

50. モーダルシフトの推進による CO₂ 排出削減目標達成の可能性

Estimation of Carbon Dioxide Reduction Based on Modal Shift of Freight Transportation

平山 秀夫* ・ 本田 尚正**

Hideo HIRAYAMA, Naomama HONDA

ABSTRACT ; The global warming due to the increase of greenhouse gases such as carbon dioxide, i.e., CO₂, is the most serious and important issue in the global environmental problems. In this paper, a simple analysis is indicated in order to estimate the reduction of CO₂ based on modal shift of freight transportation from motor trucks to merchant shipping or railroads with a view to protect global warming by using several statistical data on CO₂ discharge in Japan. The analytical result shows that the modal shift plan proposed by the present paper is very effective for the reduction of CO₂ in comparison with a few another countermeasures and it makes a great contribution for the goal of CO₂ reduction following Kyoto Protocol to the United Nations Framework.

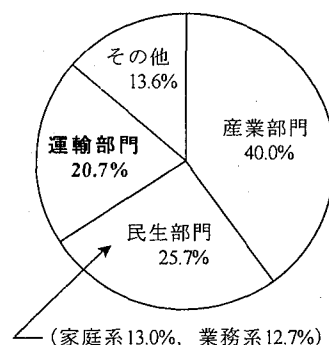
KEYWORDS ; global warming, greenhouse gases, CO₂, modal shift of freight transportation, Kyoto Protocol

1 緒 言

地球温暖化は、地球環境問題の中でも特にその進行が顕著で最も深刻な課題である。一般市民の関心も高く、その主要因である CO₂ 等の温室効果ガスの存在や、それらの排出削減目標を明言化した京都議定書（日本の場合、2008 年～2012 年の間に 1990 年レベルよりも 6%削減すること。）などは今日広く一般社会に周知されている。

わが国の CO₂ 排出源の内訳は、図－1 に示す通り、2000 年時点で産業部門 40.0%、民生部門 25.7%（家庭系 13.4%、業務系 12.3%）、運輸部門 20.7%、その他 13.6%であり^{1)～3)}、今後、それぞれの部門において CO₂ 排出削減に向けた一層の努力が要求される場所である。中でも運輸部門では、現在トラック輸送中心の貨物輸送分野における CO₂ 排出削減（抑制）が大きな課題であり、これを今後、内航海運や鉄道といった CO₂ 排出が少なく、かつ、環境にやさしい輸送手段に転換する、いわゆるモーダルシフトの積極的な推進は、CO₂ 排出削減目標の達成に向けた有効な方策の一つとして大いに期待されている。

そこで本研究では、営業用貨物自動車による貨物輸送の一部を内航海運や鉄道による輸送へモーダルシフトした場合の CO₂ 排出削減効果を各種の統計データに基づいて推定し、それと他部門・他分野における CO₂ 排出削減効果とを比較することにより、モーダルシフトの推進による CO₂ 排出削減目標達成の可能性と有効性について考察する。



図－1 2000 年時点における
部門別の CO₂ 排出割合

2 CO₂ 排出に関する貨物輸送機関の現状

図－2 は、2000 年時点における運輸機関別の CO₂ 排出割合^{1)～3)}を示している。同図によれば、自動車関連の運輸機関から排出される CO₂ の割合は運輸部門全体の 87.3%を占めている。さらに、そのうち営業用および自家用を合わせた貨物自動車による CO₂ 排出割合は 26.4%であり、それは自動車関連外の運輸機関である内航海運、鉄道および航空の CO₂ 排出割合の和である 12.7%を大きく上回っている。

* 大阪府立工業高等専門学校建設工学科, Department of Civil Engineering, Osaka Prefectural College of Technology

