

低炭素社会における交通需要マネジメント*

～都市間旅客交通部門を対象にして～

On introducing Demand Management to Japanese Inter-city Passenger Transport*

奥田隆明**

By Takaaki OKUDA**

1. はじめに

地球温暖化問題が深刻化する中、わが国を含めた先進国では明確な CO2 排出削減目標を定め、これを積極的に達成する取組みが求められている。このとき、中長期的に CO2 排出を半減させる、先進国ではこれ以上の CO2 排出削減を実現すると言った厳しい環境目標を達成するには、もはや CO2 排出削減が可能な他の部門（他の国や地域を含む）にこれを肩代わりしてもらうような取組みだけでは十分でなく、それぞれの部門において自ら CO2 排出削減を実現する取組みを実施することが重要であると考えられる。

他方で、日本の都市間旅客交通部門では、近年、規制緩和と政策の推進によって交通サービス水準が向上し、これに伴う交通需要の増大が CO2 排出を増加させている。こうした背景には、非日常的な交通が中心となるこの部門では、日常的な交通が中心となる都市内旅客交通部門に比べて CO2 排出量が少ないことも積極的な取組みが実施されなかった一つの原因であると考えられる。しかし、今後、CO2 排出削減の問題が深刻化する中で、この部門でも明確な CO2 排出削減目標を設定した上で、これを積極的に達成する取組みが重要になるものと考えられる。

都市間旅客交通部門における CO2 排出削減については、これまでも多くの研究が行われてきた¹⁾。特に、EU ではこうした研究成果に基づき、具体的な対策が実施されようとしている（例えば、EU では 2011 年から航空部門での排出権取引が実施される予定である）。他方、わが国では、鉄道や航空機等、交通手段の特性に焦点をあてた供給サイドの対策については幾つか研究が行われてきているものの、需要サイドの対策については必ずしも十

分な研究が行われてきているとは言えない。今後、中長期的に CO2 排出量を半減させると言うような厳しい環境制約に基づいて議論を進める場合には、もはや供給サイドの対策だけでは十分でなく、これを需要サイドの対策と適切に組合せて実施していくことが必要であると考えられる。

そこで、本研究では、わが国の都市間旅客交通部門で明確な CO2 排出削減目標を設定した上で、これを達成するための交通需要マネジメント手法の一つとして排出権取引を取上げ、こうした交通需要マネジメントが国内各地域の交通利用者に与える影響を定量的に評価する影響評価モデルを開発することを目的とする。以下、2. では本研究で分析する排出権取引について説明し、3. では、排出権取引の影響を事前に評価するための影響評価モデルを提案する。

2. 都市間旅客交通部門における排出権取引

(1) 国内排出権取引

特定の国や地域、さらに特定の部門を対象にした排出権取引は国内排出権取引(Domestic Tradable Permits)と呼ばれ、これまでも欧米を中心に多くの研究が行われてきた²⁾。これらの研究によって、社会的に最小の費用で CO2 排出削減目標を達成できること、環境税に比べると受容性が高いこと、取引主体が増えるとモニタリング費用が増加すること、しかし、環境税や上流での排出権取引と組合せることによってこうした問題を回避できること等が指摘されてきている³⁾。

また、国内排出権取引は国や地域、部門の特性に応じてさまざまな制度設計が可能である²⁾。都市間旅客交通部門を対象とした国内排出権取引についても、1)燃料の製造段階、2)交通サービスの供給段階、3)交通サービスの需要段階など、各段階で排出権取引を行うことが考えられる⁴⁾⁵⁾⁶⁾。しかし、上流での排出権取引は燃料や交通サービスの価格に転嫁され、最終的には下流に位置する

*キーワード：排出権取引、都市間旅客交通、TDM

**正員、博士(工学)、名古屋大学大学院環境学研究所

(愛知県名古屋市千種区不老町、

TEL052-789-4654、FAX052-789-1462)

