

輸送事業者の原単位とCO2排出量に関する分析

A Study on Energy Intensity and CO2 Emissions in Transportation Industry

熊井 大*・吉田 好邦**・松橋 隆治**

By Masaru KUMAI *・Yoshikuni YOSHIDA **・Ryuji MATSUHASHI **

1. はじめに

京都議定書において、我が国は2008年度から2012年度の温室効果ガスの排出量を1990年度比で6%削減することと定められている。運輸部門においても、2010年度の温室効果ガス排出量を2億4,000万t-CO₂を目標として、旅客・物流等あらゆる施策を実施している¹⁾。この目標を達成する一つの施策として、2006年度から改正省エネ法（エネルギーの使用の合理化に関する法律）²⁾が施行され、輸送事業者（旅客・貨物輸送を営む事業者）は、原単位で年1%の省エネ効果を目指し、様々な取り組みを開始している。法律の対象となった輸送事業者は、2006年度に定期報告書を作成し、国に対して原単位やCO₂排出量などを報告した。

本論文では、改正された省エネ法に基づき、2006年度に輸送事業者が提出した定期報告書のデータを分析した。本論文の主な新規性・有用性については、まず、工場・事業場を含み、省エネ法の定期報告書のデータを用いた研究が今まで殆ど行われていないこと、今まで存在していなかった輸送事業者のエネルギー使用量に関する包括的なデータを用いて、包括的に輸送事業者の原単位とCO₂排出量に関する分析を行うことができたこと、さらに、運輸部門の地球温暖化対策において、省エネ法と同様の制度が日本以外でおこなわれていないため、輸送事業者の原単位やCO₂排出量について、定量的な分析が海外でも進んでいないことがあげられる。

本論文では、輸送能力、輸送キロ又は輸送量、売上高といった輸送事業者の規模をあらわす値と原単位との関係を分析すると共に、CO₂排出量と事業規模をあらわす値との関係について、回帰分析をおこなう。

CO₂排出量と事業規模は、一般にCO₂排出原単位で係数化されるような線形関係で説明されることが多いが、事業規模の大きさによつてCO₂排出原単位が低下するス

ケール効果があることも予想できる。本論文では、事業規模を輸送量、輸送能力、売上高で定量化し、CO₂排出量との関係を定量的に解析する。またスケール効果と同様に、同規模の事業者間のCO₂排出原単位にどの程度のばらつきがあるのかを比較分析することにより、事業規模の大規模化とエネルギー効率改善のどちらにCO₂排出原単位の改善の余地が大きいかを検討する。最後に得られた結果に基づいて、現在施行された省エネ法の輸送事業者への適用の次の展開として、貨物事業者のトップランナー制度を提案する。

2. データの概要

(1) 特定輸送事業者

省エネ法においては、全ての輸送事業者が対象となっているわけではない。輸送区分ごとに裾切り基準を設けて、一定規模以上の輸送能力を有する輸送事業者について特定輸送事業者³⁾として指定し、省エネ計画の策定と定期報告を義務付けている。

(2) 2006年度報告結果

2008年3月28日に公開された国の報告書⁴⁾によると、2006年度の定期報告書による温室効果ガス排出量の集計結果は、以下の通りであった。

特定貨物輸送事業者については、主たる事業が「運輸業」（1,390 万t-CO₂, 96.8%）の事業者からの排出量が最も多く、次いで「卸売・小売業」（23 万t-CO₂, 1.6%）、「製造業」（15 万t-CO₂, 1.1%）の順であった。特定旅客輸送事業者については、主たる事業が「鉄道業」（966 万t-CO₂, 65.5%）の事業者からの排出量が最も多く、次いで「道路旅客運送業」（263 万t-CO₂, 17.8%）、「水運業」（246万t-CO₂, 16.7%）の順であった。特定航空輸送事業者については、いずれも主たる事業が「航空運輸業」の事業者からの排出量で853 万t-CO₂であった。

(3) COSMOS2

帝国データバンクの企業情報データベースCOSMOS2を活用し、各輸送事業者の売上高データを抽出して、省

*キーワード：輸送事業者、原単位、CO₂排出量、回帰分析

**正員、工修、株式会社日本総合研究所総合研究部門

(東京都千代田区一番町16番、TEL:03-3288-4196、

E-mail: kumai.masaru@jri.co.jp)

