固定費用の効率的負担に着目した適正な高速道路料金設定

田村　昴[1]・武藤　慎一[2]・池田 駿介[3]

[1]学生会員　山梨大学　大学院医工農学総合教育部工学専攻土木環境工学コース
（〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11）
E-mail: g23tc013@yamanashi.ac.jp

[2]正会員　山梨大学　大学院総合研究部工学域土木環境工学系（〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11）
E-mail: smutoh@yamanashi.ac.jp (Corresponding Author)

[3]学生会員　山梨大学　工学部土木環境工学科（〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11）
E-mail: t20ce003@yamanashi.ac.jp

高速道路のような交通インフラは多大な固定費用が生じることから，その適切な料金設定を行うことは困難とされてきた．現在の高速道路料金は，償還主義に基づき料金が設定されていることから，平均費用料金設定によるものと解釈できる．しかし，平均費用料金は必ずしも効率的とはいえず，固定費用と可変費用を明確に区別した上で，適正な料金設定を行うことが重要になる．本研究では，高速道路整備に関わる固定費用を考慮した SCGE モデルを構築し，その効率的な負担に着目して適正な高速道路料金を求める．具体的には，固定費用の税と料金との適切なバランスを検討し，適正な高速道路料金を明らかにする．

Key Words: *Fix costs of construction, efficient toll charging, SCGE Model, benefit evaluation*

1. はじめに

これまでの日本では，増加する自動車に対し，道路特定財源と有料道路制度で，道路整備を進めてきた．有料道路制度は昭和 27 年に制定され，当初の事業主体は，国，県，市であり，昭和 31 年に特別措置法が改正され，町村を含む地方自治体とされたほか，日本道路公団，首都高速道路，阪神高速道路，本州四国連絡高速道路がそれぞれ設立された．その後，平成 17 年に高速道路が民営化されることで，会社の自主性を尊重しつつ必要な道路を早期にできるだけ少ない国民負担で建設できること，民間ノウハウの発揮により，多様で弾力的な料金設定やサービスが提供できるようになった．民営化された当時は償還期間が 2050 年までとされていたが，平成 26 年度に独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構法の一部が改正され，特定更新事業のため，償還期間を15年延長，さらに近年では老朽化対策や4車線化の費用を確保するために償還期間を 2115 年まで延長する関連法案の改正案を提出したことが明らかとなっている（高速道路調査会[1)]）．

以上から高速道路料金は償還主義の原則の下，設定されてきた．すなわち，平均費用料金が採用されてきたといえる．しかし，全ての費用を高速道路利用者に払わせることは，料金水準が高くなるため，社会的な損失が発生し，経済的に非効率な状態を生じさせているとの指摘がある．そこで，森杉・河野[2)]は，費用の一部を税により支払う方法を提案している．そこでは，税の徴収によって，デッドウェイトロスと呼ばれる経済損失が発生する点に着目し，高速道路料金の水準によって生じる経済損失と税負担によって生じる経済損失の合計値を最小化する料金と税との効用水準を導出している．本研究は，森杉・河野の研究を基に，より具体的な税負担の設定について検討を行う．そのために，高速道路会社(日本高速道路保有・債務返済機構)と高速道路整備の固定費用分を明示化した SCGE モデルを構築する．そして，固定費用負担の経済的意味を改めて整理した上で，どのように税負担をすればよいのかを SCGE モデルによる数値計算も踏まえて明らかにすることを目的とする．

2. 高速道路料金の設定

(1) 現状の料金設定

一般的に，高速自動車道の料金は，利用一回あたり 150 円が固定的に付加され，利用距離に応じて 24.6(円/km)，それに消費税が課されて決定される．このうち，24.6(円/km)は，全国の高速道路整備費用と運営費用，維持管理費用の総額を利用者全員の総走行距離で除したものとして求められている．すなわち，平均費用原理に基づく料金設定である．

(2) 学術的な研究

森杉・河野は，道路整備における財源調達に伴う厚生損失を考慮した高速道路料金の効率的水準を最適課税理論に基づいて推計している [2]．具体的には，財源調達に伴う死荷重を考慮し，効率的な高速道路料金，燃料税，道路整備支出削減を理論的に導出している．

武藤らは，このような固定費用を考慮した SCGE モデルを構築している [3]．そこでは，リニア中央新幹線の評価に適用され，建設費用等の多額の費用を効率的に回収するため，それらの内の限界費用料金，平均費用料金，独占料金，現時点で考える想定料金の 4 種類の料金水準を設定し，その便益に与える影響を分析している．

