

# 国内長距離貨物輸送の機関分担への炭素税導入の影響試算 An Estimation of the Impact on Mode Choice of Long-Range Domestic Cargo Transport by Carbon Taxation

赤倉 康寛\*・渡部 富博\*\*  
Yasuhiro AKAKURA and Tomihiro WATANABE

**要旨:** 地球温暖化緩和に向けた様々な対策が進められている。その中で、炭素税の導入は、CO<sub>2</sub>の排出を抑制し、省エネルギー技術の開発を進展させる効果が期待されている。運輸部門での炭素税導入効果の評価のためには、個々の輸送機関でのエネルギー効率の上昇に加え、より排出量の少ない輸送機関へのシフト（モーダルシフト）の効果を推計しなければならない。

以上の状況を踏まえ、本研究は、国内長距離貨物輸送の主要ODを対象に、内貨ユニットロード輸送を船種別に区分した輸送機関分担モデルを構築し、これにより、炭素税による輸送機関選択や二酸化炭素排出量の変化を試算したものである。

**キーワード:** 炭素税, 輸送機関分担, ユニットロード, CO<sub>2</sub> 排出量

## 1. 序論

地球温暖化緩和に向けた様々な対策が鋭意進められている。その中で、炭素税の導入は、CO<sub>2</sub>の排出を抑制し、省エネルギー技術の開発を進展させる効果が期待されている。我が国のCO<sub>2</sub>排出量の約2割を占める運輸部門における、炭素税導入の排出抑制効果の評価のためには、個々の輸送機関でのエネルギー効率の上昇に加え、より排出量の少ない輸送機関へのシフト（モーダルシフト）の効果を推計しなければならない。しかし、国内貨物輸送の真の発着地間（OD）純流動を推計するには、統計データが十分とは言い難い。また、輸送機関分担の変化を明らかにするためには、全OD・輸送機関の運賃や所要時間等のサービス水準を設定する必要があるため、海上輸送を特徴の異

なる船種で区分すると、作業量が膨大になる。そのため、国内貨物輸送の機関分担に関する研究は限られており、船種別の特徴を踏まえた輸送機関分担モデルはほとんど見当たらない。以上の点を踏まえ、本研究は、国内長距離貨物輸送の主要ODを対象に、船種別に区分した輸送機関分担モデルを構築し、これにより、炭素税による輸送機関選択や二酸化炭素排出量の変化を試算したものである。

1997年に採択された京都議定書において、我が国はCO<sub>2</sub>等温室効果ガス排出量の削減目標が定められている。その目標達成のため、2005年には京都議定書目標達成計画が閣議決定された。同計画では、「低炭素物流体系の形成」の大きな柱として、環境負荷の少ない鉄道・内航海運への転換を図る

\* 正会員 京都大学防災研究所, \*\* 国土交通省国土技術政策総合研究所

モーダルシフトが位置付けられた。このような背景の下、平山ら<sup>1)</sup>、石田ら<sup>2)</sup>、小林ら<sup>3)</sup>は、モーダルシフトによるCO<sub>2</sub>排出削減効果に関する分析を行っている。また、井村ら<sup>4)</sup>や黒川ら<sup>5)</sup>は、輸送機関分担モデルを策定し、特定輸送機関へのモーダルシフトの分析を行っており、荒谷<sup>6)</sup>もモーダルシフト推進のため荷主の輸送機関選択行動を分析している。しかし、船種別の特徴を踏まえた研究は、限定されたOD・品目を対象とした筆者らの論文<sup>7)</sup>が見られる程度である。

一方、京都議定書の目標達成に向けた手法の一つとして炭素税（環境税）の検討が進められてきた。環境省では、炭素税に関する論点の整理、制度設計を行い、税制改正に具体案を提案してきた。これを受け、2012年の租税特別措置法等の一部を改正する法律（平成24年法律第16号）にて、原油・石油製品に対して、1kl当たり2,800円の石油石炭税の特例が導入された。この炭素税に関しては、自動車関連税制についての谷下ら<sup>8)</sup>研究や、導入の価格効果を算定した武藤ら<sup>9)</sup>や天野<sup>10)</sup>の研究が見られる。しかし、税導入の効果によるモーダルシフトを対象とした研究は見当たらない。

以上の状況を踏まえ、本稿では、2章において北海道・九州ー関東・中部・近畿圏の主要ODでのコンテナ・シャーシ等の輸送貨物を対象に、船種別も含めた輸送機関分担モデルを構築する。3章では、構築したモデルを用いて、2012年に導入された炭素税（石油石炭税特例）の効果に加え、課税額の増加による効果を試算し、4章にて結論を述べる。