**非会員、工博、東京大学大学院新領域創成科学研究科

エネ法の定期報告書の結果と合わせて分析データを作成した。企業によっては、売上高データをIR等で公開していない場合もあるため、COSMOS2にデータとして存在していなかったものもある。尚、今回は2008年2月におけるCOSMOS2からのデータを使用した。

(4) 分析対象データ

2008年3月28日に公開された国の報告書⁴⁾によると、2006年度に国に定期報告書を提出した特定輸送事業者は617社であり、その内訳は、特定貨物輸送事業者（444社）、特定旅客輸送事業者（171社）、特定航空輸送事業者（2社）であった。今回、鉄道貨物輸送事業者は、日本貨物鉄道株式会社のみであり、特定航空輸送事業者は、株式会社日本航空インターナショナル、全日本空輸株式会社の2社であるため、これらについては、今回の分析の対象から除外した。

3. 原単位の分析

(1) 分類方法

今回分析するにあたって、省エネ法の区分を参考に、図-1の通り、データを分類（輸送区分）した。

輸送事業者のエネルギー効率を、輸送手段と輸送対象（実際に運ぶ物体）によるため、貨物事業者については、主要取引先等から事業者ごとの輸送対象を特定し、分類をおこなった。混載車については、物品の混載割合が一定と考えられる共同組合を対象とした。専用車は、主な輸送対象と考えられる石油・ガス、ドリンク、食料品、医療・医薬品を対象とした。

(2) サンプル数

本論文における輸送区分ごと事業者数（サンプル数）は、表-1の通りであった。

表-1 輸送区分ごとのサンプル数

輸送区分	サンプル数
旅客鉄道	26
旅客バス	87
旅客タクシー	33
旅客船舶	14
貨物自動車	
協同組合	17
石油・ガス	6
ドリンク	21
食料品	20
医療・医薬品	12
貨物船舶	
鉄鋼	5
セメント	5
石油・ガス	9