交通利用者に影響が及ぶことになる。また、下流での排出権取引の方が CO2 排出の原因者である交通利用者に直接 CO2 排出削減の強いインセンティブを付与できる³⁾。こうした観点から、本研究では交通利用者を対象にした下流での排出権取引を取上げて分析を試みることにする。

(2) 本研究で分析対象とする排出権取引

図-1 は本研究で分析する排出権取引の具体的な内容を示したものである。2 人の交通利用者は、航空、鉄道、自動車を利用して周辺都市を訪問し、これによって一定期間に図の CO2 を排出しているものとする。他方で、都市間旅客交通部門全体で CO2 排出削減目標を設定し、排出可能な CO2 量に相当する排出権を各交通利用者に割当てておくものとする。このとき、排出権の初期配分についてはグランドファザリングの考え方にに基づき⁷⁾、各交通利用者の CO2 排出量に応じて排出権の割当てを行うものとする。

ところが、交通利用者 1 のように比較的容易に CO2 排出削減ができる利用者もいれば、交通利用者 2 のように CO2 排出削減が困難な利用者も存在する。そのため、排出権の取引市場を開設し、排出権の売買を行う。つまり、CO2 排出削減の容易な交通利用者 1 は CO2 排出削減により余った排出権を市場で売却し、これによって収入を得られるようにする。また、CO2 排出削減が困難な交通利用者 2 は市場から排出権を購入すれば、割当てられた排出権を超えて CO2 排出を行うことができるものとする。そして、排出権取引市場では、こうした排出権の需要と供給が一致するように排出権の価格を決定するものとする。

(3) 影響分析の視点

では、こうした排出権取引をわが国の都市間旅客交通部門で実施した場合、交通利用者にはどのような影響が発生するであろうか？排出権取引が導入されると、交通利用者は CO2 排出量の多い交通手段を利用すると多くの排出権が必要になるため、できる限り CO2 排出量の少ない交通手段を利用することになる。また、CO2 排出量の多い交通手段しか利用できない場合には、当該都市への訪問回数を減らすことが考えられる。したがって、CO2 排出量の少ない交通サービスが提供されている地域とそうでない地域では、交通利用者に対する影響が異なるものと予想される。本研究では、わが国の都市間旅客幹線部門でこうした排出権取引を実施した場合、交通利用者への影響が地域によりどの程度異なるのかを明らかにし、こうした影響を緩和する政策を考える上での第一歩とする。

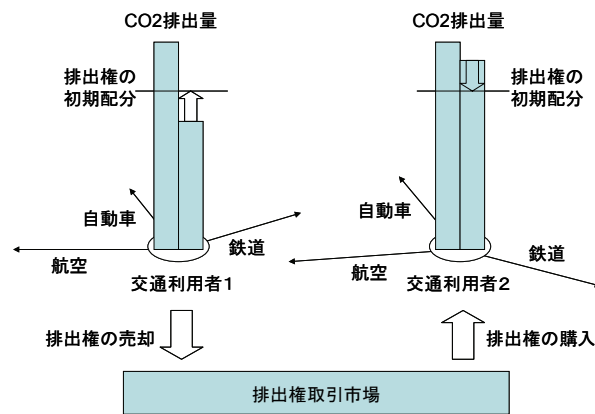


図-1 都市間旅客交通部門における排出権取引

3. 影響評価モデルの開発

(1) 基本的考え方

本研究では、わが国の都市間旅客交通部門に排出権取引を導入した場合に、国内各地域の交通利用者にはどのような影響が発生するのかを分析する影響評価モデルを開発する。このとき、国内を複数の地域に分割し、各地域に代表的な交通利用者を仮定する。本来、同一地域には需要特性の異なる複数の交通利用者が存在するものと考えられるが、本研究では地域間の需要特性の違いを考慮することに力を置き、地域内の需要特性の違いについては捨象する。また、任意の 2 地域間には交通サービスが供給されており、各地域の交通利用者の消費行動から交通需要関数を導出する。このとき、都市間旅客交通を対象とした交通需要関数については、これまでにも多くの分析モデルが提案されてきており⁸⁾、本研究ではこうした交通需要モデルを基本にしながら、排出権取引の影響を分析する新たな交通需要モデルを開発する。

