を特定化したことから、便益を金銭単位に換算できなかったため、効用を費用パラメータで除して便益とした。

表5 排出権取引的政策を想定したモデル推計結果

before	排出権式	TR 課税式
追加単位 [t]/t	2,700	2,700
削減量 [t]	-501,714	-551,008
便益 [log(t)]	17.18	-156.23

(3) 分担率推計と環境負荷軽減効果の把握

排出権取引や環境税を想定し、環境負荷を費用としてモデルに組み込んでGHG排出量の推計値の変化を調べた結果、これらの施策は輸送分担率に影響するほどの効果は得られないことがわかった。また、環境負荷軽減効果は限定的であったが、排出権取引を想定したケースでGHGの排出削減効果が速やかに現れ、社会的便益も向上することがわかった。

5. 総括

モデルによる輸送機関分担率の推計値に対する感度分析の結果、軽量品においてはトラックの自営転換の可能性が見出せた。

排出権取引や環境税を想定した推計の結果、輸送分担率、環境負荷軽減に対する影響は限定的であったが、二つの施策の削減効果と社会的便益への影響から、排出権取引ケースの優位性があることがわかった。

以上より、本研究の当初の目的は概ね達成することができたが、より実用的な議論に結びつけるためには、いくつかの課題も残されている。輸送機関特性を、より正確に反映したモデル構築と、そのためのより適切なデータ収集の方法が今後の課題として挙げられる。より正確に荷主の意思決定を考慮したモデルの構築には、輸送機関の輸送能力を正しく評価することが必要だと考える。非集計モデルは、行動論に基づいた行動主体の意思決定構造を表現できるモデルであり、こうした研究を通じて荷主の意思決定構造を知ることや、それに基づいた推計は政策評価や将来推計において重要性は高いと考える。

参考文献

- 1) IPCC : IPCC Fourth Assessment Report Working Group I Report, Summary for Policymakers, pp.11-12, 2007.
- 2) 小原和浩, 富田安夫, 金本浩司; 都道府県の物流にともなう輸送エネルギー消費量の推計, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部門, Vol.49, pp.474-475, 1994.
- 3) 中里亮, 兵藤哲朗; 貨物輸送機関分担モデルを用いたモーダルシフト可能性に関する基礎分析, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部門, Vol.50, pp.790-791, 1995.
- 4) 小林一成, 北村眞一, 片谷教孝; 貨物流動のモーダルシフトによる環境負荷軽減の可能性と効果, 第35回環境システム研究論文発表会講演集, pp.87-91, 2007.
- 5) 国土交通省; 全国貨物純流動調査, 2002.
- 6) 国土交通省; 自動車輸送統計年報, 2005.

AN EVALUATION OF THE FEASIBILITY AND THE ENVIRONMENTAL LOAD REDUCTION EFFECTS BY THE MODAL SHIFT OF THE FREIGHT TRANSPORTATION

Kazunari KOBAYASHI, Noritaka KATATANI and Shin'ichi KITAMURA

The objective of this study is the total evaluation of the transportation costs, transportation time and the environmental effects by the modal shifts. Logit Model was used to estimate the transportation allotment rate on the freight flow of all over Japan. Through the estimation, the feasibility of modal shifts and the effects of environmental load reductions were evaluated. As a result, it was shown that the kinds of freights with large lot sizes should be focused as the target of share extension. The results of the introduction of environmental load into the explanative variables show that the case assuming the exchange of emission rights gives effective emission reduction and the increase of social benefit.