

トラック輸送効率化によるCO2削減効果のマクロ的分析*

A Macro Analysis of CO2 emission reduction by truck transport efficiency promotion*

紀伊雅敦**・湊清之**・廣田恵子**

By Masanobu KII**・Kiyoyuki MINATO**・Keiko HIROTA**

1. はじめに

2002年に策定された地球温暖化対策推進大綱¹⁾(以下、新大綱)では2010年までにトラック輸送の効率化により約290万トンのCO₂の排出削減目標量を掲げている。その方策として、エネルギー利用効率の悪い自家用トラックから営業用トラックへの転換(営自転換)と積載率の向上が示されている。しかし、どの程度の効率化が求められているかについては明らかにされていない。

運輸部門のCO₂排出量の将来削減量を推計したものととして、中央環境審議会資料²⁾、温室効果ガス削減技術シナリオ策定調査検討会報告書³⁾があげられるが、トラック輸送の効率化の効果については、前者は普通貨物車の積載率が50~60%に向上するという非常に大胆な仮定で推計しており、また後者は積載率向上の効果は不明確として計上していない。一方、CO₂削減目標を達成しうる施策を定量的に推定する方法として、中村ら⁴⁾の研究があげられる。ここでは運輸部門全体のCO₂排出量の目標値を設定し、それを達成しうる施策を、排出量推計モデルを用いて逆推計している。ただしトラック輸送効率化は分析対象とはされていない。

本研究では、中村らと同様のアプローチで、削減目標量を達成しうる営自転換量、積載率向上量を全国レベルで把握し、1990年から2000年までのトレンドから2010年での実施可能性について検討を行う。

2. トラック輸送のCO2排出の現状

1990年から2000年にかけて自動車貨物の輸送量はトンキロベースで14%増加する一方、CO₂の排出量は12%の増加にとどまっている。これはトラック輸送全体のエネルギー効率が向上していることを意味しており、自家用から営業用への輸送転換がその一因とされている。

1990年と2000年の自動車全体と用途別車種別の排出原単位を表-1に示す。これより全体では1.7%の排出原単位の改善がなされたことがわかるが、一方で用途別車種別に見ると、すべての分類で排出原単位は増加している。これは時刻指定や輸送頻度の増加等に伴う積載率の低下に起因するものであるといわれている。以上より貨物輸送の営自転換は進んでいるものの、積載率向上による効率化は進んでいない。

なお、ここで示したデータは全国の集計値であるが、一般に積載率が低く単位輸送量あたりの排出原単位が大きいのは都市内の貨物輸送である。たとえば、自家用普通車の平均輸送距離は営業用に比べてかなり短いことから、効率の低い自家用貨物車は都市部での利用が多いと考えられる。本研究では全国データを用いて分析するものであるが、都市部に対しても特有の対策を行わなくてはならないことに留意する必要がある。

表-1 用途別車種別の貨物自動車の排出原単位

kg-CO₂/ton-km

年次	全体	用途	車種			
			普通	小型	特種	軽
1990	0.345	営業用	0.165	0.642	0.218	1.321
		自家用	0.279	2.010	0.383	9.802
2000	0.339	営業用	0.178	0.818	0.230	1.933
		自家用	0.372	3.094	0.574	9.866

自動車輸送統計年報 5), 総合エネルギー統計 6)より作成

*キーワード: 計画基礎論、地球環境問題、総合交通計画

** (財)日本自動車研究所総合研究部

(茨城県つくば市荻間2530,

TEL029-856-0767, FAX029-856-1124)

3. 営自転換によるCO2排出の削減

(1) 削減目標達成に必要な営自転換量

表-1から明らかなように、全車種で営業用の排出原単位は自家用より低く、自家用から営業用へ輸送が転換されればCO2排出量は削減されることが期待される。ここでは、車種ごとに輸送される貨物の特性が異なると仮定し、同一車種の営業・自家用途間の輸送転換を考える。すなわち、車種別の輸送重量、輸送トンキロそれぞれについて営業用と自家用の和は一定とし、目標達成に必要な転換輸送重量と平均輸送距離の変化量を推定する。ただし、小型車から普通車への転換は対象とせず、用途別車種別のCO₂排出原単位は2000年の値を用いる。

推計において、車種別の営業用トラックの輸送トン数とトンキロが決まれば制約条件から自家用のそれらも決まるが、8つの変数に対し、CO₂排出削減量の1つのみが既知であり解を求められない。ここでは、排出削減目標を満たし、かつ全用途全車種の輸送重量と平均輸送距離の2000年からの変化率の自乗和が最小となる輸送転換量を求めるものとする。この変化の自乗和を最小とする意味は、現状からの変化量に応じてコストが発生するものと仮定すると、目標を達成するためのコスト最小化問題と解釈できる。詳細は付録1に示す。