** 鳥取大学農学部森林科学講座, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

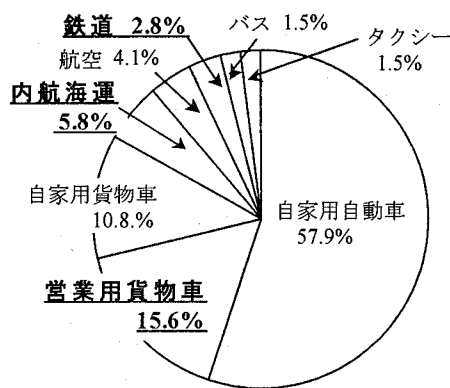


図-2 2000年時点における運輸機関別のCO₂排出割合

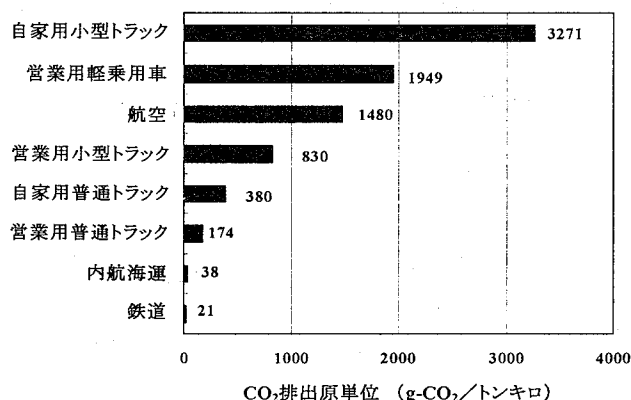


図-3 2000年時点における貨物輸送機関別のCO₂排出原単位

また、貨物輸送機関別のCO₂排出割合は、それぞれの輸送手段のCO₂排出原単位（貨物1トンを経由する際のCO₂排出量）という視点でもみることができる。図-3は、2000年時点における貨物輸送機関別のCO₂排出原単位³⁾を示している。同図によれば、トラック関連の貨物輸送機関と内航海運および鉄道との間でCO₂排出原単位の差は歴然としており、トラック関連の貨物輸送機関の方が突出して大きい。

以上に示したような数値からも、現在トラック輸送中心の貨物輸送の一部を、今後内航海運や鉄道といったCO₂排出が少なく環境にやさしい輸送手段にモーダルシフトすれば高いCO₂排出削減効果が期待でき、京都議定書に基づくCO₂排出削減目標の達成に大きく貢献することは容易に推察できる。

3 モーダルシフトによるCO₂排出削減効果の検討

3.1 本研究における検討内容

本研究では、図-1～図-3をもとに、営業用貨物自動車による貨物輸送の一部を内航海運や鉄道による輸送へモーダルシフトした場合のCO₂排出削減効果を検証する。具体的には、次の3ケースについて検討する。

- Case.1；営業用貨物自動車による貨物輸送（運輸機関別CO₂排出割合：図-2より2000年時点で15.6%）の一部を内航海運のみにモーダルシフトした場合
- Case.2；営業用貨物自動車による貨物輸送の一部を鉄道にのみモーダルシフトした場合
- Case.3；営業用貨物自動車による貨物輸送の一部を内航海運と鉄道に等分担にモーダルシフトした場合

3.2 検討を進めるにあたっての必要な条件の設定

(A) 2012年（目標達成年次）における全体のCO₂排出量ならびに京都議定書に基づくCO₂排出削減目標量の推定

この検討にあたっては、まず、その基本量となる2012年（目標達成年次）におけるわが国全体のCO₂排出量および京都議定書に基づくCO₂排出削減目標量を予測する必要がある。

図-4の実線は、1990～2001年までのわが国全体のCO₂排出量（単位：百万トンCO₂、以下同じ）の実績値⁴⁾を示している。同図によれば、CO₂排出量は1996年をピークとして全体的には年々漸減の傾向にある。ここで試みに、1990～2001年までの実績値の推移を最小二乗法で線形近似して2002年以降のCO₂排出量を予測すると、同図の点線のようになる。その場合、2012年におけるわが国全体のCO₂排出量は1,507百万トンとなるが、これを予測値とするのは前述の漸減の傾向から考えると現実的ではない。