通常交通需要モデルでは、所要時間や料金等の交通サービス水準から交通需要を求める。しかし、排出権取引の影響を分析するためには、交通需要と同時に排出権の需要と供給を求める必要がある。本研究では、消費者行動理論に基づいて交通需要とこれに派生する排出権の需要及び供給を導出する。また、排出権取引市場では需要と供給が一致するように排出権価格が決定され、これが交通利用者の行動にも影響を与えることになる。そこで、本研究では、排出権取引市場という実存しない市場を仮想的に想定し、この仮想的な市場で排出権価格が決定されるメカニズムを内生化するのを試みる。

(2) 交通サービスの消費

各地域の交通利用者の行動を消費者行動理論に従って

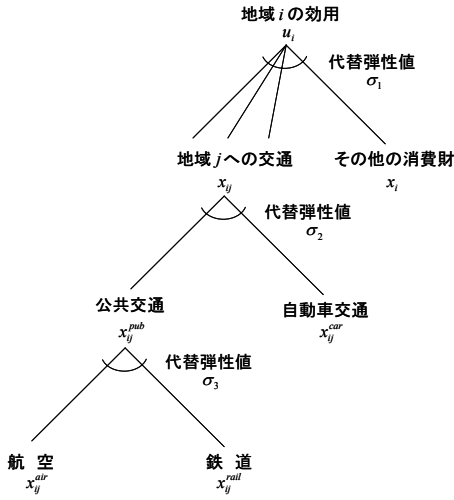


図-2 効用関数

導出するために、各地域の交通利用者が図-2 に示すような CES 型効用関数を持つものと仮定する。このとき、消費財は交通サービスと交通サービス以外の消費財に分類され、さらに交通サービスは訪問する地域毎に分類されるものとする。また、地域 j を訪問するための交通サービスには、航空サービス、鉄道サービス、自動車サービスの3種類が存在するものとする。このとき、地域 j を訪問するための航空サービスと鉄道サービスは CES 型関数で結合され、その合成財として公共交通サービスになるものとする。また、地域 j を訪問するための公共交通サービスと自動車交通サービスも CES 型関数で結合され、地域 j への交通サービスとなる。さらに、それぞれの地域への交通サービスと交通サービス以外の消費財も CES 型関数で結合されるものとする。こうした多段階 CES 型関数は次のように表される。

$$u_i = \left\{ \sum_j \alpha_{ij} \frac{1}{\sigma_1} x_{ij}^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} + \alpha_i \frac{1}{\sigma_1} x_i^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} \right\}^{\frac{\sigma_1}{\sigma_1-1}} \quad (1)$$

$$x_{ij} = \left\{ \alpha_{ij}^{pub} \frac{1}{\sigma_2} x_{ij}^{pub \frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} + \alpha_{ij}^{car} \frac{1}{\sigma_2} x_i^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} \right\}^{\frac{\sigma_2}{\sigma_2-1}} \quad (2)$$

$$x_{ij}^{pub} = \left\{ \alpha_{ij}^{air} \frac{1}{\sigma_3} x_{ij}^{air \frac{\sigma_3-1}{\sigma_3}} + \alpha_{ij}^{rail} \frac{1}{\sigma_3} x_i^{\frac{\sigma_3-1}{\sigma_3}} \right\}^{\frac{\sigma_3}{\sigma_3-1}} \quad (3)$$

ここで、 $\alpha_{ij}, \alpha_i, \alpha_{ij}^{pub}, \alpha_{ij}^{car}, \alpha_{ij}^{air}, \alpha_{ij}^{rail}$: CES 型関数のシ

