

環境政策の国民経済的評価のための集計型交通需要モデル*

The Aggregate Traffic Demand Model for National Economic Evaluation of Environmental Policies*

武藤慎一^{**}, 上田孝行^{***}, 森杉壽芳^{****}, 近藤有一郎^{*****}

By Shinichi MUTO^{**}, Takayuki UEDA^{***}, Hisayoshi MORISUGI^{****}, Yuichiro KONDO^{*****}

1. 背景と目的

近年、自動車交通に起因する騒音や大気汚染、交通事故、混雑といったいわゆる外部不経済の問題が深刻化している。このような状況に対し、外部不経済削減のため各種環境政策が提案・実施されているが、それらの政策を実施した際の影響評価には不明瞭な点が多い。これは、環境を計量的に捉えることの困難さが原因の一つであろうが、その他に政策の経済活動へ与える影響が明確に議論されていないこともその原因であると思われる。

これに対し筆者ら¹⁾は、環境政策を経済的な影響まで含め評価するために応用一般均衡モデル(CGE モデル)の開発を行った。しかし、このモデルでは従来土木計画で用いられてきたような交通モデルを明示的に取り入れていないため、各種環境政策を評価し、比較検討するには不十分である。そこで、本研究では交通モデルを CGE モデルと整合させた形での導入を試みる。

2. 交通モデルの既往研究

既往研究における交通モデルは、大きくマクロ交通モデルとミクロ交通モデルとに分けることができる。マクロ交通モデルとは総交通量やガソリン消費量といった集計量の間の関係を捉えることから出発しているのに対し、ミクロ交通モデルは各経済主体の行動から出発しそれらの相互作用の結果として経済システムに生じる様々な現象を捉えようとするものである。そのためマクロ交通モデルは、比較的整備されたデータを用いて簡易な予測で交通現象を捉えることができ、環境政策による交通体系への影響を評価するためにモデル構築を行っている例も少なくない(林・加藤ら²⁾および伊藤・石田³⁾など)。しかし、交通行動は本来個人の意思決定に立脚するものであり、その意味からすると

マクロ交通モデルの理論的裏付けは曖昧と言わざるを得ない。また、そのためミクロ経済学での余剰や便益と行った概念を用いることが出来ず、他の政策と比較検討するにも一貫した評価を行えないとの弱点がある。これに対しミクロ交通モデルは、理論的妥当性が高く各種交通施策のインパクトを正確に把握できる点でマクロ交通モデルより有用といえる⁴⁾。

そのため本研究では、ミクロ交通モデルの CGE モデルへの導入を試みる。しかし、現行のミクロ交通モデルは、必ずしもミクロ経済と整合していないとの問題がある。ここで言うミクロ経済とは各経済主体が最適化行動をとるという前提を有すとの解釈である。そのため、厳密にミクロ経済の枠組みにてモデル構築が行われている CGE モデルに如何にミクロ交通モデルを組み込むかが重要な問題となる。そこで、まず第三章でこれまでに構築した CGE モデルの概要を述べた後、第四章にてミクロ交通モデルの導入を図る。

なお、本研究のタイトルを「集計型交通モデル」としたのは、アウトプットが集計量にて表されているものであるためであり、交通モデルとしてはミクロ交通モデルを利用している。

3. CGE モデルの概要¹⁾

3.1 モデルの仮定

まず、本モデルにおける仮定を示す。

- 1) 社会は J 個の産業 (K 個の旅客運輸, F 個の貨物運輸を含む) と I 個の家計および政府からなる。
- 2) 産業の生産に必要な生産要素として、労働・自動車資本・非自動車資本を仮定する。ただし、運輸部門のみが自動車資本を投入するものとする。
- 3) 政府は、税の徴収を行い政策を実施する。

3.2 産業の行動

各産業は、生産要素と他の産業の生産財を中間投入として使用し生産活動を行うものとし、第 j 産業の生産関数を以下のようにレオンチェフ型にて定式化する。

*キーワード：環境計画，環境政策評価，交通行動分析

**学生員 工修 岐阜大学大学院博士後期課程

(岐阜市柳戸 1-1, TEL058-293-2465, FAX058-230-1248)