原単位は、分子をCO2排出量とし、分母を旅客事業者の場合は輸送キロ、貨物事業者の場合は輸送量とした。

$$\text{原単位（旅客）} = \frac{\text{CO2排出量 (t-CO2)}}{\text{輸送キロ (万km)}} \quad (1)$$

$$\text{原単位（貨物）} = \frac{\text{CO2排出量 (t-CO2)}}{\text{輸送量 (万t・km)}} \quad (2)$$

改正された省エネ法の定期報告書において、旅客事業者の申請項目に「人・km」に該当する項目はない。

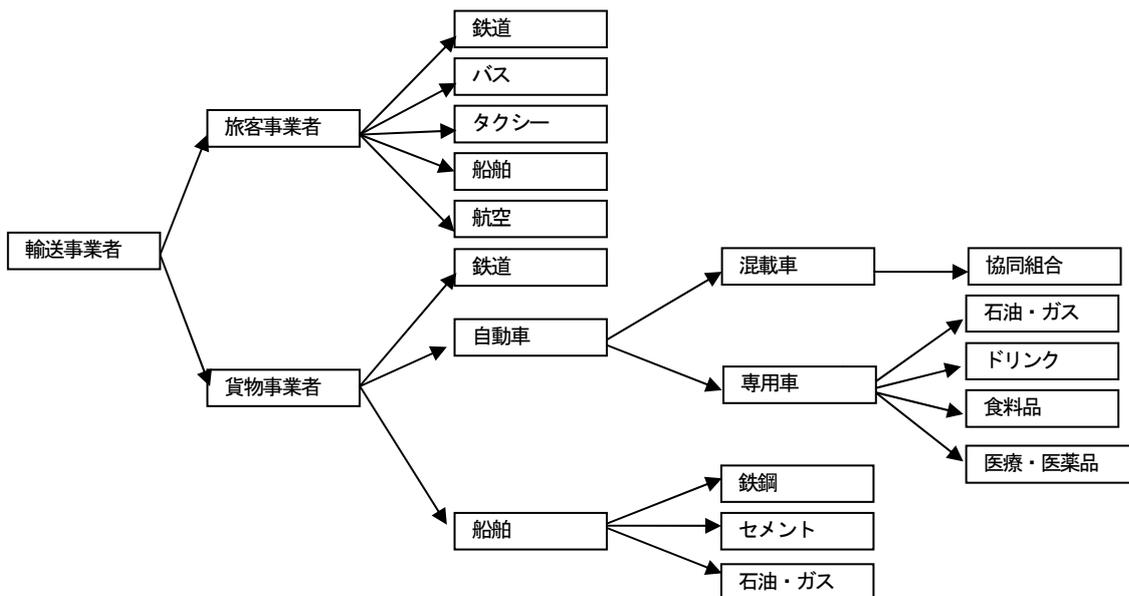


図-1 本論文における輸送区分

そのため、旅客の原単位は「人・km」あたりではなく「km」あたりとなる。

(4) 原単位の傾向

原単位の傾向を、旅客のうち最も排出量が多い輸送区分である、旅客鉄道を事例にして説明する。

縦軸に原単位、横軸に輸送キロ、輸送能力、売上高を自然対数で対数化し、各旅客鉄道事業者の値をプロットすると、図-2の通りであった。

旅客鉄道事業者の事業規模（輸送キロ、輸送能力、売上高）が大きくなるにつれて、原単位が低減（エネルギー効率が改善）し、事業規模の小さい中小事業者においては、原単位の数値にばらつきがあり、エネルギー効率の高い事業者から低い事業者まで存在する傾向が、グラフから推察された。

この推察されたばらつきについては、5.において、詳細な分析をおこなう。

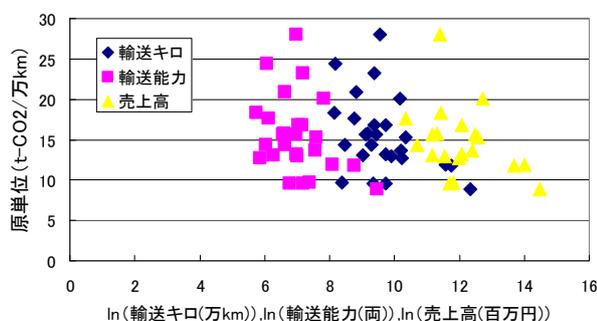


図-2 原単位と対数化した輸送キロ、輸送能力、売上高

(5) スケール効果の検証方法

(4)で推察された原単位の傾向について、“輸送事業者の事業規模が大きくなるにつれて、輸送事業者のエネルギー効率が改善し、結果として、原単位が低減するのではないか”という仮説をたてて、その仮説を検証するため、輸送区分ごとで原単位と事業規模（輸送キロ又は輸送量、輸送能力、売上高）を自然対数で対数化した値との間で、Pearsonの無相関の検定をおこなった。

(6) 検定結果

各輸送区分について検定をおこなった結果は、表-2の通りであった。

検定の結果、輸送キロ又は輸送量については、多くの輸送区分で相関関係がみられたが、輸送能力や売上高については、ほとんどの輸送区分で相関関係がみられなかった。

このことは、輸送事業者は、輸送キロ又は輸送量が多くなればなるほど、省エネ傾向が高まり、原単位を改善させる傾向にあることを示している。

表-2 輸送区分ごとの検定結果

輸送区分	輸送キロ又は輸送量	輸送能力	売上高
旅客鉄道	*		
旅客バス		*	
旅客タクシー	*		
旅客船舶			
貨物自動車			
協同組合	*		
石油・ガス			*
ドリンク	*		
食料品	*		
医療・医薬品	*		
貨物船舶			
鉄鋼			
セメント	*		
石油・ガス	*		

*：検定の結果、5%の有意水準で相関あり。

4. CO2排出量の分析

被説明変数をCO2排出量とし、分類（輸送区分）ごとに事業規模を表す変数を説明変数として、都合3種類の回帰分析をおこなった。

既往の報告⁵⁾では、(改良)トンキロ法などを用いて、輸送事業者の輸送機関（トラック、鉄道、船舶等）から排出されるCO2排出量について算定することが可能であり、輸送機関ごとのCO2排出量を積算することで、荷主や輸送事業者のCO2排出量を算定することが可能である。

トンキロ法では、輸送機関ごとに一律に原単位を定めており、輸送機関のCO2排出量を一次関数であらわしている。

改良トンキロ法では、トラックの原単位について、積載率と最大積量を説明変数とする回帰式を使用している⁵⁾。

本論文では、3.(6)の結果より、輸送区分によっては、輸送事業者は、輸送キロ又は輸送量が多くなるほど、省エネ傾向が高まり、原単位を改善させる傾向にあるため、輸送キロ又は輸送量を説明変数とする場合には、自然対数による回帰をおこなった。