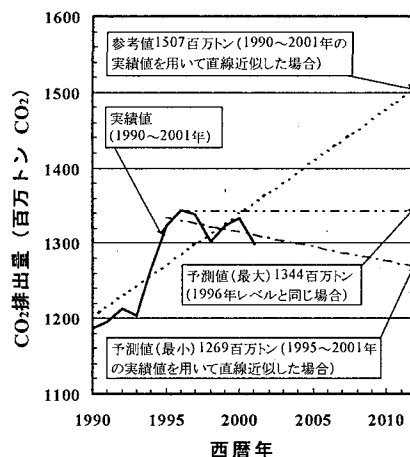


図-4 2012年（目標達成年次）時点における全体のCO₂排出量の予測

そこで、CO₂排出量の増加傾向が鈍化する1995年以降の実績値の推移を最小二乗法で直線近似して2002年以降のCO₂排出量を予測すると同図の一点鎖線のようになり、その場合の2012年におけるわが国全体のCO₂排出量は1,269百万トンとなる。したがって常識的に考えて、ここではこれを予測値の最小値とし、一方、予測値の最大値は、実績値のピーク値である1996年におけるCO₂排出量1,344百万トン（図-4の二点鎖線）とする。それゆえに、これらの予測値と1990年における温室効果ガス排出量の実績値1,235.3百万トン（CO₂換算値）から、京都議定書に基づく2012年時点におけるCO₂排出削減目標量は次のとおり計算される。

① 全体のCO₂排出量予測値の最大値を用いた場合；

$$1,344 \text{ 百万トン} - 1,235.3 \text{ 百万トン} \times (1.00 - 0.06) = 182.82 \text{ 百万トン}$$

② 全体のCO₂排出量予測値の最小値を用いた場合；

$$1,269 \text{ 百万トン} - 1,235.3 \text{ 百万トン} \times (1.00 - 0.06) = 107.82 \text{ 百万トン}$$

(B) 2012年における部門別のCO₂排出源の内訳

ここでは今後、各部門で同じ水準のCO₂排出削減が実施されると仮定し、2012年における部門別のCO₂排出源の内訳は2000年時点と同様として、図-1の数値をそのまま用いることとする。

(C) 2012年における輸送手段別のCO₂排出原単位の仮定

今後、電気や天然ガスを動力源とする低公害車の開発などの技術革新により、自動車関係を中心として各輸送手段のCO₂排出原単位は相当の減少が実現できると予想される。しかし、それらを現時点で数値的に予測することは困難である。そこでここでは、各輸送手段のCO₂排出原単位は2000年時点以上には増大しないものと仮定し、図-3の数値をそのまま用いる。その際、図-3において「営業用貨物車」に該当するのは「営業用小型トラック」と「営業用普通トラック」であり、両者のCO₂排出原単位は前者が830 g-CO₂/トンキロ、後者が174 g-CO₂/トンキロと大きく異なっている。ここでは、営業用貨物自動車による貨物輸送量に関する両者の分担比率が不明であることと、モーダルシフトによるCO₂排出削減効果を過大評価することを避けるため、営業用貨物車のCO₂排出原単位の代表値として、営業用普通トラックの値174 g-CO₂/トンキロを用いることとする。

3.3 モーダルシフトの導入によるCO₂排出削減効果の検討方法

今、運輸機関別CO₂排出割合について、営業用貨物自動車によるものを $a_1\%$ 、内航海運によるものを $a_2\%$ 、鉄道によるものを $a_3\%$ 、営業用貨物自動車による貨物輸送の内航海運または鉄道へのモーダルシフト量を $\Delta a\%$ とする。これらに図-3に示したそれぞれのCO₂排出原単位を乗じたものの和は、モーダルシフト実施前、および前述のCase.1～Case.3に基づくモーダルシフト実施後では、それぞれ次式のようなになる。

$$\text{モーダルシフト実施前；} \quad A_0 = 174 a_1 + 38 a_2 + 21 a_3 \quad (1)$$

モーダルシフト実施後；

$$\text{Case.1；} \quad A_1 = 174(a_1 - \Delta a) + 38(a_2 + \Delta a) + 21 a_3 \quad (2)$$

$$\text{Case.2；} \quad A_2 = 174(a_1 - \Delta a) + 38 a_2 + 21(a_3 + \Delta a) \quad (3)$$

$$\text{Case.3；} \quad A_3 = 174(a_1 - \Delta a) + 38(a_2 + 0.5 \Delta a) + 21(a_3 + 0.5 \Delta a) \quad (4)$$

