

運輸部門を通した環境税の影響分析手法

— 地域間産業連関モデルと交通ネットワーク均衡モデルの統合モデル —

AN INTERREGIONAL INPUT/OUTPUT MODEL FOR IMPACT STUDIES OF ENVIRONMENTAL TAX

奥田隆明**、林 良嗣***

by Takaaki OKUDA and Yoshitsugu HAYASHI

In this paper, we propose a model for analyzing the effects of environmental tax. This tax might influence on not only transport but also production and consumption. It's impacts might spread all over the sectors through the market. Moreover, to estimate the effects of environmental policies, we must consider the congestion on transportation network. An Interregional input/output model is used for the analysis of markets, on the other hand the traffic equilibrium model for transportation networks. Integrating these two methods based on the micro-economic theory, a landuse-transport model is formulated.

1. はじめに

交通技術の発達により地域間交流が活発化した現代社会では運輸部門から排出される環境負荷がかなり大きなウェートを占めるため、環境税の導入がこの運輸部門からの環境負荷削減にどの程度の効果を持つのかについて大きな関心が寄せられている。また逆に、地域間分業の進んだ社会であるからこそ、環境税の導入によって地域間交流が阻害されると各地域の経済活動に大きな影響が発生することも予想されるため、こうした影響について十分な検討を行っていく必要がある。

従来、環境税の経済的解釈については環境経済学の分野で数多くの研究が行われてきている^{1)・2)}。また、近年、計量経済モデルを用いた定量的分析も

行われるようになってきている³⁾。ところが、これらの研究は何れも空間概念を捨棄した分析手法を用いているため、運輸部門からの環境負荷削減効果や地域経済への影響などを分析することは難しいと言わざるを得ない。これに対して都市空間上で行われる生産活動や消費活動のモデル化を行い、交通施設整備などの影響を総合的に分析する手法として土地利用交通モデルが研究されてきている^{4)・5)}。環境税の導入はまず空間を結び付ける交通活動に影響を与え、これを通して生産活動や消費活動にその影響が広く及ぶ現象であるため、この土地利用交通モデルを用いて環境税の影響を総合的に分析することが有効であると考えられる。

しかし、この土地利用交通モデルを用いて環境税の影響を分析するためには、解決しなければならない問題点も多い。まず、環境税の導入は交通主体の行動に直接影響を与えるのみならず、これが生産物の価格に転嫁されると、その影響はさらに多くの主体に波及していくことになる。こうした影響を分析

* キーワード：環境税、地域間産業連関モデル、交通ネットワーク均衡モデル

** 正員 工修 名古屋大学助手 工学部土木工学教室
(〒464-01 名古屋市千種区不老町)

*** 正員 工博 名古屋大学教授 工学部地圏環境工学教室

するためには、個別主体の行動をモデル化すると同時にモデルに市場メカニズムを組み込むことによって、価格変数を内生化した分析手法を開発していく必要がある。また、交通市場における混雑現象が環境負荷量を大きく左右するため、この交通混雑を引き起こす交通市場メカニズムをモデルに組み込み、一般市場と交通市場の双方を通してその影響を分析することのできる手法を開発していく必要がある。

そこで、本研究では、交通市場メカニズムと一般市場メカニズムを同時に組み込んだ新たな土地利用交通モデルを開発し、これを用いて環境税の導入が運輸部門を通して与える影響を総合的に分析する手法を提案するものである。

2. 従来の関連研究

(1) 交通ネットワーク均衡モデル

従来、交通市場を定量的に扱う手法として交通ネットワーク均衡モデルが研究されてきている。ワードロップは交通市場における均衡状態で「等時間原則」が成り立つことを仮定して、均衡状態の交通量を求める数理計画モデルを提案している⁶⁾。また、ベックマンはワードロップモデルに交通需要関数を組み込むことによって、OD交通量を内生化したモデルを提案している⁷⁾。さらに加藤・宮城・吉田はベックマンの交通需要関数に代わって交通需要予測で用いられる交通分布モデルを組み込んだモデルを提案してきている⁸⁾。このように交通ネットワーク均衡モデルの研究ではOD交通量の内生化について多くの試みがなされてきたが、本来、交通活動は生産活動や消費活動に伴って発生するものであるため、OD交通量を完全に内生化するためにはこれらの活動をモデルに組み込んでいく必要があると言える。