## 2. 内貿ユニットロード輸送に対応した機関分担モデル

### 2.1 内貿ユニットロード船の特徴

コンテナ・シャーシ等ユニットロードによる海上輸送（以降、「内貿ユニットロード輸送」）は、輸送や荷役の形態により、以下の3船種に大別さ

れる。

- ・フェリー：ランプにより車両を収納する RoRo（Roll-on/Roll-off：ロールオン・ロールオフ）タイプの貨客船。旅客対応の施設を備え、自動車の運転者が自走で乗下船する。
- ・RoRo 船：RoRo タイプの貨物船。フェリーと異なり、貨物専用で、荷役を必要とする。
- ・コンテナ船：コンテナを輸送する船。港湾もしくは自船のクレーンにより荷役する。

このうち、フェリーは旅客も輸送することもあり比較的高速で運航するのに対し、貨物専用の2船種、特にコンテナ船は、低速運航のため、輸送費用や時間、CO<sub>2</sub>排出量は大きく異なる。また、コンテナ船はコンテナを整理して積載するため、甲板上や船倉内の空間に空きが出る RoRo タイプ（フェリー・RoRo 船）に比べて、積載効率は高い。このように、内貿ユニットロード輸送は、特徴に相違のある船種によって運用されている。

### 2.2 OD 貨物量データの作成

モデル構築の基となる純流動ODの対象は、北海道・九州ー関東・中部・近畿圏の流動の中で、貨物量等により表1の30ODとした。都道府県単位を基本とし、北海道は、貨物地域流動調査（国土交通省）における区分と道内主要港湾の配置を踏まえて、道央：札幌・室蘭支庁、道東：北見・帯広・釧路支庁と区分した。

対象とする輸送機関は、内貿ユニットロード、自動車及び鉄道である。

OD 貨物量データ作成のために使用したデータは、表2のとおり。なるべく全数データを確保するため、代表輸送機関の貨物量については、通年の港湾調査（国土交通省）及び貨物地域流動調査を用いた。内貿ユニットロード輸送及び鉄道輸送の端末輸送（港湾・駅のアクセス・イグレス）の貨物量は通年データがないことから、調査期間が

表 1 対象 OD

北海道九州側		関東・中部・近畿側
道央	⇔	東京・神奈川・愛知・大阪・兵庫
道東	⇔	東京
福岡	⇔	東京・神奈川・愛知・大阪・兵庫
大分	⇔	神奈川・大阪・兵庫
宮崎	⇔	大阪

表 2 使用データ

代表輸送機関	貨物量	端末輸送
内貿ユニットロード (フェリー・RoRo船 ・コンテナ船)	港湾調査	内貿ユニットロード貨物 流動調査 全国貨物純流動調査
鉄道	貨物地域 流動調査	全国貨物純流動調査
自動車	貨物地域 流動調査	—

1ヶ月の内貿ユニットロード調査(国土交通省)及び3日間の抽出調査である全国貨物純流動調査(国土交通省)のデータを用いて、背後圏へ配分した。自動車については、貨物地域流動調査の貨物量がほぼ純流動ODとみなせるため、背後圏配分は行っていない(積み替えての集配は、都道府県レベルのODでは、域内流動に相当すると想定)。

ここで、港湾調査の貨物量単位はプレート・トンであり、他の統計の貨物量単位(メトリック・トン)と異なる。そこで、内貿ユニットロード貨物流動調査や内航船舶輸送統計調査(国土交通省)を用いて単位換算した。また、貨物地域流動調査の自動車には、フェリーによる貨物量も含まれるため、重複を排除した。

対象品目は、荷姿が現にコンテナ・シャーシであるか、容易に転換すると想定される品目である。ここで、内貿ユニットロード及び鉄道コンテナの輸送貨物は全量該当するが、自動車及び鉄道の車扱の輸送貨物については、転換が想定されない品目が含まれている。そこで、港湾調査や内貿ユニットロード貨物流動調査において、内貿ユニット

表 3 対象品目

9品目分類	32品目分類	対象品目
農水産品		○
林産品	木材 薪炭	○
鉱産品		
金属機械工業品	鉄鋼 非鉄金属 金属製品 機械	○ ○ ○
化学工業品	セメント その他窯業 石油製品 石炭製品 化学薬品 化学肥料 その他化学工業品	○ ○ ○ ○ ○ ○
軽工業品	紙・パルプ 繊維工業品 食料工業品	○ ○ ○
雑工業品		○
特殊品	金属くず 動植物性飼肥料 その他特殊品	○ ○

表 4 OD貨物量データの概要

代表機関	OD数	内貿 ユニ 輸送	積替 有無	OD平均値		
				総時間 (h)	総距離 (km)	コスト (千円)
フェリー	30	○		35.4	904	135
RoRo船	20	○	○	59.5	1,129	123
コンテナ船	14	○	○	78.3	895	112
自動車	30			23.1	1,077	212
鉄道	30		○	42.8	1,151	189