したがって、モーダルシフト実施後では、式(1)と式(2)～式(4)との比はそれぞれ次式のようなになる。

$$\text{Case.1 による CO}_2 \text{ 排出削減効果；} \quad B_1 = A_1 / A_0 \quad (5)$$

$$\text{Case.2 による CO}_2 \text{ 排出削減効果；} \quad B_2 = A_2 / A_0 \quad (6)$$

$$\text{Case.3 による CO}_2 \text{ 排出削減効果；} \quad B_3 = A_3 / A_0 \quad (7)$$

次に、2012年における運輸部門からのCO₂排出量は、全体のCO₂排出量の最大予測値(CO₂max)および最小予測値(CO₂min)に部門別CO₂排出割合を乗じて、次のように計算される。

$$\text{① 全体の CO}_2 \text{ 排出量予測値の最大値を用いた場合；} \quad \text{CO}_2 \text{max} = 1344 \text{ 百万トン} \times 0.207 = 278.21 \text{ 百万トン} \quad (8)$$

$$\text{② 全体の CO}_2 \text{ 排出量予測値の最小値を用いた場合；} \quad \text{CO}_2 \text{min} = 1269 \text{ 百万トン} \times 0.207 = 262.68 \text{ 百万トン} \quad (9)$$

上式において、営業用貨物自動車、内航海運および鉄道の貨物輸送による CO₂ 排出量の割合は $(a_1+a_2+a_3)$ であるので、**Case.1**～**Case.3** のモーダルシフト実施後の運輸部門からの CO₂ 排出量の最大値 (CO₂max') および最小値 (CO₂min') は、それぞれ次式で表される。

- ① 全体の CO₂ 排出量予測値の最大値を用いた場合；

$$CO_2max'_i = CO_2max \times \{1.0 - (a_1 + a_2 + a_3) / 100\} + \{CO_2max \times (a_1 + a_2 + a_3) / 100\} \times B_i \quad (i=1,2,3) \quad (10)$$

- ② 全体の CO₂ 排出量予測値の最小値を用いた場合；

$$CO_2min'_i = CO_2min \times \{1.0 - (a_1 + a_2 + a_3) / 100\} + \{CO_2min \times (a_1 + a_2 + a_3) / 100\} \times B_i \quad (i=1,2,3) \quad (11)$$

式(8)と式(10)の差、または式(9)と式(11)の差が、モーダルシフトの実施による CO₂ 排出削減量となる。ここで、これらの削減量の京都議定書に基づく 2012 年における CO₂ 排出削減目標量に占める割合をモーダルシフトの実施による CO₂ 排出削減効果とすると、それは次式で表される。

- ① 全体の CO₂ 排出量予測値の最大値を用いた場合；

$$CO_2 \text{ 排出削減効果の比率} = (CO_2max - CO_2max'_i) / 182.82 \text{ 百万トン} \times 100 \quad (\%) \quad (12)$$

- ② 全体の CO₂ 排出量予測値の最小値を用いた場合；

$$CO_2 \text{ 排出削減効果の比率} = (CO_2min - CO_2min'_i) / 107.82 \text{ 百万トン} \times 100 \quad (\%) \quad (13)$$

4 検討結果および考察

4. 1 検討結果

図-5 は、**Case.1**～**Case.3** において、図-2 に示された数値 ($a_1=15.6\%$, $a_2=5.8\%$, $a_3=2.8\%$) および Δa を式(1)～式(13)に与えて計算を行い、 Δa の変化による CO₂ 排出削減効果の変化を示したものである。同図によれば、現行の $a_1=15.6\%$ の営業用貨物自動車による CO₂ 排出源から $\Delta a=1.0\%$ を削減し、その削減分を内航海運にモーダルシフトした場合、京都議定書に基づく CO₂ 排出削減目標値の 1.7%～2.7% が達成できることになる。同様に、営業用貨物自動車の 1.0%分を鉄道にモーダルシフトした場合 1.9%～3.0%が、内航海運と鉄道に等分担にモーダルシフトした場合には 1.8%～2.9%がそれぞれ達成できることになる。