(2) 地域間産業連関モデル

一方、空間的に分布する複数の一般市場を扱う手法としては、地域間産業連関モデルが研究されてきている。この地域間産業連関モデルの研究には、産業連関モデルの「数量の方程式」に空間概念を導入しようとする流れと、数理計画問題として表現された産業連関モデルに空間概念を導入しようとする2つの流れがある。前者は「価格」とは独立に「数量」を求めようとする研究であり、アイザード型モデル、

チェネリー・モーゼス型モデルを基本型として、これに重力モデルやロジットモデルを組み込んだモデルが提案されてきている⁹⁾。これに対して後者は「価格」と「数量」を同時に求めようとする研究であり、その基本型となるモーゼスモデルは数理計画問題として表現された産業連関モデルに輸送問題を表す線形計画モデルを組み込んだモデルとなっている¹⁰⁾。ところが、モーゼスモデルは決定論に基づくモデルであるため、交易パターンを十分に再現するものではない。こうした問題を解決するために、ウィルソンは地域間産業連関モデルにエントロピーの概念を導入した¹¹⁾。また、筆者らはランダム効用理論を用いて地域間産業連関モデルを再定式化し、産業連関モデルに両側制約型のエントロピーモデルを組み込んだモデルを提案してきている¹²⁾。

(3) 本研究の基本的考え方

このように、従来、交通市場を扱う手法として交通ネットワーク均衡モデルが、また一般市場を扱う手法として地域間産業連関モデルがそれぞれ研究されてきている。しかし、既に1.でも述べたように環境税の導入は交通市場に影響を与えるのみならず、生産活動や消費活動を通して一般市場にもその影響が広く波及していく。したがって、こうした影響を総合的に分析するためにはこれらの手法を統合した分析手法が必要となる。そこで、本研究では、ミクロな経済理論に基づいて、この交通ネットワーク均衡モデルと地域間産業連関モデルを同一の枠組みの中で展開し、論理的な整合性を保ちながらこれらの手法を統合したモデルを開発する。

3. モデルの枠組み

(1) 主体の設定

環境税の導入が地域間交易に影響を与え、その影響が各地域の生産活動や消費活動に波及していく現象をモデル化するために、活動主体を、①地域間輸送を行なう運輸主体、②生産活動を行なう生産主体、③消費活動ならびに労働供給を行なう消費主体、の3つに分類することにする。また、②の生産主体は業種によってさらに複数の主体に分類されるものとする。なお、各活動主体の行動を以下のように仮定する。

【運輸主体の行動】

運輸主体は完全競争市場下に置かれ、輸送の技術的条件の下で利潤最大化行動をとるものとする。

【生産主体の行動】

生産主体も完全競争市場下に置かれ、生産の技術的条件の下で利潤最大化行動をとるものとする。ただし、地域間産業連関モデルを導出するために、生産の技術的条件としてはレオンチェフ型の生産関数を地域毎に設定する。

【消費主体の行動】

消費主体は最小の消費支出で一定量の消費活動を行なうものとする。また、賃金率が上昇すると労働供給量を増加させるものとする。

(2) 市場の設定

市場としては、①生産財、運輸サービス、労働力の取引が行われる一般市場と、②地域間輸送が行われる交通市場の2種類の市場を考えることにする。なお、各々の市場が果たす役割を以下のように仮定する。

【一般市場メカニズム】

需要が供給より多い場合には価格が高騰し、逆に需要が供給より少ない場合には価格が下落する。その結果、均衡状態では需要と供給が一致するように価格が決定される。

【交通市場メカニズム】

交通市場では利用者が多くなると交通混雑が発生し走行費用が大きくなる。しかし逆に、走行費用が大きくなると利用者は当該道路の利用を中止する。その結果、均衡状態では利用されるすべての経路について走行費用が等しくなる。