ロードにより輸送された太宗品目から、表3を対象品目として選定した。

対象時点は、内貿ユニットロード貨物流動調査の最新年である2007年とした(全国貨物純流動調査は、直近の2005年データを使用)。

作成したOD貨物量データの概要を、表4に示す。RoRo船やコンテナ船はサービスのないODがあった。総輸送時間では積み替えを要するコンテナ船、RoRo船及び鉄道が長くなっており、輸送コストでは自動車や鉄道が高くなっていった。

### 2.3 サービス水準データの作成

各 OD のサービス水準データとして、輸送速度、所要時間、輸送コスト等のデータの出典をまとめたのが、表 5 である。基本的には、時刻表等により設定した。各 OD・代表輸送機関の中には、複数の経路が存在する場合もあるが、全国貨物純流動調査にて、当該 OD・代表輸送機関の中で最も貨物量の多かった経路を選定した。

また、本研究では、CO<sub>2</sub> 排出量を、サービス水準データの一つとして設定した。これは、CO<sub>2</sub> 排出量自体が、現時点で輸送機関分担に有効な項目であるかどうかを確認するためである。ここで、内貿ユニットロード船の CO<sub>2</sub> 排出量は、鈴木ら<sup>11)</sup>の算定式により、船舶諸元データを用いて算定した。鉄道及び自動車については、温室効果ガス排出量インベントリ報告書（国立環境研究所）の排出量と、自動車輸送統計調査及び鉄道輸送統計調査（国土交通省）による輸送トンキロを用いて算定した。

### 2.4 モデル構造

モデルには、多くの説明変数を導入可能な集計型ロジットモデルを採用した。ロジットモデルは、ある選択の効用  $U_i$  を、非確率的に決まる効用  $V_i$  と独立なガンベル分布に従う確率変数  $\varepsilon$  とを用いて、

$$U_i = V_i + \varepsilon \dots\dots\dots (1)$$

と仮定し、この効用が最大となる選択肢を選択するとのモデルである。ここで、条件付きロジットモデル（CLM : Conditional Logit Model）では、選択肢  $i$  が選択される確率  $P_i$  は(2)式、効用  $V_i$  は(3)式となる。

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_i \exp(V_i)} \dots\dots\dots (2)$$

$$V_i = \alpha X_1 + \beta X_2 + \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $\alpha, \beta, \dots$  : パラメータ  
 $X_1, X_2, \dots$  : 説明変数

表 5 サービス水準データの出典等

輸送機関	項目	出典等
内貿ユニットロード	航行距離、航行速度、所要時間、輸送頻度	海上定期便ガイド 2008年版
	輸送コスト	港湾投資の評価に関する解説書2011 船社ヒア等
	荷役時間	フェリー: 2h RoRo・コンテナ: 3h
	CO <sub>2</sub> 排出量	鈴木ら <sup>11)</sup> の式
自動車 (端末輸送を含む)	輸送距離	市販の地図ソフト
	走行速度	道路交通センサス
	輸送コスト	港湾投資の評価に関する解説書2011 (高速料金は大型車料金)
	休憩時間	トラック運転者の労働時間等の改善基準ポイント
	CO <sub>2</sub> 排出量	温室効果ガスインベントリ報告書及び自動車輸送統計調査
鉄道	輸送距離、走行速度、所要時間、輸送コスト、輸送頻度	JR貨物時刻表2007
	荷役時間	田中ら <sup>7)</sup> 等 積荷6h, 卸荷4h
	CO <sub>2</sub> 排出量	温室効果ガスインベントリ報告書及び鉄道輸送統計調査

CLM では、ある 2 つの確率比は他の選択肢から独立であること（IIA : Independence from Irrelevant Alternatives 特性）が必要となるが、類似性の高い選択肢が存在する場合には、IIA 特性が保持されないため、階層構造を使用したネスティッド・ロジットモデル（NLM : Nested Logit Model）が採用される。この場合、グループ  $G$  に属する選択肢  $i$  の選択確率  $P_i$  は、

$$P_i = P(i|G)P(G) \dots\dots\dots (4)$$

となる。ここで、グループ  $G$  の選択確率  $P_G$  は、ログサム変数  $\Lambda_G$  を用いて、

$$P(G) = \frac{\exp(\Lambda_G)}{\sum_G \exp(\Lambda_G)} \dots\dots\dots(5)$$

となる。ここで、グループ  $G$  のログサム変数  $\Lambda_G$  は、(6)式となる。

$$\Lambda_G = \frac{1}{\mu_G} \log\left(\sum_{i \in G} \exp(\mu_G \cdot V_i)\right) \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 $\mu_G$  : パラメータ

