

15. 運輸交通部門からの CO₂ 排出削減のための 施策オプションとその目標設定

Policy Options and its Target Value Setting for Reducing CO₂ Emission from Transport Sector

林 良嗣* ・ 中村 英樹* ・ 加藤 博和* ・ 丸田 浩史*

Yoshitsugu HAYASHI, Hideki NAKAMURA, Hirokazu KATO and Hiroshi MARUTA

ABSTRACT; CO₂ emission from transport sector is drastically increasing, and this trend will never change without any appropriate countermeasures against that. Policies relating to reduction of CO₂ emission from transport sector are categorized by 1) stage in environmental influence mechanism, and 2) their method. On the other hand, a target value of CO₂ emission from Japanese urban passenger transport in 2010 is assumed to be the same level as that in 1990. Its value is estimated by population size of city, considering differences of transport properties and its effects on CO₂ reduction. Furthermore, required amount of each policy option for achieving the target value is calculated. Consequently, it is found that 1) no single policy option is effective, even if vehicle fuel consumption efficiency would be drastically improved, that results in necessity of combining various policy options, 2) effective measures in small cities is essential, whose transport activities are strongly dependent on automobiles and that cause about 80% of total CO₂ emission from urban passenger transport.

KEYWORDS; Global environmental policy, Transport sector, Size of city, Top-down policy options

1. はじめに

運輸交通起源の CO₂ 排出は、その絶対量・シェアともに、他の人間諸活動と比較して世界的に増加してきている。またこの傾向は、何らかの施策を実施しない限り、今後も続くことが確実である。日本もその例外ではなく、1974 年から 94 年までの 20 年間で見ると、全部門の CO₂ 排出総量が約 26% 増であるのに対し、運輸交通部門では約 89% も増加しており、他の部門から突出している¹⁾。この増加のほとんどは、モータリゼーション進展に伴う自動車走行台キロの増加によってもたらされている。さらにこの増加傾向は将来も続き、著者らの推計²⁾によれば、今後 CO₂ 削減に配慮した運輸交通政策を特に実施しないまま、輸送総量が 1980~94 年の増加傾向で推移した場合、2010 年の運輸交通起源 CO₂ 排出量は、1990 年比で約 40% も増加する。このため、運輸交通部門の CO₂ 削減対策の提案と実施が焦眉の急である。

一方、1997 年 12 月の COP3 京都会議において、日本は 2010 年における CO₂ 排出量の 1990 年比 6% 削減を国際公約した。これによって CO₂ 削減に関するトップダウン的な目標設定はなされたものの、具体的・政策的裏付けが十分になされているとは言い難い。各部門でどの程度 CO₂ 削減政策を実施する必要があるかという具体的目標にブレークダウンし、さらに各部門で実施可能な施策群をリストアップして、それらの適切な組み合わせを検討するというアプローチをとることが急務である。国際的にも、OECD の汚染防止・

*; 名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻 Dept. of Geotechnical and Environmental Engineering, Nagoya Univ.

制御グループ(PPCG)交通部会が、Environmentally Sustainable Transport の実現に向けた CO₂等削減の施策パッケージの検討を行っており、同様のアプローチがとられている³⁾。

そこで本研究は、特に運輸交通起源 CO₂排出量の約半分²⁾を占める都市内旅客輸送を対象として、排出削減施策オプションを網羅的に整理し、かつ各施策についてそれぞれどの程度実施する必要があるかの目標を明らかにすることを目的とするものである。そのために、まず仮に運輸交通部門の CO₂排出量目標を「2010年時点で1990年比増減なし」と設定する。そして、この目標を実現するための施策パッケージ提案のプロセスとして、1)考えられる施策をリストアップし、それが CO₂削減に及ぼすメカニズムを把握する、2)削減目標達成のために必要な各施策の実施量を求める、3)各施策実施の費用対効果や実行可能性を考慮して具体的な施策パッケージを提案する、という3段階を考え、本研究ではこのうち1)および2)を取り扱うものである。

2. 運輸交通起源の CO₂排出の因果フローと施策の位置付け

従来、CO₂削減をはじめとした環境改善施策は、運輸交通部門に限らず、その手法、例えば自動車技術、インフラ整備・運用、直接規制といった区分で分類・整理されることが多かった。これは、環境改善施策が既往の学問・産業カテゴリごとに提案されてきたことを考えれば自然ななりゆきである。しかし一方で、環境問題は既存のカテゴリに対して横断的に発生するものであるがゆえに、単に手法的に捉えるだけでなく、各施策の効果や副作用が互いにどう及ぼしあうのかを全体として理解しておくことが重要である。