4. 分析モデルの導出

(1) 運輸主体のモデル化

生産物 r を地域 i から地域 j へ輸送する運輸主体の行動について考える。

a) 輸送費用

輸送費用としてドライバーの労働費用と燃料費用を考慮すると、リンク a の走行費用 c_a は次のように表すことができる。

$$c_a = w \tau_a + \rho (1 + \kappa) g_a \quad (1)$$

ここで、 τ_a 、 g_a はリンク a の走行時間及び燃料

消費量を表し、 w 、 ρ 、 κ はドライバーの賃金率、燃料価格および環境税税率をそれぞれ表すものとする。また、交通量 V_a が増加すると平均速度が低下し走行時間 τ_a 、燃料消費量 g_a はともに増加するため、走行費用 c_a は交通量 V_a の増加関数として表すことができる。そこで、以下ではこれを、

$$c_a = c_a(V_a) \quad (2)$$

と表記することにする。このようにして各リンクの走行費用 c_a を与えると、地域 i 、 j を起終点とする k 番目の経路の走行費用 μ_{kij} は、次式で与えられることになる。

$$\mu_{kij} = \sum_a \delta_{akij} c_a(V_a) \quad (3)$$

ただし、 δ_{akij} はインシデンスマトリクスであり、リンク a が経路 k に含まれる時 $\delta_{akij} = 1$ 、その他の時 $\delta_{akij} = 0$ の値をとる。

b) 経路選択

運輸主体は費用を最小化するために、最も走行費用の少ない経路を選択する。したがって、走行費用の最小値を μ_{ij} とすると、選択された経路の走行費用は μ_{ij} に等しく、それ以外の経路の走行費用は μ_{ij} 以上となる。つまり、

$$\mu_{kij} = \mu_{ij} \quad (h_{kij}^r > 0 \text{ の時}) \quad (4-1)$$

$$\mu_{kij} \geq \mu_{ij} \quad (h_{kij}^r = 0 \text{ の時}) \quad (4-2)$$

ここで、 h_{kij}^r は経路 k に対する交通量を表している。また、生産物 r を1単位輸送するのに必要な交通量を θ^r とすると、 Y_{ij}^r の輸送が行われる時、その交通量 h_{kij}^r は次式を満たすことになる。

$$\sum_k h_{kij}^r = \theta^r Y_{ij}^r \quad (5)$$

c) 運輸主体の均衡条件

生産物 r を地域 i から地域 j へ輸送した場合の運賃を v_{ij}^r とすると、運輸主体の限界利潤 λ_{ij}^r は、

$$\lambda_{ij}^r = v_{ij}^r - \theta^r \mu_{ij} \quad (6)$$

となる。したがって、運輸主体が完全競争市場下に置かれていることを仮定すると、限界利潤がゼロになるまで参入が続き、均衡状態で次式が成り立つ。

$$\lambda_{ij}^r = 0 \quad (Y_{ij}^r > 0 \text{ の時}) \quad (7-1)$$

$$\lambda_{ij}^r \leq 0 \quad (Y_{ij}^r = 0 \text{ の時}) \quad (7-2)$$

(2) 生産主体のモデル化

地域 j における業種 s の生産主体の行動について考える。

a) 中間財の購入

生産主体は生産費用を最小化するため、生産地価格 p_i^r に輸送費用 v_{ij}^r を加えた消費地価格 q_{ij}^r が最も低い地域から中間財を購入することになる。ここで、同一地域で生産された中間財であってもその消費地価格 q_{ij}^r はある程度のバラツキを持つことが予想されるため、消費地価格を確率変数 $\tilde{q}_{ij}^r$ として扱い、

$$\tilde{q}_{ij}^r = p_i^r + v_{ij}^r + \varepsilon_{ij}^r \quad (8)$$

と定式化する。ただし、確率変動項 ε_{ij}^r は分散パラメータ β^r のガンベル分布に従うものとする。このとき、1 単位の中間財 r を購入するのに必要な費用 $\tilde{q}_j^r$ を確率計算すると、

$$\tilde{q}_j^r = \text{Min} (\tilde{q}_{ij}^r | i) = q_j^r + \varepsilon_j^r \quad (9)$$