本研究では、輸送機関分担において IIA 特性が保持されない可能性も想定されたことから、CLM 及び NLM の両方において、モデルを検討した。

### 2.5 モデル推計

CLM 及び NLM の、各モデルのパラメータ推計結果が、表 6 である(次ページ)。説明変数は、輸送時間及びコストを基本と考え、具体的な候補は、総時間(所要時間+平均待ち時間(頻度の逆数、自動車=0))、所要時間、平均待ち時間、輸送コスト、CO<sub>2</sub> 排出量と、自動車・鉄道の特長を表すダミー変数(出発時間が自由であることや定時性が高いこと等数値換算できないもの)とした。

CLM では、推計精度を表す尤度比が、全般的に低かった。CLM の中でモデルを選択するとすれば、符号条件及び AIC (Akaike's Information Criterion) より MODEL-6 となり、その説明変数は総時間、費用及び自動車ダミーであった。

NLM では、様々な階層構造を想定した中で、尤度比が高く説明力があったのは、内貿ユニットロードを一つのグループとする方法(MODEL-1~4)と、積替の有無でグループ化する方法(MODEL-5~8)とであった。前者は、いずれの場合でも尤度比が 0.3 を超えたのに対し、後者は自動車ダミーを説明変数に入れると尤度比が高くなった。結果として最適モデルは、AIC より、MODEL-7 であり、CLM の場合と同じく、説明変数は総時間、費用及び自動車ダミーであった。ここで、MODEL-7 の総時間の  $t$  値が低く、10%水準において有意で

はなかったが、輸送時間は基本的かつ重要な説明変数であると判断した。IIA の検定では、MODEL-7 の尤度比検定統計量が 16.9 (CLM の MODEL-6 との比較)であることから、1%水準でも IIA 特性の保持は棄却されたため、最適モデルとして NLM MODEL-7 を採択した。

モデルの現況再現性の確認として、各 OD・代表輸送機関の貨物量について、実績値とモデル推計値を比較した結果が、図 1 である。決定係数が 0.7 近くあり、全般的には推計精度は概ね良好と言える。また、輸送機関別に実績値と推計値の貨物量割合を見たのが、図 2 である。自動車とコンテナ船は実績値と推計値がほぼ一致したが、フェリ

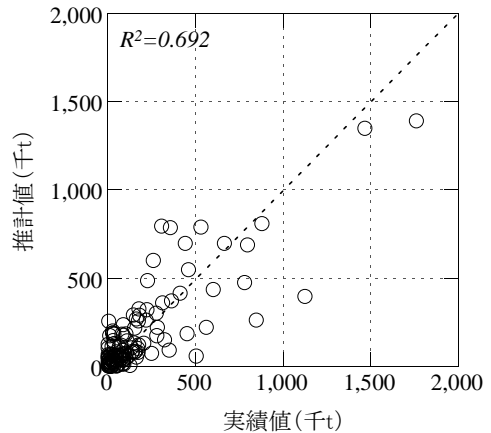


図 1 貨物量の実績値と推計値の比較

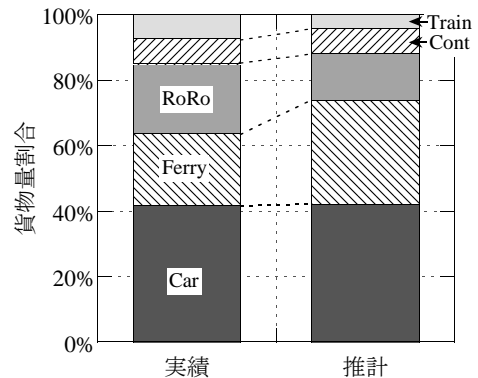


図 2 代表輸送機関別の実績値と推計値の比較

表 6 各モデルのパラメータ推計結果

MODEL	Conditional Logit Model							
	1	2	3	4	5	6	7	8
総時間(h)	-0.0229 -1.66*			-0.0162 -1.09		-0.0144 -1.04	-0.0159 -1.09	-0.0176 -1.31
所要時間(h)		-0.0627 -2.29**	-0.0623 -2.13**		-0.0564 -1.68*			
待ち時間(h)			-0.00069 -0.04					
輸送コスト (円)	-1.17E-05 -2.18**	-1.00E-05 -2.05**	-1.01E-05 -1.88*	-1.24E-05 -2.31**	-1.05E-05 -2.02**	-1.70E-05 -2.59***	-1.76E-05 -2.61***	-8.14E-06 -1.52
CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> )				0.0030 0.91	0.0011 0.31		-0.0016 -0.34	
自動車ダミー						1.09 1.60	1.33 1.34	
鉄道ダミー								-0.800 -1.19
尤度比	0.096	0.125	0.125	0.106	0.126	0.127	0.128	0.114
符号条件	○	○	○	×	×	○	○	○
AIC	2.75	2.66	2.73	2.78	2.72	2.72	2.79	2.76