***正会員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科

****正会員 工博 アジア工科大学教授

*****学生員 岐阜大学工学部土木工学科

$$Q_j = \min \left(\frac{PC_j(L_j, M_j, K_j)}{a_{0j}}, \frac{x_{1j}}{a_{1j}}, \dots, \frac{x_{Jj}}{a_{Jj}} \right) \quad (1)$$

ただし、 Q ：産出量、 L, M, K ：労働、自動車資本、非自動車資本投入量、 x_i ：第 i 生産財投入量、 PC ：付加価値タームの生産容量(Production Capacity)、 a_i ：投入係数 ($i \neq 0$)、 a_0 ：生産容量比率 [生産一単位あたりに必要とされる生産容量]。

式(1)によれば、生産要素からなる生産容量 (PC_j) が産業の産出能力 Q_j を決定する構造となっている。

【生産要素費用最小化】

各産業は生産要素価格に対応して最適生産行動をとるものと仮定する。その結果、その産業は生産容量一単位あたりの生産要素費用を最小化するよう行動するものとして以下のように定式化できる。

$$\min_{L_j, M_j, K_j} p_{Lj}^* L_j + p_{Mj}^* M_j + p_{Kj}^* K_j \quad (2.a)$$

$$\text{s.t. } PC_j(L_j, M_j, K_j) = 1 \quad (2.b)$$

ただし、 p_L, p_M, p_K ：労働、自動車資本、非自動車資本要素価格、スーパースクリプト +：税込みの要素価格であることを表す。

式(2)を解くと、単位生産容量あたりの生産要素需要 D_{Lj}, D_{Mj}, D_{Kj} および生産要素費用 C_j が生産要素価格の関数として得られる。

3.3 価格形成

本研究では、生産関数を式(1)の様に仮定したため規模に関して収穫一定が成立する。これより、以下のよう

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_j \\ \vdots \\ p_J \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} a_{01} \cdot C_1(p_{L1}^*, p_{M1}^*, p_{K1}^*) (1 + d_{01}) \\ \vdots \\ a_{0j} \cdot C_j(p_{Lj}^*, p_{Mj}^*, p_{Kj}^*) (1 + d_{0j}) \\ \vdots \\ a_{0J} \cdot C_J(p_{LJ}^*, p_{MJ}^*, p_{KJ}^*) (1 + d_{0J}) \end{bmatrix} [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \quad (3)$$

ただし、 d_{0j} ：純生産物税率、 $\mathbf{I}$ ：単位行列、 $\mathbf{A}=[a_{ij}]$ ：投入係数行列、 $'$ ：ベクトルの転置を意味する。

3.4 家計の行動

各家計は、自らが直面する諸価格が現在の水準のまま将来も変化しないという近視眼的期待の下で効用最大化行動をとると想定し、その消費行動モデルを図-1のように階層的に定式化する。

【第一段階】

まず、家計 i は潜在賃金所得(Full income) I_{Di} をもとに現在消費 H_i と将来消費 C_{Fi} を決定する。なお、環境

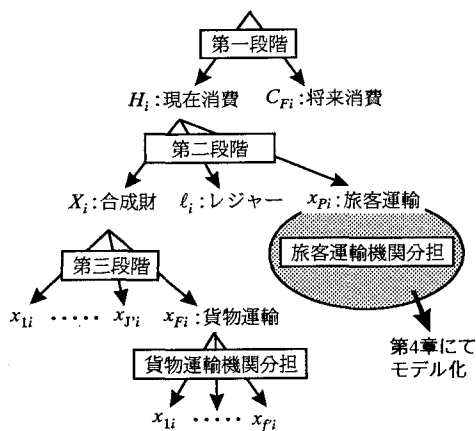


図-1 家計の消費行動モデルの概念図

変化による影響を表すため効用関数 $U_i^A(\cdot)$ に環境質 r を取り入れる。ただし、 $U_i^A(\cdot)$ は環境質 r に対し線形を仮定する。