ここで、

$$\begin{aligned} q_j^r &= -\frac{1}{\beta^r} \ln \sum_i \exp \{-\beta^r (p_i^r + v_{ij}^r)\} \\ &= \sum_i (p_i^r + v_{ij}^r + \frac{1}{\beta^r} \ln t_{ij}^r) t_{ij}^r \end{aligned} \quad (10)$$

となる。ただし、 ε_j^r は ε_{ij}^r と独立で同一の分布を表し、 t_{ij}^r は地域 i で生産された中間財を購入する比率を表す。さらに、この比率 t_{ij}^r を確率計算すると、

$$\begin{aligned} t_{ij}^r &= \text{Prob} (\tilde{q}_{ij}^r < \tilde{q}_{lj}^r | l \neq i) \\ &= \frac{\exp \{-\beta^r (p_i^r + v_{ij}^r)\}}{\sum_l \exp \{-\beta^r (p_l^r + v_{lj}^r)\}} \end{aligned} \quad (11)$$

となる。ここで、 a_j^{rs} を 1 単位の生産に必要な中間

財 r の投入量（投入係数）とすると、 X_j^s の生産を行なう場合、地域 i で生産された中間財 r を次の量だけ購入することになる。

$$x_{ij}^{rs} = a_j^{rs} X_j^s t_{ij}^r \quad (12)$$

b) 生産主体の均衡条件

1 単位の生産を行なうために必要な労働力を b_j^s 、賃金率を w_j とすると、生産の限界利潤は次のようになる。

$$\begin{aligned} \pi_j^s &= p_j^s - \sum_r a_j^{rs} \tilde{q}_j^r - b_j^s w_j \\ &= \pi_j^s - \sum_r a_j^{rs} \tilde{\varepsilon}_j^r \end{aligned} \quad (13)$$

ここで、

$$\pi_j^s = p_j^s - \sum_r a_j^{rs} q_j^r - b_j^s w_j \quad (14)$$

したがって、生産主体が完全競争市場下に置かれ、その行動が危険中立的であることを仮定すると、限界期待利潤がゼロになるまで参加が続き、均衡状態では次式が成り立つ。

$$\pi_j^s = 0 \quad (X_j^s > 0 \text{ の時}) \quad (15-1)$$

$$\pi_j^s \leq 0 \quad (X_j^s = 0 \text{ の時}) \quad (15-2)$$

ただし、確率変動項 ε_j^r の期待値 $E[\varepsilon_j^r] = 0$ と見なしている。

(3) 消費主体のモデル化

地域 j における消費主体の行動について考える。

a) 消費財の購入

消費主体も消費支出を最小化するために、消費地価格が最も低い地域から消費財を購入することになる。このとき、消費地価格が確率分布することを仮定すると、1 単位の消費財 r を購入するのに必要な費用は式 (9) で与えられ、地域 i で生産された消費財 r を購入する比率は式 (11) で与えられる。したがって、 α^r 、 H_j をそれぞれ消費原単位、消費主体数とすると、地域 j では地域 i で生産された消費財 r を次の量だけ購入することになる。

$$y_{ij}^r = \alpha^r H_j t_{ij}^r \quad (16)$$

$$X_i^r = \sum_s \sum_j a_j^{rs} t_{ij}^r X_j^s + \sum_j \alpha^r t_{ij}^r H_j \quad (\text{数量の方程式 ①})$$

$$p_j^s = \sum_r \sum_i a_j^{rs} t_{ij}^r p_i^r + \sum_r \sum_i a_j^{rs} t_{ij}^r \theta^r \mu_{ij} + f_j (\sum_s b_j^s X_j^s) b_j^s \\ + \sum_r \sum_i \frac{1}{\beta^r} a_j^{rs} t_{ij}^r \ln t_{ij}^r \quad (\text{価格の方程式 ②})$$