そこで、まず、ある地域における運輸交通起源の CO₂排出量 E を、以下の式(1)で特定化する。

$$E = \sum_m e_m \cdot (1/n_m) \cdot l_m \cdot s_m \cdot a \cdot x \cdots \cdots (1)$$

ここで、 e_m ：交通機関 m の CO ₂ 排出量原単位 [t-C/台(車両)km]	(発生源要因)
n_m ：交通機関 m の平均乗車人員 [人/台(車両)]	(交通要因)
l_m ：交通機関 m の平均トリップ長 [人 km/トリップ]	(交通要因)
s_m ：交通機関 m の分担率 [トリップ/トリップ]	(交通要因)
a ：トリップ生成原単位 [トリップ/人(GDP)]	(交通要因)
x ：旅客輸送の場合は人口、貨物輸送の場合は実質 GDP	(交通発生要因)

この式の $a, s_m, (1/l_m), n_m, e_m$ の各変数の値を低下させるように作用するのが CO₂削減施策である。その作用のしかたは、(1)これらの各変数を直接変化させる、(2)各変数の決定要因を変化させる、(3)変数決定要因を規定する社会経済構造を変化させる、という3段階に分けられる。そこで本研究では、これらの段階を<交通現象><原因><背景>と呼ぶ。さらに CO₂排出による<環境インパクト>とそれによって生じる<国内的・国際的社会問題>を加えた5段階に整理して、運輸交通起源の CO₂排出の因果フローを作成したのが図1(a)である。このフローによって、各施策がどの段階のどの要因(変数)に対して作用するかを把握することができる。

一方、施策を手法的に分類すると以下になる¹⁾。

1) 技術施策：単位輸送量あたり CO₂排出を抑えたり、輸送量自体を直接的に削減する方法

1a)発生源施策(自動車技術)：車両について、エネルギー消費効率の向上、および CO₂排出の少ないエネルギーの使用やエネルギー変換方法の導入により、直接的に削減を図る方法

1b)交通施策：交通施設の整備・改善(インフラ技術)、需要の平準化等の各種交通管理(マネジメン

ト技術)により、道路交通の円滑化やモーダルシフトの促進を図り、単位輸送量あたりのCO₂排出を抑制したり、交通量自体の削減を行う方法

1c)都市構造・土地利用施策：交通発生を規定する都市や土地利用そのものに作用し、都市内渋滞緩和や交通量抑制を行う方法

2) 制度施策：各種技術施策の推進や、CO₂排出の大きい活動の抑制を、制度的に強制・誘導する方法

2a)法的施策：法令・規制等によって、施策を強制的に実施させる方法

2b)経済的施策：強制を伴わず、CO₂排出が大きい選択をすると金銭的負担が大きくなるように選択肢間に経済的格差をつけることによって誘導する方法

3) 啓発施策：教育やPR等により、環境影響の重大さや削減政策の必要性を啓発する方法

この中でも従来特に実施・検討されてきたのは1a)発生源施策である。これは、この方法が最も効果的かつ受容性の高い施策であるためである。しかし発生源施策だけでは限界があることは従来のCO₂排出量増加傾向を見れば明らかであり、今後は多面的な施策実施が求められている。

ここまでで示した、「環境影響メカニズムの段階」と「手法の分類」という2次元のマトリックスに各種施策を割り付けて表現したものが図 1(b)である。表中のアルファベット記号は、図 1(a)中の各要因のどれに作用するかを示している。このように整理すると、例えば、経済的施策に分類される自動車関連税制の中でも、取得・保有段階での賦課は<原因>の抑制に作用するが、燃料税・炭素税といった車の利用段階での賦課は<交通現象>に直接作用する、という差異が明快に認識できる。さらに、新たな施策提案がなされた場合にも、既提案施策との関係が容易に位置づけられる。

3. 都市内旅客輸送による CO₂ 排出削減目標値の都市規模別推計

次に、冒頭で設定した「2010 年における CO₂ 排出量を 1990 年値に抑える」という目標を達成するために必要な削減量、およびそのための施策実施必要量を試算する。

3.1 削減目標値の試算の考え方

「2010 年における CO₂ 排出量を 1990 年値に抑える」ために必要な 2010 年時点の必要削減量は、何も政策を実施しない場合の 2010 年 CO₂ 排出量と、1990 年 CO₂ 排出量との差である。その値を把握するために、まず、1990 年および 2010 年の CO₂ 排出量を推計する。