$$\max_{H, C_F} [U_i^A(H_i, C_{Fi}, r) = u_i^A(H_i, C_{Fi}) + \mu \cdot r] \quad (4.a)$$

$$\text{s.t. } I_{Di} = p_{Hi} H_i + p_{Fi} C_{Fi} \quad (4.b)$$

ただし、 μ ：パラメータ、 p_H ：現在消費の価格、 p_F ：将来消費の価格を表す。

式(4)を解くことにより、 H_i と C_{Fi} が得られる。

【第二段階】

次に家計 i は、式(4)を解いて得られた将来消費額 $p_{Fi} C_{Fi}$ を控除した所得 $[I_{Di} - p_{Fi} C_{Fi} (= I_{Di}^B)]$ をもとに、合成財消費 X_i (旅客運輸サービス消費は除く)、レジャー消費 l_i 、旅客運輸サービス消費 x_{Fi} を決定する。

$$\max_{X, l, x_F} U_i^B(X_i, l_i, x_{Fi}) \quad (5.a)$$

$$\text{s.t. } I_{Di}^B = p_{Xi} X_i + p_{Li} l_i + p_{Fi} x_{Fi} \quad (5.b)$$

ただし、 p_X ：合成財消費価格、 p_L ：労働価格、 p_F ：旅客運輸サービス価格。レジャー価格は、その家計が享受するレジャーの機会費用に相当し労働価格に等しいとしている。

式(5)を解くことにより X_i 、 l_i 、 x_{Fi} が得られる。また、この最大化問題に付随するラグランジュ乗数から現在消費価格 p_{Hi} が得られる。

【第三段階】

最後に家計 i は、将来消費額、レジャー消費額、旅客運輸消費額を控除した所得 $[I_{Di} - p_{Fi} C_{Fi} - p_{Li} l_i - p_{Fi} x_{Fi} (= I_{Di}^C)]$ をもとに、個別財消費 x_{ji} ($j=1, \dots, J$) と貨物運輸サービス消費 x_{Fi} を決定する。

$$\max_{H, C_F} U_i^C(x_{li}, \dots, x_{ji}, x_{fi}) \quad (6.a)$$

$$\text{s.t. } I_{Di}^C = \sum_j p_{xj} x_{ji} + p_{Fi} x_{fi} \quad (6.b)$$

ただし、 p_{ji} ：第 j 個別消費財価格、 p_{Fi} ：貨物運輸サービス価格。

式(6)を解くことにより x_{ji} , x_{fi} および合成財消費価格 p_{xi} が得られる。

4. 交通機関分担モデルの導入

続いて、家計 i の旅客・貨物運輸部門の交通機関分担を考える。

4.1 旅客運輸部門

本モデルでは、 K 個の旅客運輸にマイカーを加えた $K+1$ 個の交通機関を仮定する。ただし、マイカーサービス消費は家計が自動車保有しているか否かによりそのトリップが大きく変わるという特徴を持つため、マイカートリップを自動車の保有レベルと利用レベルに区別しモデル化することにした。すなわち家計 i は、まず自動車を保有するかどうかの選択を行い、次に自動車保有者はマイカーでのトリップを含めた交通機関選択を行い、非保有者はマイカーでのトリップを除いた交通機関選択を行うものとする(図-2)。なお、自動車非利用者が他人の自動車に同乗させてもらう場合や、あるいはレンタカーを借りる場合については、その人が一時的に車を保有しているものとする。

【自動車保有率の推定】

ここでは自動車保有行動もミクロ経済の枠組みに沿った形でモデル化を試みる。そこで家計 i は、宮城⁵⁾により示された「選択の基本公式」で表現される効用を最大にするように自動車保有を決定するものとする。この選択公式とは、最大期待効用と期待効用との乖離分を、選択の多様性によってもたらされる効用増加分(エントロピー)により与えたものである。

$$S^P = \max \left[\sum_h P_{hi}^O \cdot v_{hi}^O - \frac{1}{\theta^O} \sum_h P_{hi}^O (\ln P_{hi}^O - 1) \right] \quad (7.a)$$

$$\text{s.t. } \sum_h P_{hi}^O = 1 \quad (7.b)$$

ただし、 h ：(=1)自動車保有、(=0)自動車非保有、 P_{hi}^O ：自動車保有・非保有率、 v_{hi}^O ：確定効用、 θ^O ：ロジットパラメータ。