$$t_{ij}^r = \frac{\exp\{-\beta^r (p_i^r + \theta^r \mu_{ij})\}}{\sum_i \exp\{-\beta^r (p_i^r + \theta^r \mu_{ij})\}} \quad (\text{交易係数の方程式 ③})$$

$$V_a = \sum_r \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{akij} h_{kij}^r \quad (\text{リンク交通量の方程式 ④})$$

$$\sum_k h_{kij}^r = \theta^r (\sum_s a_j^{rs} t_{ij}^r X_j^s + \alpha^r t_{ij}^r H_j) \quad (\text{OD交通量の方程式 ⑤})$$

$$\sum_a \delta_{akij} c_a(V_a) = \mu_{ij} \quad (h_{kij}^r > 0 \text{ のとき}) \quad (\text{経路選択の方程式 ⑥})$$

$$\sum_a \delta_{akij} c_a(V_a) \geq \mu_{ij} \quad (h_{kij}^r = 0 \text{ のとき})$$

図-1 均衡条件式

b) 労働供給

各地域の消費主体は賃金率の上昇によって労働供給量を増加させるものとし、これを労働供給関数として与えることにする。なお、この労働供給関数の逆関数を次式で表すことにする。

$$w_j = f_j(Z_j) \quad (17)$$

(4) 市場条件

均衡状態では、生産物市場、運輸市場、労働市場でそれぞれ需給均衡が成立しているので、次式が成り立つ。

$$X_i^r = \sum_s \sum_j x_{ij}^{rs} + \sum_j y_{ij}^r \quad (18)$$

$$Y_{ij}^r = \sum_s x_{ij}^{rs} + y_{ij}^r \quad (19)$$

$$Z_j = \sum_s b_j^s X_j^s \quad (20)$$

また、交通市場ではリンク a の交通量が次式により与えられる。

$$V_a = \sum_r \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{akij} h_{kij}^r \quad (21)$$

(5) 均衡条件式

これらを整理すると、図-1 に示す連立方程式が得られる。式①は式(18)に式(12), (16)を代入することにより得られる。また、式(11)より交易係数 t_{ij}^r は正数となるため、消費主体数 H_j を正数として与えれば、式(16)より交易量 y_{ij}^r も正数となる。したがって、式(18), (19)より生産量 X_i^r 、輸送量 Y_{ij}^r はともに正数となり、式(7), (15)は第1式が有効となる。そこで、式(7-1)に式(6)を代入すると、

$$v_{ij}^r = \theta^r \mu_{ij} \quad (22)$$

が得られる。式②は式(15-1)に式(14)を代入し、さらに式(10), (17), (20), (22) を順に代入することにより得られる。また、式③は式(11)に式(22)を代入したものであり、式④は式(21)と同式である。式⑤は式(5)に式(19)を代入し、さらに式(12), (16)を代入すれば得られる。式⑥は式(4)に式(3)を代入したものである。