(1) 輸送キロ又は輸送量

輸送キロ又は輸送量を説明変数とする結果は、表-3の通りである。

旅客においては、輸送機関の規模が異なるため係数の大小を議論することが困難であるが、総じて適合度の高い回帰結果となっている。

旅客鉄道については、定数項がない回帰式よりも、定数項のある回帰式のほうが決定係数が高いことから、定数項のある回帰式を選択した。これは旅客鉄道事業者

のデータにおいて、輸送キロが原点に近いものがないため、結果として定数項があるほうが決定係数が高い結果となったことが理由にあげられる。

貨物自動車については、表-3にある通り、スケール効果がなく、直線回帰である石油・ガスを除いて比較する。

対数回帰であるので、 $\Delta y / \Delta x = (\text{回帰係数})/x$ となる。各輸送区分における平均的な輸送量 x を用いて、 x に依存する感度 $\Delta y / \Delta x$ を計算した結果を、表-4に示す。今回、 x を各輸送区分での輸送量の平均値とし、感度を算出したところ、感度の大きい順番は、医療・医薬品、協同組合、食料品、ドリンクの順番になり、貴重品であるほど感度が高く、手間をかけて（エネルギーを十分に使って）輸送している。

貨物船舶については、貨物自動車と同様に、鉄鋼を除いて比較したところ、表-4に示す通り、セメントと石油・ガスの感度はほとんど変わらない値となった。

表-3 回帰分析の結果（輸送キロ又は輸送量）

輸送区分 (単位)	回帰式 (決定係数)
旅客鉄道 (万km)	$y = 419500 \ln(x) - 3664000$ (0.824)
旅客バス (万km)	$y = 9.406 x$ (0.970)
旅客タクシー (万km)	$y = 1982 \ln(x)$ (0.737)
旅客船舶 (万km)	$y = 2333 x$ (0.963)
貨物自動車 (万t・km)	
協同組合	$y = 512.5 \ln(x)$ (0.872)
石油・ガス	$y = 1.179 x$ (0.985)
ドリンク	$y = 892.1 \ln(x)$ (0.663)
食料品	$y = 554.1 \ln(x)$ (0.874)
医療・医薬品	$y = 613.7 \ln(x)$ (0.980)
貨物船舶 (万t・km)	
鉄鋼	$y = 0.280 x$ (0.989)
セメント	$y = 5784 \ln(x)$ (0.960)
石油・ガス	$y = 11410 \ln(x)$ (0.780)

※ x : 輸送キロ又は輸送量, y : CO2排出量 (t-CO2) .

表-4 対数で示された回帰式のxにおける感度

輸送区分	感度	x (平均値)
貨物自動車		
協同組合	1.658	309.1
ドリンク	0.5045	1768
食料品	0.7296	759.5
医療・医薬品	2.345	261.7
貨物船舶		
セメント	0.02174	266000
石油・ガス	0.02487	458800

※ x : 各輸送区分での輸送量の平均値 (万t・km) .

(2) 輸送能力

輸送能力を説明変数とする結果は、表-5の通りであ

る。

旅客においては、旅客鉄道は1両あたり平均して年間185t-CO2の排出量があり、旅客タクシーは1台あたり23.59t-CO2、旅客バスは、輸送能力で唯一相関性があったため、事業者が車両を保有すればするほど、スケール効果によって、CO2排出量の増加する割合が低減する結果となった。

貨物自動車については、石油・ガスは、輸送車両がタンクローリーであることから、他の輸送区分に比べて1台あたりのCO2排出量が圧倒的に大きく、他の輸送区分は普通車であるため、1台あたりのCO2排出量は大きくなかった。そのなかで1台あたりのCO2排出量が大きい順番は、専用車の食料品、医療・医薬品、ドリンクであり、混載車の協同組合は最も小さい。

貨物船舶については、総トンあたりのCO2排出量が大きい順番は、石油・ガス、鉄鋼、セメントであった。

表-5 回帰分析の結果（輸送能力）

輸送区分 (単位)	回帰式 (決定係数)
旅客鉄道 (両)	$y = 185.0 x$ (0.905)
旅客バス (台)	$y = 3886 \ln(x)$ (0.719)
旅客タクシー (台)	$y = 23.59 x$ (0.965)
旅客船舶 (総トン)	$y = 4.012 x$ (0.923)
貨物自動車 (台)	
協同組合	$y = 4.906 x$ (0.846)
石油・ガス	$y = 47.25 x$ (0.999)
ドリンク	$y = 6.527 x$ (0.976)
食料品	$y = 9.324 x$ (0.887)
医療・医薬品	$y = 7.172 x$ (0.947)
貨物船舶 (総トン)	
鉄鋼	$y = 2.246 x$ (0.967)
セメント	$y = 1.625 x$ (0.937)
石油・ガス	$y = 2.810 x$ (0.967)

※ x : 輸送能力, y : CO2排出量 (t-CO2) .