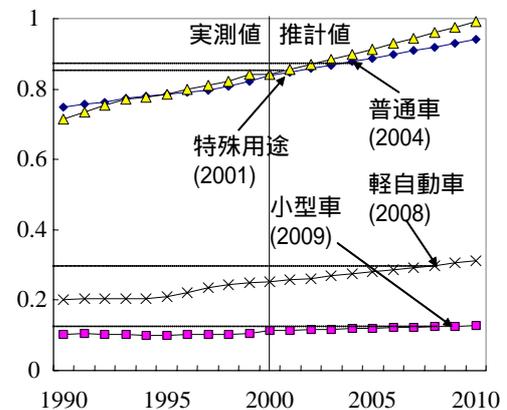
以上の方法で算定された転換輸送量を表-2に示す。なお、CO₂排出量の変化率は原単位を一定としているため輸送トンキロの変化率と等しい。輸送量の変化率が最小となるよう求めているため輸送量の多い普通車の転換量が大きくなっている。普通車の平均輸送距離を見ると自家用は約4km減少しているのに対し、営業用では1.3kmほど増加している。これは、特に普通車の営自転換は長距離輸送において促進すべきことを示唆している。トンキロベースで見ると自家用の2割以上の輸送量を営業用に転換することが必要とされている。

一方、排出原単位の大きい自家用軽自動車については転換輸送量の絶対量は相対的にかなり小さいが、転換によるCO₂の削減量は無視できない。2000年の輸送量に対する比率で見るとトンキロでは6.3%程度の転換が必要とされる一方、受け入れ側の営業用軽自動車ではトンキロベースで2割弱の輸送

量の増加を担うことが求められている。また、小型、特種についても、相当量の転換が求められる。

表-2 目標達成に必要な営自転換量
自家用から営業用への変化量

		普通	小型	特種	軽
輸送トン数(MT)		62.1	1.4	10.1	1.5
輸送量(MT-km)		8,745	98	563	99
平均輸送距離 の変化量(km)	営業用	1.29	1.71	-0.70	2.79
	自家用	-3.89	-0.20	-0.99	-0.63
CO ₂ の変化量 (MT-CO ₂)	営業用	1.56	0.08	0.13	0.19
	自家用	-3.26	-0.30	-0.32	-0.97
2000年からの変化率					
輸送重量(%)	営業用	2.5	5.2	2.4	9.3
	自家用	-3.2	-0.4	-2.5	-1.2
輸送トンキロ(%)	営業用	4.0	10.6	1.5	18.9
	自家用	-20.9	-1.4	-8.1	-6.3
輸送距離(%)	営業用	1.5	5.1	-0.8	8.8
	自家用	-18.3	-0.9	-5.8	-5.2



()内は目標分担率達成年度を表す

図-2 営業用分担率の実績値と推計値(トンキロ)

(2) 営自転換の可能性

ここでは1990-2000年の転換のトレンドに基づき、営自転換の実現可能性について検討する。上述の分析より得られる削減目標達成に必要な営業用自動車の分担率は普通貨物車、小型貨物車、特種、軽貨物車それぞれ87%、13%、85%、30%である。

車種別の営業用自動車のトンキロベースの分担率の変化の実績と推計値を図-2に示す。1990年から2000年にかけて、いずれの車種も営業用の分担率が増加しており、この期間の普通、小型、特種、軽貨物車の年間平均増加率は、それぞれ1.15%、1.20%、1.66%、2.21%である。図中の推計値はこの変化率を用い2010年までの目標分担率を推定したものである。この結果を用いると、普通、小型、特種、軽貨物車の目標分担率は、それぞれ2004年、

2009年、2001年、2008年に達成されることとなり、必ずしも非現実的な目標ではないと考えられる。

ただし、この結果は用途別車種別の排出原単位が変わらないこと、営自転換が1990-2000年のトレンドで進捗することを前提としていることに留意する必要がある。特に普通車と特殊用途車はすでに営業用の分担率がかなり高く、この転換の傾向を維持するには追加的な転換策が必要と考えられる。また、自家用の排出原単位が高いのは、運用の非効率性ととも、荷物の特性として輸送の迅速性、場所、時間の任意性が求められていることも考えられる。したがって、単に営自転換を行うのみならず、排出原単位を悪化させないための方策も同時に求められている。

4. 積載率向上によるCO₂排出の削減

次に、用途別車種別にCO₂削減目標の達成に必要なとされる積載率の変化量を算定する。ここではトンベース、トンキロベースの総輸送重量は変わらないものとし、1回あたりの輸送重量を増加させ、輸送回数を減少させることで積載率の向上と走行距離の減少を行わせるシナリオを仮定した。