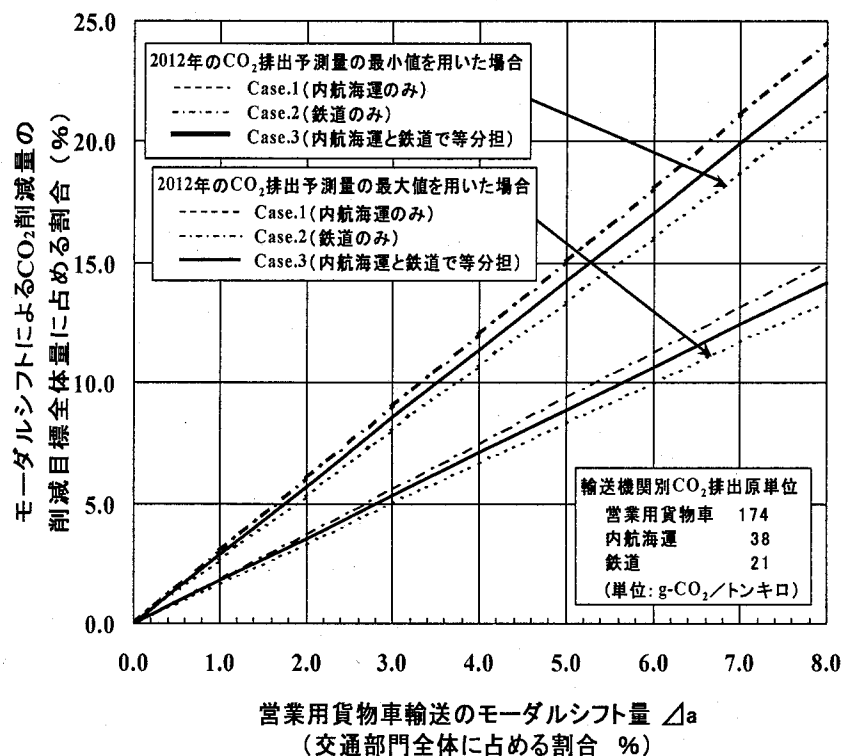


図-5 モーダルシフトによる CO₂ 排出削減効果の検討結果

表-1 は、図-5 のもととなる各式を整理するとともに、特に $\Delta a=4.0\%$ の場合における各ケースの CO₂ 排出削減効果を示したものである。ここで $\Delta a=4.0\%$ の場合とは、具体的には営業用貨物車による現行の貨物輸送量の 1/4 (営業用貨物車による現行の CO₂ 排出源 $a_1=15.6\%$ の 1/4 は、およそ 4.0% に相当する。) を削減し、内航海運のみ、鉄道のみ、および内航海運と鉄道に等分担にモーダルシフトした場合であり、その結果、それぞれ CO₂ 排出削減目標値の 6.7%～10.7%, 7.5%～12.1% および 7.1%～11.4% が達成できることを示している。また、以上の結果から、モーダルシフトは内航海運と鉄道を組み合わせて実施するのが現実的かつ合理的であるように思われる。

表－１ モーダルシフトの導入による CO₂ 排出削減効果の検討結果

	Case.1 (内航海運のみにモーダルシフトした場合)	Case.2 (鉄道のみにモーダルシフトした場合)	Case.3 (内航海運と鉄道に等分担にモーダルシフトした場合)
式(1)	$A_0=2993.6$ ($a_1=15.6\%$, $a_2=5.8\%$, $a_3=2.8\%$, $a_1+a_2+a_3=24.2\%$)		
式(2)～式(4)	$A_1=174(15.6-\angle a)$ $+38(5.8+\angle a)+58.8$ $A_1=2449.6$	$A_2=174(15.6-\angle a)$ $+21(2.8+\angle a)+220.4$ $A_2=2381.6$	$A_3=174(15.6-\angle a)$ $+38(5.8+0.5\angle a)+21(2.8+0.5\angle a)$ $A_3=2415.6$
式(5)～式(7)	$B_1=0.8183$	$B_2=0.7956$	$B_3=0.8069$
式(8)	$CO_{2max}=278.21$ 百万トン		
式(9)	$CO_{2max}=262.68$ 百万トン		
式(10)	$CO_{2max}'=278.21 \times (1.000-0.242) + 278.21 \times 0.242 \times B_{1,2,3}$ (百万トン)		
	$CO_{2max}'=265.98$ 百万トン	$CO_{2max}'=264.45$ 百万トン	$CO_{2max}'=265.21$ 百万トン
式(11)	$CO_{2min}'=262.68 \times (1.000-0.242) + 262.68 \times 0.242 \times B_{1,2,3}$ (百万トン)		
	$CO_{2min}'=251.12$ 百万トン	$CO_{2min}'=249.68$ 百万トン	$CO_{2min}'=250.40$ 百万トン
式(12)	$(CO_{2max}-CO_{2max}')/182.82$ 百万トン $\times 100$ (%)		
(CO ₂ 排出削減効果)	6.7%	7.5%	7.1%
式(13)	$(CO_{2min}-CO_{2min}')/107.82$ 百万トン $\times 100$ (%)		
(CO ₂ 排出削減効果)	10.7%	12.1%	11.4%