式(7)を解くと、自動車保有率が式(8)の様にロジットモデルで与えられる。

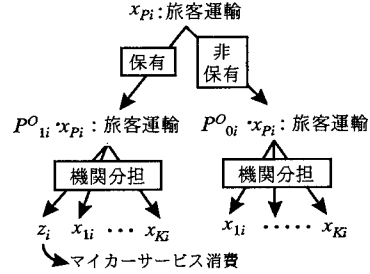


図-2 交通機関分担モデル(旅客運輸)の概念図

$$P_{hi}^O = \frac{\exp(\theta^O \cdot v_{hi}^O)}{\sum_k \exp(\theta^O \cdot v_{ki}^O)} \quad (8)$$

また、最大期待効用値を表す満足度関数も式(9)のように得られる。

$$S^P = \frac{1}{\theta^O} \ln \sum_h \exp(\theta^O \cdot v_{hi}^O) \quad (9)$$

式(7)中の確定効用は、次項の【自動車保有者・非保有者の交通機関選択】にて得られる S_{hi}^O [自動車保有者・非保有者の交通機関選択によって得られる満足度]と P_{Auto} の関数として与える。

【自動車保有者・非保有者の交通機関選択】

自動車保有者は、マイカーを含めて $K+1$ 個の交通機関の間で、非保有者はマイカーを除く K 個の交通機関の間で選択行動をとるとする。このときも「選択の基本公式」で表される効用を最大にするように交通手段選択を行うとする。

$$S_{hi}^O = \max \left[\sum_k P_{ki}^h \cdot v_{ki}^h - \frac{1}{\theta^h} \sum_k P_{ki}^h (\ln P_{ki}^h - 1) \right] \quad (10.a)$$

$$\text{s.t. } \sum_k P_{ki}^h = 1 \quad (10.b)$$

ただし、 k ：交通手段、 P_{ki}^h ：交通手段 k の選択確率、 v_{ki}^h ：交通手段 k の確定効用、 θ^h ：ロジットパラメータ。

式(10)を解くと、式(8)と同様に交通手段選択確率がロジットの形で得られ、満足度関数も得られる。なお、確定効用は交通機関 k の一般化価格 q_{ki} [= $p_{ki} + p_{Li} \cdot t_{ki}$ (p_{ki} ：生産財価格、 p_{Li} ：労働価格、 t_{ki} ：所要時間)]、各交通機関のインフラ整備レベル F_{ki} の関数として与える。

【旅客運輸サービス価格】

式(5)中の旅客運輸サービス価格 p_{Pi} は、自動車保有者・非保有者の旅客運輸サービス価格(p_{Pi}^O , p_{Pi}^h)の重み付け平均により与える。さらに、 p_{Pi}^O は各交通手段の一般化価格の重み付け平均により与える。これより、

旅客運輸サービス消費(総交通量)自体を内生的に決定できる構造となっており、従来の四段階推定法で問題とされていた部分が改良されている。

4.2 貨物運輸部門

家計 i は、将来消費、レジャー、旅客運輸、個別財消費額を控除した所得 $[I_{Di} - p_{Fi}C_{Fi} - p_{Li}l_i - p_{Ri}x_{Fi} - \sum p_{x_{ji}}x_{ji}(=I_{Di}^D)]$ をもとに、貨物運輸サービス消費 x_{fi} を決定する。

$$\max_{x_{fi}} U_i^D(x_{fi}) \quad f \in F \quad (13.a)$$

$$\text{s.t. } I_{Di}^D = \sum_f p_{x_{fi}} x_{fi} \quad (13.b)$$

式(13)を解くことにより x_{fi} および貨物運輸サービス価格 p_{Fi} が得られる。

5. 一般均衡条件

本研究では、産業の生産は規模に関して収穫一定を仮定しており、よって各産業は財の需要に見合う供給を常に行うとされる。よって、ここでは生産要素の需給均等のみが意味を持つことになり、よって市場均衡式は以下ようになる。