なお、1回あたりの積載重量とCO₂排出原単位の間には有意な負の相関がある。すなわち1回の輸送重量が少ないほどトンキロあたりのCO₂排出量は多くなる。ここでは、以下の式を用いて車種別の排出原単位 α_k (kgCO₂/ton-km)の推計を行った。

$$\text{排出原単位 } \alpha_k = a_{k0} + a_{k1} / (q_k \times \beta_k)$$

ここで、 k は用途・車種をあらわし、 β_k は実車率（実車キロ/走行キロ）、 q_k は1回あたりの輸送重量（トン）を表す。 a_{k0} 、 a_{k1} はパラメータである。この式の解釈については付録2に示す。このパラメータを重回帰分析により推定した結果を表-3に示す。なお、推定には1990-2001年の車種別の排出原単位、走行キロ/実車キロ、1回あたりの輸送重量を用いており、これらは文献5),6)から2次推計したものである。また、用途別（営業用、自家用）のデータは車種ごとにプールして用いている。表の最下段は実測値と推計値の相関係数である。

これより、概ねいずれのパラメータも有意であ

り、また再現性も高いことが読み取れる。次にこれらの算定式を用いて削減目標を達成するための輸送重量の増加量を推定する。

この推計問題は、前章と同様に排出削減目標である制約式が1つ、操作変数として用途別車種別の平均輸送重量が8つであり、解を求められない。ここでは削減目標達成を制約条件とし、輸送重量の変化に伴う輸送回数の変化率の自乗和を最小とする平均輸送重量を求めた。なお車種・用途別の総輸送重量、輸送距離は変わらないものすると、平均輸送重量の変化に対する輸送回数の変化量は一意に求められる。また、走行キロと実車キロの比 β_k は2000年の値を用いた。この結果を、平均輸送重量と輸送回数の2000年からの変化率およびCO₂排出量の変化量として表-4に示す。

表-3 車種別CO₂排出原単位算定式の推定結果

	普通	小型	特種	軽
切片	0.070 (22.3)	0.168 (15.0)	0.087 (12.8)	0.095 (1.2)
係数	0.453 (65.4)	0.263 (157.8)	0.445 (44.2)	0.210 (94.5)
相関係数	0.997	1.000	0.994	0.999

()内はt値

表-4 目標達成可能な平均輸送重量、回数の変化

		普通	小型	特種	軽
平均輸送重量(%)	営業用	5.0	0.1	1.1	0.2
	自家用	2.6	4.4	0.7	3.1
年間輸送回数(%)	営業用	-4.8	-0.1	-1.1	-0.2
	自家用	-2.5	-4.2	-0.7	-3.0
CO ₂ 排出量(Mt-CO ₂)	営業用	-1.1	0.0	-0.1	0.0
	自家用	-0.3	-0.9	0.0	-0.5

積載率(輸送トンキロ/能力トンキロ)

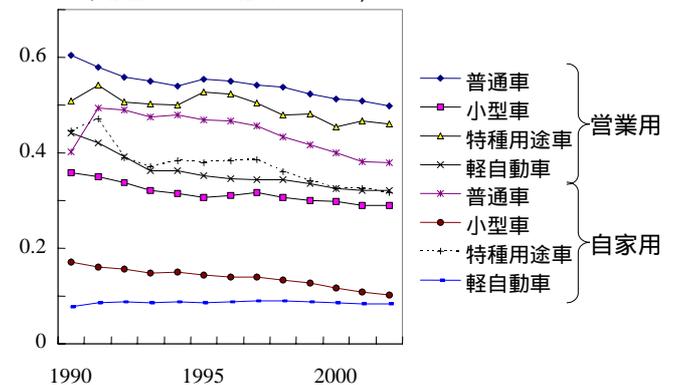


図-4: 用途別車種別の積載率の変化(1990-2002)

これより特殊用途以外では2.5%から5%程度の平均輸送重量を増加させ、同程度の輸送回数の削減を行うことができれば、目標を達成しうることがわかる。ただし、これは単に車両の大型化により実現するものではない。用途別車種別に見ると積載率は減少を続けている(図-4参照)。すなわち、たとえ車両が大型化しても、輸送頻度が削減されなければエネルギー消費効率は改善されない。特にトラック輸送においては都市部での少量多頻度輸送の非効率性が指摘されている。積載率の向上のためには、一層の合理化とともに、不要不急な時刻指定等の高度輸送サービスの見直しなど、輸送を集約化する努力を運送業者、荷主共に行うことが必要である。近年、官民が協力してトラック輸送の効率化に取り組んでいるが、本研究の結果はその目標達成のベンチマークとして利用可能である。