式①～③は地域間産業連関モデルの均衡条件式であり、式④～⑥は交通ネットワーク均衡モデルにお

$$\begin{aligned}
 & \sum_a \int^{\nu_a} c_a(\varepsilon) d\varepsilon + \sum_j \int^{Z_j} f_j(\omega) d\omega \\
 & + \sum_r \sum_s \sum_i \sum_j \frac{1}{\beta^r} x_{ij}^{rs} \ln \frac{x_{ij}^{rs}}{a_j^{rs} X_j^s} + \sum_r \sum_i \sum_j \frac{1}{\beta^r} y_{ij}^r \ln \frac{y_{ij}^r}{\alpha^r H_j} \rightarrow \min \\
 \text{s. t.} \quad & X_i^r \geq \sum_j \sum_s x_{ij}^{rs} + y_{ij}^r \quad (\text{生産物市場における需給条件}) \\
 & Y_{ij}^r \geq \sum_s x_{ij}^{rs} + y_{ij}^r \quad (\text{運輸市場における需給条件}) \\
 & Z_j \geq \sum_s b_j^s X_j^s \quad (\text{労働市場における需給条件}) \\
 & \sum_i x_{ij}^{rs} = a_j^{rs} X_j^s \quad (\text{生産技術の条件}) \\
 & \sum_i y_{ij}^r = \alpha^r H_j \quad (\text{最終需要の条件}) \\
 & V_a = \sum_r \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{akij} h_{kij}^r \quad (\text{リンク交通量の条件}) \\
 & \sum_k h_{kij}^r = \theta^r Y_{ij}^r \quad (\text{OD交通量の条件}) \\
 & X_j^r, Y_{ij}^r, Z_j, V_a, x_{ij}^{rs}, y_{ij}^r, h_{kij}^r \geq 0 \quad (\text{非負条件})
 \end{aligned}$$

図-2 等価な数理計画問題

ける均衡条件式である。両方程式群は、最小走行費用と地域間交通量で結び付いている。つまり、最小走行費用が与えられると地域間産業連関モデルから地域間交通量が算出され、他方、地域間交通量が与えられると交通ネットワーク均衡モデルより最小走行費用が与えられる構造となっている。

(6) 環境負荷量

交通量の増加によって交通混雑が発生し走行速度が低下すると、単位走行によって排出される環境負荷量は増加する。そこで、リンク a での環境負荷排出原単位 e_a を走行速度 v_a の関数として与えることにすれば、環境税 κ の時の環境負荷量 $E(\kappa)$ は次式により求めることができる。

$$E(\kappa) = \sum_a e_a(v_a) l_a V_a \quad (23)$$

ここで、 l_a 、 V_a はリンク a のリンク長、交通量を表す。

5. 解法

(1) 等価な数理計画問題

図-1 で表される均衡条件式を解とする数理計画問題を考えると図-2 のようになる。この数理計画問題の目的関数は社会的費用の大きさを表している。ここで、社会的費用は、①交通費用、②労働供給の機会費用、③不確実性を考慮したことによるエントロピー、から構成されている。また、制約条件としては、生産物市場、運輸市場、労働市場における需給条件の他に、生産技術の条件、最終需要の条件、リンク交通量・OD交通量の条件などが現れている。ここで、生産物市場、運輸市場、労働市場の需給条件に対応するラグランジュの未定定数はそれぞれ生産地価格 p_i^r 、運賃 v_{ij}^r 、賃金率 w_j を表している。

(2) 計算法

図-2 の数理計画問題の均衡解は交通ネットワーク均衡モデルの2段階法¹³⁾を用いて求めることができる。その計算手順を以下に示す。

【ステップ0】 ゼロフロー時の最小走行費用 μ_{ij} を最短経路探索により求める。また、生産地価格 p_i^r をゼロとして式③を用いて交易係数 t_{ij}^r を求め、式①の連立一次方程式を解いて生産量 X_i^r を求める。

さらに、式⑤を用いてOD交通量を求め、All-or-Nothing 配分によってリンク交通量 V_a を求める。

【ステップ1】 リンク交通量 V_a に対応する最小走行費用 μ_{ij} を最短経路探索により求める。式②の連立一次方程式を解いて生産地価格 p_i^r を求める。式③を用いて交易係数 t_{ij}^r を求め、式④の連立一次方程式を解いて生産量 X_i^r を求める。さらに、式⑤を用いてOD交通量を求め、All-or-Nothing 配分によってリンク交通量 V_a を求める。