フトパラメータ

次に、それぞれの交通サービスの価格としては、次の交通一般化費用 c_{ij}^k を用いることにする。

$$c_{ij}^k = w_i t_{ij}^k + f_{ij}^k \quad (4)$$

ここで、 t_{ij}^k : 交通時間、 w_i : 時間価値、 f_{ij}^k : 走行費用や料金等、時間費用以外の費用

また、地域 i の交通利用者に割当てられた排出権 \tilde{E}_i は次のようになる。

$$\tilde{E}_i = (1 - \alpha) \bar{E}_i \quad (5)$$

$$\bar{E}_i = \sum_j \sum_k e_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k \quad (6)$$

ここで、 α : 都市間旅客交通部門全体での CO2 排出削減率、 \tilde{E}_i : 排出権取引制度導入前の CO2 排出量、 \bar{x}_{ij}^k : 排出権取引導入前の交通需要、 e_{ij}^k : 1 トリップ当りの CO2 排出量

交通利用者の予算制約については、排出権を売却する場合と、排出権を購入する場合に分けて考える。まず、排出権を売却する場合には、保有する排出権の方が交通サービスの消費に伴う CO2 排出量より多く、排出権市場に価格 r でその差に相当する排出権を売却することができる。そのため、予算制約式は次のようになる。

$$\sum_j \sum_k c_{ij}^k x_{ij}^k + p x_i \leq I_i + r \left(\tilde{E}_i - \sum_j \sum_k e_{ij}^k x_{ij}^k \right) \quad (7)$$

ここで、 p : その他の消費財の価格、 I_i : 地域 i の消費者の所得

次に、排出権を購入する場合には、交通サービスの消費に伴う CO2 排出量の方が保有する排出権より多く、排出権市場から価格 r でその差に相当する排出権を購入しなければならない。そのため、予算制約式は次のようになる。

$$\sum_j \sum_k c_{ij}^k x_{ij}^k + p x_i + r \left(\sum_j \sum_k e_{ij}^k x_{ij}^k - \tilde{E}_i \right) \leq I_i \quad (8)$$

しかし、式(7)、(8)は、何れも次のようになる。

$$\sum_j \sum_k (c_{ij}^k + r e_{ij}^k) x_{ij}^k + p x_i \leq I_i + r \tilde{E}_i \quad (9)$$

つまり、保有する排出権をすべて市場で売却し、交通サービスの消費に必要な排出権を新たに市場から購入する

ものと考えればよいことになる。

消費者行動理論に従って、予算制約 (式(9)) の下で効用 (式(1)) を最大化する問題を考える。そして、この効用最大化問題を解くと、次の交通需要関数を求めることができる。

$$x_i = \alpha_i \left(\frac{p}{c_i} \right)^{-\sigma_3} \frac{I_i + r\tilde{E}_i}{c_i} \quad (10)$$

$$x_{ij} = \alpha_{ij} \left(\frac{c_{ij}}{c_i} \right)^{-\sigma_3} \frac{I_i + r\tilde{E}_i}{c_i} \quad (11)$$

$$x_{ij}^{pub} = \alpha_{ij}^{pub} \left(\frac{c_{ij}^{pub} + re_{ij}^{pub}}{c_{ij}} \right)^{-\sigma_2} x_{ij} \quad (12)$$

$$x_{ij}^{car} = \alpha_{ij}^{car} \left(\frac{c_{ij}^{car} + re_{ij}^{car}}{c_{ij}} \right)^{-\sigma_2} x_{ij} \quad (13)$$

$$x_{ij}^{air} = \alpha_{ij}^{air} \left(\frac{c_{ij}^{air} + re_{ij}^{air}}{c_{ij}^{pub}} \right)^{-\sigma_3} x_{ij}^{pub} \quad (14)$$

$$x_{ij}^{rail} = \alpha_{ij}^{rail} \left(\frac{c_{ij}^{rail} + re_{ij}^{rail}}{c_{ij}^{pub}} \right)^{-\sigma_3} x_{ij}^{pub} \quad (15)$$