5. まとめ

本研究では、トラック輸送について新大綱の削減目標を達成しうる営自転換量、および積載効率の向上量をそれぞれ定量的に求めた。また、1990-2000年の傾向より、営自転換は実現可能性が高いが、積載率の向上には多大な努力が必要であることが示唆された。これらの結果は、具体的な個別対策を検討する上での目標値として利用しうる。

ただし、ここで得られた結果はいくつかの仮定に基づいていることに留意する必要がある。特に不定問題の解法に用いた目的関数の意味は不明確であり、効率化のコストを考慮することが必要である。

付録1：営自転換量の推定方法

車種を $k \in K = \{\text{普通車}, \text{小型車}, \text{特殊用途車}, \text{軽自動車}\}$ とし、営業用の輸送トン数の変化量を x_b^k 、平均輸送距離の変化量 d_b^k とする。ここで、車種別の輸送重量、輸送トンキロは不変と仮定すると、自家用の輸送トン数の変化量 x_h^k 、平均輸送距離の変化量 d_h^k は以下のように与えられる。

$$x_h^k = -x_b^k$$

$$d_h^k = \frac{(H_b^k - (X_b^k + x_b^k) \cdot (D_b^k + d_b^k) + H_h^k)}{(X_h^k + x_h^k)} - D_h^k$$

for all $k \in K$

ただし、 H_b^k 、 H_h^k はそれぞれ営業用、自家用の2000年の輸送トンキロ、 X_b^k 、 X_h^k は輸送重量、 D_b^k 、 D_h^k は

平均輸送距離をあらわす。ここでは、営自転換により290万トンの削減を達成する車種ごとの転換輸送量を求めることが必要となるが、操作変数はすべての k に関する x_b^k 、 d_b^k で8つあり、解は一意に定まらない。そこで、CO2排出削減量を制約条件とし、輸送重量および輸送距離の2000年からの変化率の自乗和を最小とする x_b^k 、 d_b^k を求める最適化問題として定式化する。この変化の自乗和を最小とする意味は、現状からの変化量に応じてコストが発生するものと仮定すると、目標を達成するためのコスト最小化問題と解釈できる。この問題は次式であらわされる。

$$\min \sum_{x_b^k, d_b^k} \sum_{i \in \{b, h\}} \sum_{k \in K} \left((x_i^k / X_i^k)^2 + \sum_k (d_i^k / D_i^k)^2 \right)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in \{b, h\}} \sum_{k \in K} \alpha_i^k x_i^k d_i^k = -2.9(\text{MT-CO2})$$

ただし、 α_i^k は用途 i 車種 k のCO2排出原単位をあらわし、 x_h^k 、 d_h^k は上で与えられたものを用いる。この問題を解くことで、転換輸送量を求めた。

付録2：排出原単位の算定式

細井⁷⁾は実走行時の平均速度のもとでの単位距離あたりのCO2の排出量を以下の式で推定している。

$$\text{CO2} = a_0 + a_1 W$$

ここで、 W は走行時の車両重量を表す。空車時の車両重量を q_c 、積載貨物重量を q_k とし、また貨物輸送を行う実走行距離を l_k 、輸送以外の空荷状態の走行距離を l_e とすると、総CO2排出量(GCO2)は

$$\text{GCO2} = (a_0 + a_1(q_c + q_k)) \times l_k + (a_0 + a_1 \times q_c) \times l_e$$

となる。貨物輸送トンキロは $q_k \times l_k$ であるから、輸送トンキロあたりのCO2排出量(原単位)は

$$\alpha_k = \text{GCO2} / (q_k \times l_k) = a_1 + (a_0 + a_1 \times q_c) (l_k + l_e) / l_k / q_k$$

ここで、 $a_1 = a_{k0}$ 、 $(a_0 + a_1 \times q_c) = a_{k1}$ 、 $l_k / (l_k + l_e) = \beta_k$ とおくと、本分析で用いた算定式が得られる。

参考文献

- 1) 地球温暖化対策推進本部：地球温暖化対策推進大綱，2002，<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/>
- 2) 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」中間取りまとめ，2001，<http://www.env.go.jp/council/06earth/r062-01/>
- 3) 環境省地球環境局，平成12年度温室効果ガス削減技術シナリオ策定調査検討会報告書，2001，<http://www.env.go.jp/earth/report/h12-03/>
- 4) 中村英樹，林良嗣，都築啓輔，加藤博和，丸田浩史：「目標設定型アプローチによる運輸起源のCO2排出削減施策の提示」，土木計画学研究・論文集，No.15，pp739-745，1998
- 5) 国土交通省総合政策局情報管理部，自動車輸送統計年報，2003
- 6) 資源エネルギー庁長官官房総合政策課，総合エネルギー統計，2001
- 7) 細井賢三：「CO2排出総量の算出に必要な走行モードと排出係数について」，自動車研究，Vol.20，No.9，pp.395-399，1998