必要削減量推計および削減施策提案にあたって注意すべき点は、都市の交通特性、特に公共交通機関の導入可能性の相違である。例えば、自動車から鉄道へのモーダルシフトは、特定 OD でまとまった交通需要がある大都市圏では有効な施策であるが、人口密度の低い地域では効果的でない、といったことである。そこで本研究では、このような都市交通特性の違いは都市の人口規模と相関関係にあると考え、全国の市町村を人口規模によって、1)東京 23 区、2)東京 23 区を除く人口 50 万人以上の大都市、3)人口 10~50 万人の中都市、4)人口 10 万人以下の小規模の市町村、の 4 つの都市群に区分し、各都市群別に都市内輸送 CO₂ 排出量を推計する。推計手法の概略は以下の通りである。詳細については別稿²⁾を参照されたい。

基本的には(1)式の各変数を決定することによって推計する。各都市群の人口増減は過去の傾向から予測し、1人あたり交通発生量 a を乗じて全機関総輸送人数を求める。これに交通機関分担率 s_m 、機関別平均トリップ長 l_m (1992 年に実施された第 2 回全国都市パーソントリップ調査⁴⁾から計算した値を用いる)を乗じて、機関別輸送人キロを算出する。交通機関は自動車および鉄道を想定する。さらに、機関別(自動車は車種別)の人キロあたり CO₂ 排出原単位^{2),5)}を乗じて、機関別 CO₂ 排出量を推計する。ここで人キロあた

表 1 都市規模別 CO₂ 排出量およびその増加率の推計結果

都市群 (都市数)	1990 年		2010 年							
	総量 [kt-C/ 年]	1 人あ たり [t-C/人・ 年]	Do Nothing				20%燃費改善			
			総量		1 人あたり		総量		1 人あたり	
			[kt-C/ 年]	対 1990 年増加 率[%]	[t-C/人・ 年]	対 1990 年増加 率[%]	[kt-C/ 年]	対 1990 年増加 率[%]	[t-C/人・ 年]	対 1990 年増加 率[%]
東京 23 区 (1)	1,072 (4.8%)	0.133	1,246 (3.8%)	18.2	0.172	29.5	1,052 (4.0%)	-0.3	0.146	9.3
大都市 (19)	3,922 (17.4%)	0.175	5,850 (17.9%)	51.6	0.240	37.2	4,799 (18.1%)	24.3	0.197	12.5
中都市 (193)	7,632 (33.9%)	0.188	11,555 (35.3%)	35.3	0.255	36.0	9,381 (35.4%)	24.9	0.207	10.4
小都市 (3,018)	9,897 (43.9%)	0.192	14,041 (42.9%)	42.9	0.262	36.8	11,248 (42.5%)	15.5	0.210	9.6
全都市 旅客合計	22,523 (100%)	0.183	32,692 (100%)	47.5	0.251	36.6	26,480 (100%)	19.5	0.203	10.7

り原単位を用いるのは(1)式と異なっているが、これは原単位データの制約によるものであり、それゆえに 1 台（車両）あたり平均乗車人数 n_m は明示的に扱っていない。

このようにして推計された値を、別途推計した全国の旅客輸送による CO₂ 排出総量に占める割合が変化しないように補正を行い、1990 年および 2010 年予測値を推計する。

3.2 削減目標値の試算結果

1990 年および 2010 年における都市内旅客輸送による CO₂ 排出量推計値を表 1 に示す。2010 年推計値は、a) CO₂ 排出量原単位が現状と変化しない場合(Do Nothing)、b)技術目標として現実的と考えられる、自動車燃費（CO₂ 排出量原単位）が 1990 年比で 20%改善された場合、の 2 ケースについて試算している。

まず、1990 年値について見ると、総量については人口 50 万人以上の大都市が全国に占める割合は 2 割強に過ぎず、残りを中・小都市が占めている。このことは、大都市のみならず、その周辺都市や地方における施策実施の必要性を強く示唆している。1 人あたり排出量では中・小都市においてほぼ同じ値で、大都市がその約 9 割、東京 23 区が約 7 割の値となっている。これは、大都市ほど公共交通利用率が高いことがその理由である。

2010 年における全国の Do Nothing での CO₂ 排出量は、1990 年比で 47.5%増加している。また、1 人あたりにすると 36.6%の増加である。増加率を都市群別に見ると、自動車分担率の高い中・小都市において総量・1 人あたりともに高く、人口が漸減する東京 23 区では低い。また、20%燃費改善の場合には、全国総量は 19.5%、1 人あたりでは 10.7%と、増加率がかなり抑えられることが分かる。特に東京 23 区は、燃費改善のみで目標値が達成される。またその効果は、鉄道がほとんど存在しない小都市が最も大きい。