MODEL	Nested Logit Model							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Tree	(Car), (Ferry, RoRo, Cont), (Train)				(Car, Ferry), (RoRo, Cont, Train)			
総時間(h)	-0.0321 -1.57		-0.0310 -1.48	-0.0372 -1.54	-0.0256 -1.38		-0.0142 -0.78	-0.0148 -0.80
所要時間(h)		-0.0655 -1.50				-0.0446 -1.44		
待ち時間(h)								
輸送コスト (円)	-2.88E-05 -1.85*	-2.66E-05 -1.63	-2.82E-05 -1.79*	-2.47E-05 -1.49	-1.33E-05 -2.29**	-1.19E-05 -2.18**	-2.63E-05 -2.45**	-2.68E-05 -2.47**
CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> )				-0.0054 -0.53				-0.0020 -0.28
自動車ダミー			1.09 0.33	1.05 0.35			1.65 1.78*	1.90 1.44
鉄道ダミー								
尤度比	0.318	0.313	0.320	0.323	0.274	0.272	0.322	0.323
符号条件	○	○	○	○	○	○	○	○
AIC	2.30	2.32	2.37	2.42	2.36	2.37	2.29	2.36

※各説明変数の上段が係数，下段がt値(\*\*\*, \*\*, \*:有意水準1%, 5%, 10%で有意であることを示す)．CO<sub>2</sub>排出量の単位は，当該ODにおいて貨物1tを輸送する際の排出量(kg)。

一は過大推計，RoRo 船と鉄道は過小推計となった。その結果，全 OD での CO<sub>2</sub> 排出量は，推計値が実績値より 10.6% 大きくなった。炭素税の効果試算においても，この程度の誤差が生じる可能性に留意しておく必要がある。

## 2.6 推計結果の考察

モデル推計の結果からは，輸送機関の選択においては，まず積み替えなしで運べる輸送手段にするかどうかを決めており，その後具体的な輸送機関を決めていることとなった。その際，自動車輸送については他の輸送機関に比した特殊性が評価さ

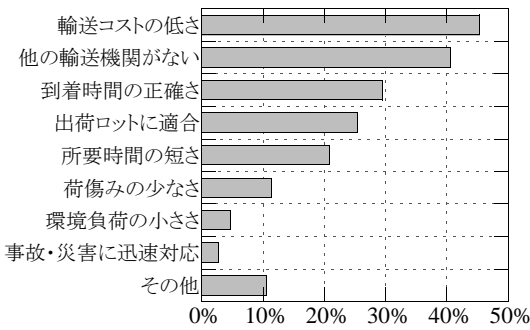


図3 代表輸送機関の選択理由<sup>12)</sup>

れていたと言える。また、CO<sub>2</sub>排出量が説明変数に含まれ得るかどうかについては、表6においてCLM・NLMのいずれのMODELでもt値が高くなく、さらに、CLM MODEL-4・5では符号条件が一致していなかった。この結果からは、2007年時点の輸送機関の選択においては、CO<sub>2</sub>排出量は有意な説明変数とは言い難いことが判った。

この推計結果を、2010年に実施された第9回全国貨物純流動調査の調査結果<sup>12)</sup>と比較する。図3は、同調査における代表輸送機関の選択理由（全輸送機関合計、複数回答可）である。モデル説明変数の輸送コストと所要時間は、それぞれ選択理由にあり、両者の選択割合の高低は、モデルでのt値の高低と一致していた。また、説明変数の自動車ダミーは、到着時間の正確さを反映している可能性が考えられる。さらに、モデル構造とした積替の有無は、選択理由では、荷痛みの少なさや到着時間の正確さが該当した。CO<sub>2</sub>排出量は、選択理由の環境負荷の小ささと適合するが、選択割合がわずかな点がモデルの推計結果と一致した。ただし、輸送機関別の選択割合では、自動車:1.8%に対し、鉄道コンテナ:59.9%、海運（含むフェリー）:16.4%となっており、環境配慮意識の高い荷主が、鉄道や内貿ユニットロードを選択していた。

### 3. 炭素税による効果試算

#### 3.1 炭素税を巡る状況

1. で触れたように、2012年の租税特別措置法の改正により、現行の石油石炭税に、CO<sub>2</sub>排出量に応じた税率を上乗せする課税特例が設けられた。今後、税率が段階的に引き上げられ、2016年にはCO<sub>2</sub>排出量1t当たり289円の上乗せ税率となる。この特例税率に対し、モーダルシフト進展等のため、内貿ユニットロード輸送や鉄道輸送等に供する軽油・重油は、税率が還付される制度が設けられた（2014年3月まで）。

また、同じくCO<sub>2</sub>排出削減として、エネルギー使用の合理化に関する法律の改正(改正省エネ法)が2006年に施行され、一定規模以上の輸送能力を有する輸送事業者は、省エネ計画の作成や定期報告が義務づけられた。省エネ計画においては、エネルギー消費原単位を、中長期的に見て年平均1%以上低減させることが求められている。