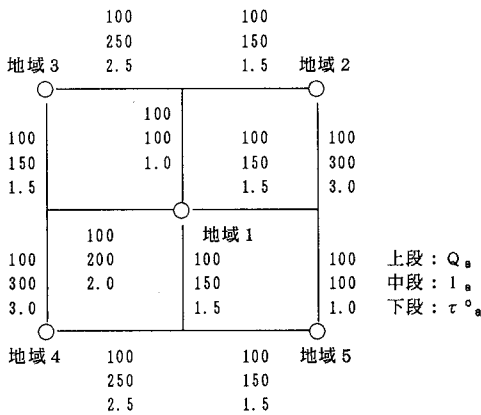
【ステップ2】 Frank-Wolfアルゴリズム¹³⁾ に従い、1変数最適化問題として図-2の目的関数を最小化するリンク交通量 V_a 、労働供給量 Z_j 、地域間交易量 x_{ij}^{rs} 、 y_{ij}^r を求める。

【ステップ3】 こうして求めた値が Frank-Wolf アルゴリズムの収束基準を満たせば計算を終了し、満たさなければステップ1に戻る。

(3) 計算例

a) 前提条件

本モデルの挙動を確認するために、図-3に示す



投入係数 $a_j^{rs} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.05 \end{bmatrix}$ 、労働力係数 $b_j^s = 1.0$
消費主体数 $H_j = 10,000$ 、消費原単位 $\alpha^r = 1.0$
分散パラメータ $\beta^r = 0.1$ 、積載率の逆数 $\theta^r = 0.001$
燃料消費原単位のパラメータ
 $a = 0.06$ 、 $b = 1.0$ 、 $c = 0.000009$
労働供給関数のパラメータ
 $w_a = 1.0$ 、 $Z_j^0 = 260,000$ 、 $\gamma_j = 2.0$

図-3 計算の前提条件

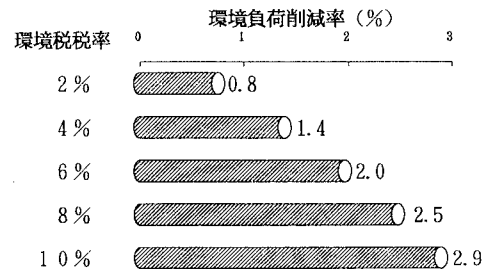
地域に環境税を導入した場合、CO₂の排出量削減にどの程度の効果が期待できるのか、また、各地域の生産活動に如何なる影響が発生するのかについて簡単な計算を行なった。

計算にあたっては、式(2)で表される走行費用関数 c_a を特定する必要がある。このとき式(1)によれば、走行費用 c_a は走行時間 τ_a と燃料消費量 g_a によって決定されるため、これらの関数型を特定すればよいことになる。この計算例では、走行時間 τ_a が式(24)で表されるBPR関数¹³⁾に従い、燃料消費量 g_a が走行速度 v_a の関数として表される式(25)^{14), 15)}に従うものとして計算を行なった。

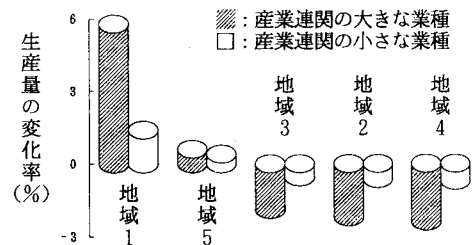
$$\tau_a = \tau_a^0 \left\{ 1 + 0.15 \left(\frac{V_a}{Q_a} \right)^4 \right\} \quad (24)$$

$$g_a = l_a \left\{ a + \frac{b}{v_a} + c v_a \right\} \quad (25)$$

ここで、 l_a 、 τ_a^0 、 Q_a はそれぞれリンク長、ゼロフロー時の所要時間、交通容量を表し、 a 、 b 、 c はパラメータを表している。また、CO₂排出量



(1) 環境負荷削減効果



(2) 地域経済への影響
(税率5%の場合)