このように、都市内旅客輸送による CO₂ 排出量やその増加率は、都市の人口規模により大きく異なっている。これは、直接的には(1)式の各変数の値や変化量が都市群間で異なることによるものであり、その背景には、図 1(a)のフローで示した諸要因の相違がある。なお、1 人あたり CO₂ 排出量の全国平均値は、1990 年および 2010 年の Do Nothing・20%燃費改善のいずれの場合も、大都市と中都市の値の間にあり、その境界の 50 万人規模の都市が全国平均レベルに位置することが分かる。

3.3 都市規模別 CO₂ 排出量削減目標値の設定基準と施策実施量目標の試算

試算された CO₂ 必要削減量を全国トータルで削減するにあたって、各都市群への削減量の割り当てに関してはさまざまな基準が考えられる。ここでは以下の 3 つの基準を設定し、それぞれについて各都市群の必要削減量を推計する。

① 排出増加ゼロ基準：各都市（群）における排出量増加分を、その都市（群）が自己責任としてそのまま削減する。人口増加の大きい都市群にとっては厳しい基準である。

② 排出量一律基準：人口 1 人あたり排出量が全国で一律となるよう、各都市（群）でそれぞれの必要量を削減する。CO₂ 排出量の観点からは公平であるが、輸送量が少なく自動車依存傾向の強い中・小都市には厳しい基準である。

③ 削減率一律基準：全国平均の必要削減率で、都市群によらず一律に削減する。都市規模による効率の相違のバランスを維持する考え方である。大都市のように自動車分担率が低い都市群ほど削減の余地が少ないため、これらの都市群にとっては厳しい基準といえる。

さらに、各基準によって試算される CO₂ 必要削減量を実際に削減するために、各種の施策オプションを単独で実施する場合に必要な施策実施量目標を、式(1)の各変数を操作することによって求める。

以上の結果求められた、各基準の場合に必要な CO₂ 削減量と各種施策実施量を、それぞれ表 2～表 4 に示す。ただしこれらの数値は、2010 年に自動車燃費の 1990 年比 20%改善が達成されていることを前提としている。東京 23 区は、燃費改善のみで削減が達成されるため、排出増加ゼロ基準（①）および排出量一律基準（②）の場合、追加的に施策を実施する必要はない。

施策オプションとしては自動車からの CO₂ 排出抑制を考え、1a)発生源施策として電気自動車の普及（電気自動車の CO₂ 原単位を参考文献6）のデータを参考に推計する）、1b)交通施策として、TDMによる自動車トリップ長（あるいはトリップ数）の削減、相乗り奨励やHOV（相乗り専用）レーンの設置による平均乗車人数の向上、公共交通整備・改善によるモーダルシフトの 4 種類を想定する。

まず、表 2 の排出増加ゼロ基準（①）では、人口増加が大きい大都市・中都市で必要削減率が高い。そのため、例えば大都市で鉄道へのモーダルシフトのみで削減を達成するためには、自動車交通量の 23%もの転換が必要である。このように、単独の施策で削減を達成することは困難である。しかし、各種政策を組

表 2 ①排出増加ゼロ基準による
都市規模別各種施策オプション目標値

施策		都市規模 (都市数)	東京 23 区 (1)	大都市 (19)	中都市 (193)	小都市 (3,018)
		必要 CO ₂ 削減率	(-2%)	18%	19%	12%
発生源		電気自動車率	—	35%	34%	20%
交通	交通量抑制	自動車トリップ長（数）削減率	—	20%	20%	12%
	輸送効率向上	平均乗車人数増加率	—	1.25 倍	1.24 倍	1.13 倍
	モーダルシフト	自動車→鉄道転換率	—	23%	22%	—
		自動車→バス転換率	—	28%	27%	16%

表 3 ②排出量一律基準による
都市規模別各種施策オプション目標値

施策	都市規模 (都市数)		東京 23 区 (1)	大都市 (19)	中都市 (193)	小都市 (3,018)
	必要 CO ₂ 削減率		(-18%)	12%	17%	18%
発生源		電気自動車率	—	23%	30%	30%
交通	交通量抑制	自動車トリップ長（数）削減率	—	14%	18%	17%
	輸送効率向上	平均乗車人数増加率	—	1.16 倍	1.21 倍	1.21 倍
	モーダルシフト	自動車→鉄道転換率	—	15%	20%	—
		自動車→バス転換率	—	19%	24%	24%