４．２ 他部門・他分野における CO₂ 排出削減効果との比較

ここでは次に、図－５および表－１に示されたさまざまな数値が、CO₂排出削減目標の達成という観点からはいかなる意味をもつのかについて考察する。

(Ａ) 一般家庭（民生部門）において CO₂ 排出削減方策（省エネ）を実行した場合との比較

たとえば、一般家庭（民生部門）において CO₂ の排出を省エネルギーによって削減することによる効果を考えてみよう。2012 年における民生部門（家庭系）からの CO₂ 排出量は、全体の CO₂ 排出量の最大予測値および最小予測値に部門別 CO₂ 排出割合を乗じて、次のように計算される。

- ① 全体の CO₂ 排出量予測値の最大値を用いた場合； $CO_{2max}=1344$ 百万トン $\times 0.134=180.10$ 百万トン
- ② 全体の CO₂ 排出量予測値の最小値を用いた場合； $CO_{2min}=1269$ 百万トン $\times 0.134=170.05$ 百万トン

一方、(財)省エネルギーセンターの調べ⁵⁾によると、一般家庭で実現可能な CO₂ 排出削減量は、実践される CO₂ 削減法によっても異なるが、年間 CO₂ 排出量に対して 9.0%～16.1%とされている。そこで、すべての一般家庭で一律に 10.0%の CO₂ 排出削減が実行されたと仮定すると、それによる CO₂ 排出削減効果は次のように計算される。

- ① 全体の CO₂ 排出量予測値の最大値を用いた場合；
CO₂ 排出削減効果の比率 $= (180.10 \text{ 百万トン} \times 0.10) / 182.82 \text{ 百万トン} \times 100 = 9.9\%$
- ② 全体の CO₂ 排出量予測値の最小値を用いた場合；
CO₂ 排出削減効果の比率 $= (170.05 \text{ 百万トン} \times 0.10) / 107.82 \text{ 百万トン} \times 100 = 15.8\%$

上述の試算によれば、たとえば $\angle a=4.0\%$ を内航海運のみにモーダルシフトする Case.1 による CO₂ 排出削減効果 (6.7%～10.7%) は、すべての一般家庭において 10.0%の CO₂ 排出削減努力が実行された場合の CO₂ 排出削減効果 (9.9%～15.8%) の 68%に相当する。同様に、Case.2 (7.5%～12.1%) では 76%、Case.3 (7.1%～11.4%) では 72%に相当する。つまり、Case.1～Case.3 における $\angle a=4.0\%$ （営業用貨物車による現行の貨物輸送量の 1/4）のモーダルシフトの実行は、わが国の総世帯数の約 7 割が、一般家庭においてほぼ実現可能と考えられる 10.0%の CO₂ 排出削減を実行した場合と同等の CO₂ 排出削減効果を発揮するとみなせる。

さらに述べるならば、わが国の総世帯数は 2002 年時点で約 46,000 千世帯であり、将来的には最近の平均世帯人員数の漸減に呼応して、2012 年時点では漸増しているものと推察される。これらの世帯すべてが一律に 10.0%の