国際的にも、サプライチェーン全体の排出量の算定や報告を求めるGHGプロトコルSCOPE3基準が策定され、カーボンフットプリントのISO国際標準化も進んでいる。

このように、炭素税の導入だけでなく、中長期的な排出削減努力・義務が課されてきている。

#### 3.2 試算ケースの設定

輸送機関分担モデルへの炭素税導入による試算ケースは、表7のとおり設定した。Case-0は2007年時点の現況再現であり、Case-1は石油石炭税の特例が設けられた影響の確認、Case-2及び3は現状に比べて高額な炭素税が導入された場合の影響を見るものである。

将来の炭素税の炭素単価については、以下の事例を参考に設定した。

- ・公共事業評価の指針<sup>13)</sup>: 10,600円/t-c
- ・環境省委員会における算定結果<sup>14)</sup>: 13,148～

表7 試算ケース

Case	単価(円/t-C)	税還付
0	0	—
1-1	1,060	なし
1-2	1,060	自動車以外あり
2-1	10,000	なし
2-2	10,000	自動車以外あり
3-1	30,000	なし
3-2	30,000	自動車以外あり

34,560 円/t-c

また、算定に当たっては、課税によって、輸送コストがどの程度上昇するのかの設定が必要となる。炭素税を燃料油価格の上昇と同一の現象と捉え、2004年の国土交通省資料<sup>15)</sup>では、原油価格高騰のほとんどは、企業努力により吸収され、運賃には反映されていない(2000年時点の産業連関表を基に、石油・天然ガス価格が20%上昇した場合、沿海・内水面貨物輸送や道路貨物輸送が1%弱価格上昇すると試算)。しかし、この状況を踏まえ、2005・2008年の燃料油高騰時には、国土交通省から経済団体に対して、適切なコスト分担への荷主理解が不可欠との働きかけがなされた。そのため、物流業界での燃料油高騰の運賃転嫁は進んできており、例えばRoRo船・コンテナ船貨物では、転嫁率が2005年：43%→2012年：70%<sup>16)</sup>と上昇してきている。トラック業界でも燃料サーチャージの導入が進み、2008年には1/3以上<sup>17)</sup>が導入していた。一方、炭素税を新たな税導入・税率上昇の運賃への転嫁として捉え、1989・1997年の消費税導入・税率上昇では、多くの業界で価格転嫁が行われ、JR貨物においても税と同率の運賃値上げがなされた。以上の状況や、さらに、継続的にCO<sub>2</sub>排出削減の努力・義務が課されている現状を踏まえ、本研究の試算では炭素税の課税・税額上昇については、直接輸送コストに反映されるとして算定した。様々な企業努力により、輸送コストへの反映が緩和される可能性も想定すると、

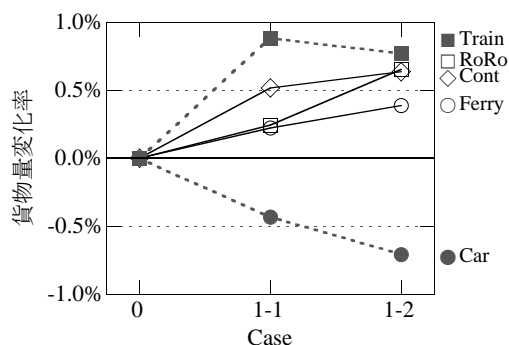


図4 石炭石油税特例による機関分担変化

本研究での試算結果は、課税による最大効果に相当することとなる。

### 3.3 試算結果と考察

まずは、Case 1として石炭石油税特例の導入による輸送機関分担の変化を見たのが、図4である。いずれのCaseにおいても、自動車の分担割合が減少し、他の輸送機関の分担割合が増加していた。本研究のモデルでは、通常自動車輸送に含まれてしまうフェリー輸送を一つの輸送機関として独立させたため、フェリー輸送に対するモーダルシフトの効果を自動車輸送から分離することが出来た。また、自動車以外の輸送機関の分担割合の増加については、税還付のないCase 1-1ではCO<sub>2</sub>排出量の低い輸送機関が有利になるため、内貿ユニットロード輸送の中では、特にCO<sub>2</sub>排出量の少ないコンテナ船での効果が高かった。これに対し税還付のあるCase 1-2では端末輸送のみの課税の影響が出ており、RoRo船とコンテナ船の効果がほぼ同じレベルになっていた。ただ、いずれにおいても、貨物量の変化率は1%に満たず、現行の石炭石油税特例の導入によるモーダルシフトはわずかであると推測された。