表 4 ③削減率一律基準による
都市規模別各種施策オプション目標値

施策		都市規模 (都市数)	東京 23 区 (1)	大都市 (19)	中都市 (193)	小都市 (3,018)
		必要 CO ₂ 削減率	一律 15%			
発生源		電気自動車率	34%	29%	27%	25%
交通	交通量抑制	自動車トリップ長（数）削減率	20%	17%	16%	15%
	輸送効率向上	平均乗車人数増加率	1.25 倍	1.20 倍	1.19 倍	1.17 倍
	モーダルシフト	自動車→鉄道転換率	22%	19%	18%	—
		自動車→バス転換率	27%	23%	22%	20%

み合わせて実施すれば決して不可能な目標ではない。

一方、表 3 の排出量一律基準 (②) においては、CO₂ 排出量目標値が全国一律 0.173 t-C/人・年となる。この場合は、中・小都市にとって厳しい条件が課せられる。しかしこれらの都市では公共交通への転換は困難であり、目標達成のためには交通量自体を大幅に削減し、モビリティを犠牲にせざるを得ない。これは非現実的な目標設定である。

これに対して、表 4 の削減率一律基準 (③) の場合には、もともと公共交通利用が多く、自動車から削減する余地の小さい大都市部で、中・小都市と比較して、必要な施策実施の率がより大きくなっている。しかし大都市では公共交通整備の効果が大きく現れると考えられるため、他の 2 つの基準よりも実行可能性は高いものと考えられる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、日本の運輸交通部門における CO₂ 排出量の削減施策をその手法によって分類するとともに、施策が環境影響メカニズムのどの段階に作用するかについて整理を行った。

一方、都市内旅客輸送を対象に、CO₂ の削減目標を「2010 年時点で 1990 年比増減なし」と設定し、必要削減量の試算を行った。そして、必要削減量を人口規模別の都市群に割り振り、それを達成するために必要な各種施策の実施目標を試算した。その結果、単一の施策で CO₂ 削減目標を達成することは極めて困難で、複数の施策オプションを組み合わせた施策パッケージの提示を行うことが必要であることを明らかにした。本研究で設定した施策実施量の目標値は、その際の参考資料としても有用である。

また、CO₂ 排出量を都市規模別に見ると、人口 50 万人以上の中・小都市の割合が約 8 割と非常に高いことも明らかになった。このような都市では公共交通整備・改善が困難であるなど、削減施策も限られてくるため、新たな効果的政策の提示について検討する必要がある。

今後の課題としては、まず、割り当て基準が「トップダウン的」であるがゆえに、「費用対効果」という重要な視点が抜け落ちていることが挙げられる。実行可能な削減施策パッケージを提案する場合には、各施策の実施費用と、それによる CO₂ 削減効果の感度を評価した上で選択する必要がある。また、本研究で目標設定を行った施策オプションは、発生源対策や交通施策のうちでも、環境影響メカニズムの＜交通現象＞に直接的に作用するものであり、土地利用・都市構造施策や制度施策のようなく背景＞や＜原因＞に作用する施策オプションについては扱っていない。これにあたってもやはり、図 1(a) のメカニズムを定式化し、施策実施による CO₂ 削減量への感度を調べる必要がある。

さらに、本研究における試算値はすべて、各交通機関・各車種の CO₂ 排出原単位 e_m が一定であるとの仮定の下で推計されたものである。しかし実際には、自動車の場合は旅行速度によってその値が変化するため、モーダルシフトや道路網整備などのように旅行速度を変化させる施策の評価に際しては、これを組み込むことも必要である。

参考文献

- 1) 都築啓輔、中村英樹、加藤博和、林良嗣：運輸起源の CO₂ 排出削減に向けた交通施策の目標設定型アプローチ、土木計画学研究・講演集 No.20(2)、pp.145-148、1997.11.
- 2) 林良嗣：地球温暖化に対する運輸施策メニューの体系的整理の一提案、季刊 MOBILITY 第 107 号、pp.2-14、1997.4.
- 3) OECD, PPCG Task Force on Transport: Scenarios for Environmentally Sustainable Transport, Report on Phase 2 of a Project on EST, 1997
- 4) 建設省都市局都市交通調査室：第 2 回全国都市パーソントリップ調査－現況分析編一、1993.3.
- 5) (財)運輸経済研究センター：環境と運輸・交通－環境にやさしい交通体系をめざして、1994.
- 6) 日産自動車(株)社会・商品研究所：自動車交通 1997