CO₂排出削減努力を実践するとは考えにくい。したがって、**Case.1**～**Case.3**における $\angle a=4.0\%$ のモーダルシフトの実行は、実質的には一般家庭においてはほぼ実現可能と考えられる10.0%のCO₂排出削減（省エネ）を実行した場合と同等もしくはそれ以上のCO₂排出削減効果を発揮するとみなせよう。

（B）自家用自動車を天然ガス自動車に転換した場合との比較

次に、同じ運輸部門に属する自家用自動車を、CO₂排出が少なく環境にやさしい天然ガス自動車に転換することによる効果を考えてみよう。2012年における自家用自動車からのCO₂排出量は、全体のCO₂排出量の予測値に部門別CO₂排出割合を乗じ、さらに図-2より自家用自動車のCO₂排出割合57.9%を乗じて次のように計算される。

- ① 全体のCO₂排出量予測値の最大値を用いた場合；CO₂max=1344百万トン×0.207×0.579=161.08百万トン
- ② 全体のCO₂排出量予測値の最小値を用いた場合；CO₂min=1269百万トン×0.207×0.579=152.09百万トン

そこで、自動車メーカーの発表資料等から、天然ガス自動車のCO₂排出量をガソリン自動車の80%（＝CO₂排出削減効果20%）とすると、たとえば、自家用自動車のx%を天然ガス自動車に転換した場合のCO₂排出削減効果は次のように計算される。

- ① 全体のCO₂排出量予測値の最大値を用いた場合；
CO₂排出削減効果の比率=(161.08百万トン×0.20x)/182.82百万トン×100=17.7x (%)
- ② 全体のCO₂排出量予測値の最小値を用いた場合；
CO₂排出削減効果の比率=(152.09百万トン×0.20x)/107.82百万トン×100=28.2x (%)

上記の試算によれば、**Case.1**によるCO₂排出削減効果（6.7%～10.7%）に相当する自家用自動車の天然ガス自動車への転換率は、x=38%となる。同様に、**Case.2**（7.5%～12.1%）では42%、**Case.3**（7.1%～11.4%）では40%となる。つまり、**Case.1**～**Case.3**における $\angle a$

=4.0%のモーダルシフトの実行は、わが国の自家用自動車の約4割を天然ガス自動車に転換した場合と同等のCO₂排出削減効果を発揮するとみなすことができる。

以上の考察から、営業用貨物自動車による貨物輸送の内航海運および鉄道へのモーダルシフトを推進する方策は、一般家庭からのCO₂排出削減や自家用自動車の天然ガス自動車への転換といった方策と比較して、CO₂排出削減効果がより効率的であり、京都議定書に基づくCO₂排出削減目標の達成に大きく貢献するといえる。

5. 結 語

本研究によって得られた知見を要約すれば、次のようである。

- 1) 営業用貨物自動車による貨物輸送の一部を内航海運や鉄道による輸送へモーダルシフトする方策は、たとえば、現行の営業用貨物車による貨物輸送量の1/4を内航海運のみ、鉄道のみ、および内航海運と鉄道に等分担にモーダルシフトした場合、全国の一般家庭から10.0%のCO₂排出削減を実行した場合と同等もしくはそれ以上のCO₂排出削減効果を発揮する。
- 2) 上記1)のモーダルシフトはまた、自家用自動車の約4割を環境にやさしい天然ガス自動車に転換した場合と同等のCO₂排出削減効果を発揮する。このようにモーダルシフトによるCO₂排出削減効果は非常に効率的であって、京都議定書に基づくCO₂排出削減目標の達成に大きく貢献するといえる。
- 3) モーダルシフトは、内航海運のみや鉄道のみといった単独ではなく、両者を組み合わせて実施するのが現実的かつ合理的であると思われる。

参考文献

- 1) 環境省編：平成14年度版環境白書，ぎょうせい，2002。
- 2) 環境省編：平成15年度版環境白書，ぎょうせい，2003。
- 3) 国土交通省編：平成15年度版国土交通白書，ぎょうせい，2004。
- 4) 全国地球温暖化防止活動推進センター：<http://www.jccca.org/more/benri/science.html>
- 5) (財)省エネルギーセンター：<http://www.eccj.or.jp/index.html>