(3) 売上高

売上高を説明変数とする結果は、表-6の通りである。

売上高は、例えば、同じ輸送区分の旅客であれば、輸送距離に応じて運賃が支払われるため、結果として、CO2排出量と売上高は相関性がある。また、貨物も売上高と輸送量との間で同様の関係があり、CO2排出量と売上高についても相関性がある。

旅客については、圧倒的に旅客船舶の運賃あたりのCO2排出量が大きい結果となったが、旅客船舶は単位距離あたりの運賃が安く（遠くまで安い運賃で移動が可能）、そのため、今回のような結果が得られたと考えられる。他の輸送区分においては、旅客タクシー、旅客鉄道、旅客バスの順序で運賃あたりのCO2排出量が大きい。

貨物自動車については、ドリンクは対数関数であらわされたため、比較することができないが、石油・ガスといった原材料の輸送区分においては、単位距離あたりの輸送料金が安く、そのため、今回のような輸送料金あたりのCO2排出量が大きい結果となった。完成品を運んでいる輸送区分においては、輸送料金あたりのCO2排出量の大きさは、貴重品であるほど輸送価格が高くなるので、食料品、協同組合、医療・医薬品の順序で小さくなる。

最後に、貨物船舶については、原材料の輸送区分においては、貨物自動車と同様に輸送料金あたりのCO2排出量が大きい結果となり、加工品である鉄鋼は、輸送料金あたりのCO2排出量が他の原材料の輸送区分に比べて、小さい結果となった。

表-6 回帰分析の結果（売上高）

輸送区分（単位）	回帰式（決定係数）
旅客鉄道（百万円）	$y = 1.153x$ (0.941)
旅客バス（百万円）	$y = 1.114x$ (0.788)
旅客タクシー（百万円）	$y = 1.395x$ (0.948)
旅客船舶（百万円）	$y = 16.95x$ (0.909)
貨物自動車（百万円）	
協同組合	$y = 0.0192x$ (0.864)
石油・ガス	$y = 2.740x$ (0.986)
ドリンク	$y = 569.4 \ln(x)$ (0.625)
食料品	$y = 0.0298x$ (0.715)
医療・医薬品	$y = 0.0111x$ (0.954)
貨物船舶（百万円）	
鉄鋼	$y = 0.9483x$ (0.794)
セメント	$y = 3.180x$ (0.7556)
石油・ガス	$y = 5.567x$ (0.936)

※ x : 売上高, y : CO2排出量 (t-CO2) .

5. 原単位のばらつきの分析

今回、3.(6)でおこなった、無相関の検定の結果で相関関係がある輸送区分と相関関係がない輸送区分が発生した原因の一つとして、大規模事業者と中小事業者との原単位のばらつきの違いが関係しているのではないかと考え、分析をおこなった。

分析方法として、まず、サンプル数が10以上ある輸送区分において、輸送事業者を輸送キロ又は輸送量に応じて、上位30%と下位30%の事業者にグループ分けをおこなった。次に、各グループにおいて、原単位の最大値と最小値、及び最大値と最小値の差分を算出した。この結果は、表-7の通りである。

対象となった輸送区分の原単位の差分について、旅客バスのみ上位30%のグループと下位30%のグループの差分がほとんど変わらない結果となったが、それ以外は、対象となる全ての区分で、上位30%グループよりよりも、

下位30%のグループのほうが差分が大きい⁴⁾。このことは、特に、貨物事業者（貨物自動車）において、原単位の差分が数倍程度異なるため、下位30%のグループでは、上位30%のグループよりもCO2を削減でき、大きな省エネ余地が残されていることを意味している。さらに、食料品と医療・医薬品を除くすべての区分において、下位30%内の最小原単位が、上位30%内の最大限単位よりも小さく、下位30%内にもエネルギー効率の高い事業者が存在することがわかる。