図-4 計算結果

を求めるためには、その排出原単位 e_a を表す関数を設定する必要があるが、 CO_2 排出量は燃料消費量にほぼ比例することから、ここでは燃料消費原単位と同じ関数型を用いている。さらに、労働供給関数の逆関数としては以下のものを与えている。

$$w_j = w^0 \left(\frac{Z_j}{Z_j^0} \right)^{\gamma_j} \quad (26)$$

ここで、 w^0 、 Z_j^0 、 γ_j はパラメータである。なお、モデルのパラメータについては図-3に示した値を用いて計算を行なった。

b) 計算結果

図-4(1)は環境税税率の引き上げに伴って CO_2 排出量が削減される様子をシミュレートしたものである。また、図-4(2)は5%の環境税を導入した場合、各地域の生産にどのような変化が発生するかを示したものである。図-4(2)によれば、環境税の導入により走行費用が増加すると相対的に交通便利性の高い地域1に生産が集中する傾向にあることがわかる。また、産業連関の大きな業種ほどこの傾向が強いことがわかる。

6. おわりに

本論文では、環境税の導入による影響を総合的に分析するための手法として土地利用交通モデルを用いた方法を提案した。この土地利用交通モデルの特長は、従来、交通市場を記述する手法として研究されてきた交通ネットワーク均衡モデルと一般市場を記述する手法として研究されてきた地域間産業連関モデルを統合したモデル体系となっていることにある。これによって、環境税の導入が交通活動を通して各地域の生産活動や消費活動に影響を与え、その結果として環境負荷量が変化する現象を捉えることが可能となった。また、一般市場をモデルに組み込むことによって、環境税の導入が直接、交通主体に与える影響だけでなく、市場における価格変化を通してさらに多くの主体に間接的に与える影響についても捉えることが可能となった。さらに、一般市場に加えて交通市場をモデルに組み込むことによって、混雑現象を考慮した上で環境税の環境負荷削減効果を把握することが可能となった。

今後の課題としては、本論文では単純なケースについてモデルの挙動を確認したにすぎないため、モデルパラメータの特定の問題を含めて本モデルを用いた実証分析を進め、その有効性についてさらに検討を加えていく必要があることを上げることができる。

参考文献

- 1) Baumal, W. and W. Oates: The Theory of Environmental Policy, Cambridge University Press, 1988.
- 2) 植田和弘・落合仁司・北畠桂房・寺西俊一: 環境経済学, pp.167-190, 有斐閣ブックス, 1991.
- 3) 例えば、藤井美文・松井勇・真殿誠志: 地球環境問題に経済的手段は有効か, 経済セミナー, No. 449, 1992.
- 4) 青山吉隆: 土地利用モデルの歴史と概念, 土木学会論文集, 1984.
- 5) 林良嗣・富田安夫・土井健司: 最近における土地利用および住宅立地モデルの方法論的発展と政策分析機能の拡大, 都市計画, No. 171, pp.171-101, 1991.
- 6) Wardrop, J. G.: Some theoretical aspects of road research, proceedings Institute of Civil Engineers, Part 2, 1952.
- 7) Beckmann, M. J., McGuire, C. B. and Winsten, C. B.: Studies in the Economics of Transportation, Yale University Press, New Haven, Conn, 1956.
- 8) 加藤晃・宮城俊彦・吉田俊和: 交通分布・配分統合モデルとその実用性に関する研究, 交通工学, Vol. 17, No. 6, pp. 3-11, 1982.
- 9) 天野光三・藤田昌久: 交通施設整備の地域経済効果に関する研究, 運輸と経済, 第27巻, 第11号.
- 10) Moses, L. N.: A General Equilibrium Model of Production, Interregional Trade and Location of industry, Review of Economics and Statistics, Vol. 42, No. 4, 1960.
- 11) Willson, A. G.: Interregional commodity flows: Entropy Maximizing Approaches, Geographical Analysis, No. 2, pp. 255-282, 1970.
- 12) 奥田隆明・林良嗣: 確率論に基づく地域間産業連関分析の再検討, 地域学研究, 第23巻(投稿中).
- 13) 土木学会土木計画学研究委員会: 交通ネットワークの分析と計画—最新の理論と応用—, 1987.
- 14) Energy Research and Training Center Chulalongkorn University: Energy Use in Road Transport, 1988.
- 15) 佐野雅英: 自動車の実走行燃費, 交通工学, Vol. 14, No. 2, 1979.