ただし、

$$c_{ij}^{pub} = \left\{ \alpha_{ij}^{air} (c_{ij}^{air} + re_{ij}^{air})^{1-\sigma_3} + \alpha_{ij}^{rail} (c_{ij}^{rail} + re_{ij}^{rail})^{1-\sigma_3} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_3}} \quad (16)$$

$$c_{ij} = \left\{ \alpha_{ij}^{pub} c_{ij}^{pub 1-\sigma_2} + \alpha_{ij}^{car} (c_{ij}^{car} + re_{ij}^{car})^{1-\sigma_2} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_2}} \quad (17)$$

$$c_i = \left\{ \alpha_{ij} c_{ij}^{1-\sigma_1} + \alpha_i p^{1-\sigma_1} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_1}} \quad (18)$$

(3) 排出権取引市場

排出権の取引市場では排出権の需要と供給が一致するように、取引価格が決定されることになる。このとき、式(9)の導出において説明した通り、各地域の交通利用者は保有する排出権をすべて市場に供給し、交通サービスの消費に伴い必要な排出権を市場から需要する。そのため、排出権の需要は $\sum_i \sum_j \sum_k e_{ij}^k x_{ij}^k$ 、その供給は $\sum_i \tilde{E}_i$ となり、排出権市場における需給均衡条件として次式が得られる。

$$\sum_i \sum_j \sum_k e_{ij}^k x_{ij}^k = \sum_i \tilde{E}_i \quad (19)$$

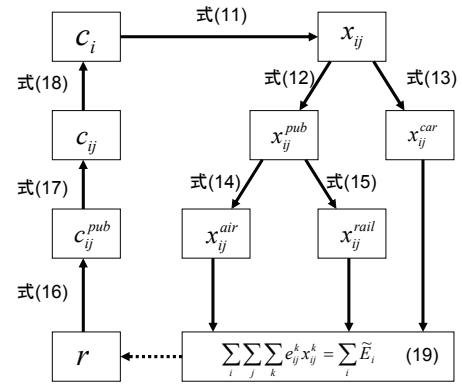


図-3 計算フロー

(4) 均衡条件式

図-3 は、導出された均衡条件式を整理し、これらの連立方程式から均衡解を求める計算フローを示したものである。今、排出権の市場価格 r を決めると、式(16)~(18) からそれぞれの交通サービスの費用を求めることができる。また、交通サービスの費用が決まると、式(11)~(15) からそれぞれの交通サービスに対する需要を求めることができる。そして、交通需要が決まると派生する排出権の需要と供給を求めることができる。ところが、任意に決めた排出権価格 r では排出権市場における需給均衡条件式(19)が成立しない。そのため、式(19)が成立するように排出価格 r を求めればよいことになる。

参考文献

- 1) European Conference of Ministers of Transport : Cutting Transport CO2 Emission - What Progress ? -, OECD, 2007.
- 2) OECD : Implementing Domestic Tradeable permits for Environmental Protection, OECD publications, 1999.
- 3) 諸富徹・鮎川ゆかり : 脱炭素社会と排出権取引-国内排出量取引を中心としたポリシー・ミックス提案-, 日本評論社, 2007.
- 4) Verhoef, E. T., P. Nijkamp and P. Rietveld : Tradable permits : their potential in the regulation of road transport externalities, Environmental and Planning B : Planning and Design, Vol.24, No.4, pp.527-548, 1997.
- 5) Raux, C. : The use of tradable permits in the transport sector, in Implementing Domestic Tradeable Permits: Recent developments and future challenges, OECD, pp.141-185, 2002.
- 6) 岡田啓 : 交通部門における取引可能な許可制度の検討-現状と課題-, 交通学研究, pp.131-140, 2005.
- 7) 細田衛士・横山彰 : 環境経済学, 有斐閣, 2007.
- 8) 例えば、井上紳一, 毛利雄一, 加藤浩徳, 大釜達夫, 屋井鉄雄 : 幹線旅客を対象とした全国交通需要予測モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol.23-2, pp.703-706, 2000.