低額の炭素税賦課について、天野<sup>10)</sup>は、価格効果(価格上昇による需要減少)より技術支援効果(技術開発のための支援助成)の方が大きいこと



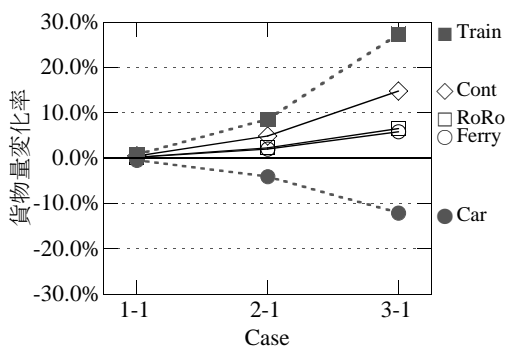


図5 課税額変化（還付なし）による機関分担変化

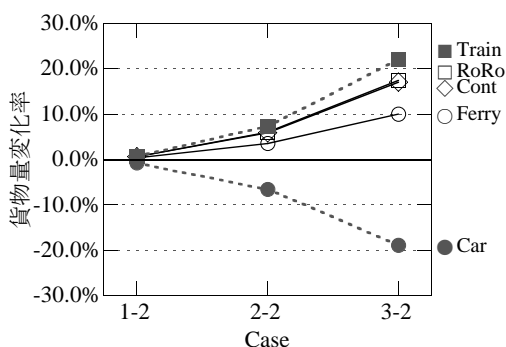


図6 課税額変化（還付あり）による機関分担変化

を示しているが、本研究の結果より、低額の炭素税賦課では、モーダルシフトの促進効果も大きくないと言える。

次に、税還付のない状態での課税額変化を見たのが、図5である。輸送機関の分担割合が一番大きく変化した鉄道で見ると、Case 2-1（1万円課税）：8.6%増、Case 3-1（3万円課税）：27.4%増であり、課税額に対して概ね比例的に貨物量が増加していた。税還付がある状態での課税額変化が、図6であるが、同様に、鉄道でCase 2-2：7.3%増、Case 3-2：22.2%増であり、やはり概ね比例的な効果が見られた。

それぞれのCaseについて、Case 0（平成19年時点）からのCO<sub>2</sub>排出量の削減率を示したのが、表8である。課税額に対するCO<sub>2</sub>排出削減量は、概ね比例的であり、Case 1（石炭石油税特例）で

表8 課税効果と弾性値

Case	CO <sub>2</sub> 削減率	輸送コスト平均上昇率	弾性値
1-1	-0.19%	0.24%	0.81
1-2	-0.28%	0.12%	2.27
2-1	-1.82%	2.27%	0.80
2-2	-2.59%	1.17%	2.20
3-1	-5.36%	6.80%	0.79
3-2	-7.22%	3.52%	2.05

は削減率は0.3%に満たなかった。また、表8では、輸送コスト平均上昇率の算定により、CO<sub>2</sub>削減率に対する弾性値も整理したが、税還付がないCaseの弾性値が約0.8に対し、税還付があるCaseの弾性値は2.0を超えていた。この結果は、限定的なODを対象としたものではあるものの、今後の炭素税の税率上昇において、CO<sub>2</sub>排出削減のための技術支援効果と、モーダルシフト促進効果とのベストミックスを求める場合に、税還付制度の効果の参考とすることが出来る。

#### 4. 結論

本研究は、国内長距離貨物輸送の主要ODを対象に、内貿ユニットロード輸送を船種別に区分した輸送機関分担モデルを構築し、これにより、炭素税による輸送機関選択や二酸化炭素排出量の変化を試算したものである。本研究で得られた結論は、以下のとおりである。

- (1) 国内の主要ODでの輸送機関分担モデルを推計した。結果として、積替の有無で階層化したロジックモデルが最適であり、ある程度の現況再現性を確認した。その際、CO<sub>2</sub>排出量は、有意な説明変数ではなかった。
- (2) 炭素税が輸送コストに直接反映されるとの仮定下で、現行の石油石炭税特例では、輸送機関分担割合の変化やCO<sub>2</sub>削減率は1.0%未満であった。税率を上昇させると、概ね比例的に輸送機関分担の変化やCO<sub>2</sub>削減率が大きくなった。

また、自動車以外の税還付によるCO<sub>2</sub>削減率への効果は、弾性値にして2倍以上であった。

- (3) 炭素税導入の船種別の効果では、自動車輸送の一環として捉えられることもあるフェリー輸送でモーダルシフトによる輸送量の増加が見られ、税還付のない状態では、CO<sub>2</sub>排出量の低いコンテナ船の輸送量増加率が内貿ユニットロード輸送の中では一番大きかった。

国内海上貨物輸送は、企業の産業活動や国民の社会生活を支える重要な基盤の一つである。輸送や荷役の形態が異なる各船種は、それぞれの特徴があり、運賃や輸送時間で幅のあるサービスが展開できる他、地上の荷役施設を必要としないフェリー等は災害時にも大きな役割を果たすことが出来る。これらの海上貨物輸送が、さらに維持発展されるよう、引き続き研究を進めていきたい。