表-7 原単位の最大値と最小値、及びその差分

輸送区分(単位)	最大値	最小値	差分
旅客鉄道	20.06	8.911	11.15
(t-CO2/万km)	24.45	9.708	14.74
旅客バス	12.92	5.222	7.698
(t-CO2/万km)	13.20	7.121	6.079
旅客タクシー	7.222	3.062	4.160
(t-CO2/万km)	12.19	5.561	6.629
旅客船舶	2532	1890	642
(t-CO2/万km)	3740	652.8	3087
貨物事業者（貨物自動車）			
協同組合	16.19	2.996	13.19
(t-CO2/万t・km)	58.71	14.05	44.66
ドリンク	4.183	0.8808	3.302
(t-CO2/万t・km)	16.44	2.393	14.05
食料品	5.369	1.190	4.179
(t-CO2/万t・km)	41.71	7.435	34.28
医療・医薬品	26.54	3.426	23.11
(t-CO2/万t・km)	77.57	39.20	38.37

※上段は上位30%、下段は下位30%のグループ

下位30%のグループ（中小事業者）において、CO2を削減する方法を考えた場合、3.(6)の結果より得られたスケール効果を活用し、中小事業者が輸送キロ又は輸送量を増加させる方向と、規模はそのままで表-7で得られた差分（原単位のばらつき）を減少させる方向の2つがあるが、以上の結果からは後者の方向が効果的であることが示唆される。

3.(6)の結果より、売上高と原単位との間で相関性はみられず、輸送事業者にとって、原単位の改善という環境配慮に向けた努力が、経営上有利と考えられる売上高の向上に、単純に結びついていない。これに関連して事例をあげると、ある貨物事業者が輸送設備を更新し、より効率的に輸送することが可能になったと仮定した場合、通常、輸送対象における輸送単価は変わらないため、売上高が向上するはずである。しかしながら物流業界の場合は、設備更新にあわせて輸送単価も更新され、大量に輸送が可能になった分、安価に輸送することが求められるようになり、結果として、売上高が向上しないことがあげられ、このようなことが、売上高と原単位との間で相

関性が発生しない原因の一つではないかと考える。

近年、経営が悪化した貨物事業者に対して、国が補助を行っているが、上記に示した原因を解決しない限り、現状の問題を引き伸ばすだけで根本的な解決には繋がらない。根本的に解決するためには、荷主が輸送効率の高い、環境配慮を進めている貨物事業者を積極的に活用すると共に、適正な費用対価を支払うことが必要と考えられる。

これらをまとめると、中小の貨物事業者に対して、大規模事業者と同じレベルの原単位で輸送した場合、荷主が適正な費用対価を支払い、その見返りとして、一定レベル以上の原単位で輸送する貨物事業者を選択する荷主に対して、補助金や税制優遇を行う制度（貨物事業者のトップランナー制度）が有用と考えられる。

6 . おわりに

本論分では輸送事業者の原単位とCO2排出量に関して分析することにより、その特性を明らかにすることができた。

今後は、輸送事業者の環境配慮に向けた特性について分析を進めると共に、今回提案した制度の効果について分析を進めることで、この制度が運輸部門の地球温暖化対策として有効であることを検証したい。

謝辞：本論文は、国土交通省総合政策局環境政策課の協力を得て、2006年度に輸送事業者が提出した省エネ法の定期報告書のデータについて分析したものである。国土交通省総合政策局環境政策課の関係各位と本論文にご協力頂いた輸送事業者の皆様には深謝の意を表したい。

注

[1] 旅客船舶で原単位の差が大きい理由は、船舶の平均的な耐用年数は自動車よりも長く、かつての船舶と現在の船舶は、プロペラ性能や船体の抵抗等の技術革新より、燃費が数十倍改善されているためである。

参考文献

- 1)地球温暖化対策推進本部；京都議定書目標達成計画，
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/>， pp10-19， 2008
- 2)国土交通省；エネルギーの使用の合理化に関する法律，
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000002.html， 2006
- 3) 国土交通省総合政策局環境・海洋課監修；改正省エネ法 輸送事業者の手引き，交通エコロジー・モビリティ財団発行， pp31-35， 2006
- 4) 環境省地球環境局地球温暖化対策課，経済産業省産業技術環境局環境経済室；地球温暖化対策推進法に基づく温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度による平成18年度温室効果ガス排出量の集計結果， pp25-28， 2008
- 5) 資源エネルギー庁省エネルギー対策課編著；荷主のための省エネルギー法ガイドブック，財団法人省エネルギーセンター発行， pp102-109， 2006