【市場均衡式】

$$\begin{array}{ll} \text{(i) 労働市場} & \text{(ii) 自動車資本市場} \\ L_D = L_S & M_D = M_S \\ \text{(iii) 非自動車資本市場} & \text{(iv) 税収} \\ K_D = K_S & T^+ = T \end{array}$$

ただし、添え字 D : 需要, S : 供給を表す。また T : 総税収見積額, T^+ : 政府の総税収。税収については、財政政策の方針によってははずすことも可能である。

市場均衡式中の生産要素需要 L_D , M_D , K_D は、生産容量 PC_j (国内生産額 Q_j × 生産容量比率 a_{0j}) に単位生産要素需要 (D_{Lj} , D_{Mj} , D_{Kj}) を乗じて求められる。なお、この国内生産額 Q_j は以下のように決定される。

$$Q = [I - (I - \bar{M})A]^{-1} [(I - \bar{M})F_{(0)} + E]$$

ただし、 Q : 国内生産額ベクトル, I : 単位ベクトル, $\bar{M}$: 輸入量ベクトル, A : 投入係数ベクトル, $F_{(0)}$: 国内最終需要ベクトル, E : 輸出量ベクトル(固定)。これによれば国内最終需要 $F_{(0)}$ が得られたならば国内生産額 Q が得られる。国内最終需要 $F_{(0)}$ に関しては、3.4 節および第4章にてモデル化し得られた各財・サービス消費より求められる。

一方、生産要素供給 L_S , M_S , K_S は、固定的に供給されるものとする。

6. まとめ

本研究では、環境政策を評価するために、従来交通政策評価のために用いられてきたロジットモデルをミクロ経済行動にて解釈し、CGEモデルへの導入を図った。ロジットモデルの有用性は周知の通りであり、それをCGEモデルに組み込んだことにより、政策の交通体系に与える影響をより正確に捉えることが可能となり、それと同時に多岐にわたる政策を評価することが可能となった。また、本モデルでは終始一般均衡の枠組みにより定式化を行っており、これより従来、四段階推定法で問題とされていた誘発交通需要量の内生化および交通サービスと交通以外の財との需要の相互依存も考慮された形となっている。

さらに本モデルの特徴として、マイカーサービス消費を自動車の保有レベルと利用レベルとに分けてモデル化した点が挙げられる。これにより、より現実的なモデルとなっただけでなく、自動車の保有に対し規制を加える政策と自動車の利用に対し規制を加える政策との効果の違いを比較検討することが可能となった。

また本文中では触れなかったが、旅客運輸部門に対する政策のみならず貨物運輸部門に対する評価も本モデルを用いて行える。例えば、貨物輸送に費やされる時間をそこで働く労働者の拘束時間と捉えれば、政策による効果を労働時間の短縮とみなすことによりその影響評価が行える。

今後は以上示したような政策シナリオについて、実際に本モデルを用い評価を行っていく予定であり、そのいくつかは講演時に紹介を行う。

本研究は、運輸政策研究所の補助金及び文部省科学研究費補助金(特別研究員奨励費)による研究成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 森杉壽芳, 上田孝行, 武藤慎一: 運輸産業を取り入れた応用一般均衡モデルの開発, 土木計画学研究・論文集 No.13, 1996(掲載決定)。
- 2) 林良嗣, 加藤博和, 木本仁, 菅原敏文: 都市旅客交通のモーダルシフト政策に伴う CO₂ 排出量削減効果の推計, 土木計画学研究・論文集 No.12, pp.277-282, 1995。
- 3) 伊藤雅, 石田東生: ガソリン消費量モデルによる乗用車利用の地域・時系列特性の把握, 土木計画学研究・講演集 No.18(1), pp.107-110, 1995。
- 4) 土木学会土木計画学研究委員会編: 非集計行動モデルの理論と実際, (財)土木学会, 1995。
- 5) 宮城俊彦: ネスティド・エントロピーモデルとその応用, 土木計画学研究・講演集 No.18(2), pp.163-166, 1995。