## 謝辞

本研究は、科研費(22360212)の助成を受けたものです。また、輸送機関分担モデルの構築に当たっては、国土交通省航空局近畿圏・中部圏空港政策室の井山繁課長補佐(前国土技術政策総合研究所港湾研究部主任研究官)にご助力をいただきました。ここに記し、深く感謝の意を表します。

## 引用・参考文献

- 1) 平山秀夫・本田尚正：モーダルシフトの推進によるCO<sub>2</sub>排出削減目標達成の可能性，地球環境シンポジウム講演論文集，Vol.12，pp.331-336，2004.
- 2) 石田卓也・新家誠憲・阿部宏史：地域間貨物流動におけるモーダルシフトによるCO<sub>2</sub>排出削減効果の分析，土木計画学研究・講演集，Vol.34，2006.
- 3) 小林一成・北村一眞・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.
- 4) 井村幸代・浅野光行：高速貨物輸送機関の導入がモーダルシフトに及ぼす効果の分析，土木計画学研究・講演集，Vol.34，2006.
- 5) 黒川久幸・松浦伸枝・鶴田三郎・風間富一：時間価値分析による船舶へのモーダルシフトについての検討，日本造船学会論文集，Vol.2001，No.189，pp.405-412，2009.
- 6) 荒谷太郎：荷主の内航海運利用の可能性に関する研究，運輸政策研究，Vol.15，No.2，pp.90-94，2012.
- 7) 田中淳・柴崎隆一・渡部富博：内貿ユニットロード輸送に着目した北海道-関東間の貨物輸送機関分担モデルの構築，土木計画学研究・講演集，Vol.27，2003.
- 8) 谷下雅義・入谷光浩・守谷貴樹・鹿島茂：自動車関連税制の変更による環境負荷削減効果の分析，土木計画学研究・論文集，Vol.19，No.3，pp.505-512，2002.
- 9) 武藤慎一・森杉壽芳・上田孝行：自動車関連炭素税制策の国民経済的評価，土木計画学研究・講演集，Vol.26，2002.
- 10) 天野明弘：炭素税の価格効果と税収効果：第6回グリーン税制とその経済分析等に関する専門委員会，参考資料1，2008.
- 11) 鈴木武・佐々木友子：国内航路を運航するフェリー・RORO貨物船・コンテナ船の諸元と燃料消費の特徴，沿岸域学会誌，Vol.25，No.3，2013。(掲載予定)
- 12) 国土交通省：第9回全国貨物純流動調査(物流センサス)の調査結果(速報)について，2011.
- 13) 国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編)，2009.
- 14) 環境省：温暖化対策の経済性評価-数量モデ

ルによる評価一，中央環境審議会地球環境部  
会目標達成シナリオ小委員会中間とりまと  
めVII，2001.

- 15) 国土交通省：原油価格高騰が運輸業に与える  
影響，2004.
- 16) 日本内航海運組合総連合会運賃・用船料委員  
会：燃料油高騰の運賃転嫁状況アンケート調  
査結果について(平成24年4月現在)，2012.
- 17) 社団法人全日本トラック協会：軽油価格の影  
響と運賃転嫁に関する調査(平成23年6月  
調査結果)，2011.

## 著者紹介

### 赤倉 康寛 (正会員)

京都大学防災研究所(京都府宇治市五ヶ庄)，平成7年3  
月東北大学大学院工学研究科土木工学専攻修了，同年4月  
運輸省入省，平成24年6月より京都大学准教授，博士(工  
学)，土木学会会員.

E-mail: akakura.yasuhiro.6n@kyoto-u.ac.jp

### 渡部 富博 (非会員)

国土交通省国土技術政策総合研究所，昭和63年3月東京  
工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻修了，同年4月  
運輸省入省，平成17年6月より国土技術政策総合研究所  
港湾システム研究室長，土木学会会員.

E-mail: watanabe-t2w3@ysk.nilim.go.jp

# An Estimation of the Impact on Mode Choice of Long-Range Domestic Cargo Transport by Carbon Taxation

Yasuhiro AKAKURA and Tomihiro WATANABE

**ABSTRACT** : Various countermeasures against global warming are being taken. Among these countermeasures, it is expected that carbon taxation decreases CO<sub>2</sub> emission and develops energy-saving technologies. In order to evaluate the influence of carbon taxation on transport sector, we have to evaluate not only improvement of energy efficiency in each mode but also change of the mode choice to low carbon transportation (modal shift).

Based on the above mentioned background, this study developed the mode choice model that includes the feature of each ship type for long-range domestic unit load cargo transport. In addition, using developed model, this study estimated the impact of carbon taxation on mode choice and the effect of decreasing CO<sub>2</sub> emission.

**KEYWORDS** : *Carbon Tax, Transportation Mode Choice, Unit Load, CO<sub>2</sub> Emission*