(3) 固定費用の存在する料金設定

ここでは，日交研の枠組みにより，固定費用が存在する料金設定を理論的に整理した．

まずは，図-1 を用いて，固定費用が存在する場合の料金設定に係る問題を明らかにする．図-1 は，縦軸に料金(円)，横軸に交通量(トリップ)をとり，交通需要関数と限界費用(MC)関数，平均費用(AC)関数を示したものである．ここでは，高速道路サービスを供給するための生産行動モデルについて，後に示す SCGE モデルと整合させるため，規模に関して収穫一定の生産技術を仮定する．その結果，限界費用(MC)は図-1 の横軸に平行な直線となる．一方，平均費用(AC)は，固定費用を交通需要量で除した固定費用負担分を限界費用に足し合わせることで求められる．それは，図-1 のように右下がりの曲線となる．平均費用(AC)が右下がりになるのは，交通量が増大すれば単位あたりの固定費用の負担額が低減するという規模の経済が働くためである．

次に，固定費用が存在する場合にどのように料金が決定されるのかを示す．ここでは完全競争市場を想定する．そして，高速道路サービスの生産行動を以下の利潤最大化行動に定式化する．

$$\max_{y_T, l_T, k_T} \pi_T = p_T y_T - (w l_T + r k_T + FC) \quad (1)$$

$$s.t.\ y_T = y_T(l_T, k_T) \quad (2)$$

π_Tは利潤，y_T, p_Tは高速道路サービスの生産量とその価格，w, l_Tは賃金率と労働投入量，r, k_Tは利子率と資本投入量，FC は固定費用，y_Tは生産関数とする．y_Tは規模に関して収穫一定の技術を仮定する．この最適化問題は，まずy_Tを固定して考える．そ

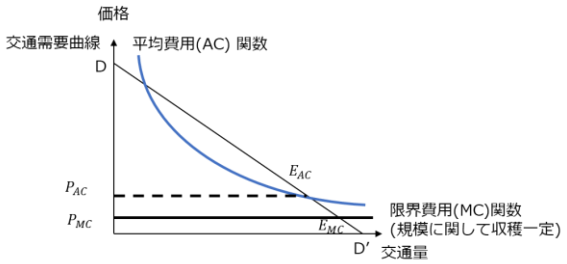


図-1 限界費用料金，平均費用料金の設定方法

の場合，双対定理により利潤最大化問題は費用最小化問題と等価になり，費用最小化問題を解くことにより以下の生産要素需要関数が導出される．なお，これは生産技術y_Tに対して，規模に関して収穫一定を仮定しているためである．

$$l_T = ul_T \times y_T \quad (3)$$

$$k_T = uk_T \times y_T \quad (4)$$

ul_T，uk_Tは単位生産量あたりの労働と資本の需要関数とする．式(3)と式(4)の需要関数を式(1)の目的関数に代入することで，高速道路サービスの利潤最大化行動モデルは以下のようになる．

$$\max_{y_T} \pi_T = p_T y_T - (c_T y_T + FC) \quad (5)$$

$c_T = w \cdot ul_T + r \cdot uk_T$の式であり，単位費用関数である．今，完全競争市場を想定しているため，価格は以下のように求められる．

$$p_T^{MC} = c_T \quad (6)$$

式(6)は高速道路サービス価格すなわち料金が限界費用 MC と一致することを表している．ここではp_T^{MC}を限界費用料金と呼ぶ．これは図-1 において，MC と交通需要関数の交点E_{MC}にて交通量が決定されることを表している．このとき，料金はP_{MC}，交通量はX_{MC}となり，利用者が得る消費者余剰は$DP_{MC}E_{MC}$となる．一方，このとき高速道路サービス企業は利潤が負の値を取る．

$$\pi_T = -FC \quad (7)$$

すなわち，限界費用料金の場合，高速道路サービス企業は採算がとれず，このままでは高速道路サービスを供給し続けることが困難である．

そこで，高速道路サービスが負とならないように式(5)の利潤関数に対し，$\pi_T = 0$として料金を導出する．その結果，高速道路サービス価格は以下のようになる．

$$p_T^{AC} = c_T + \frac{FC}{y_T} \quad (8)$$

これは料金が平均費用料金 AC と一致することを表しており，式(6)より$\frac{FC}{y_T}$だけ高くなっている．平均費用料金の場合，交通量は図-1 のように AC と交通需要関数の交点E_{AC}へと減少し，消費者余剰は$DP_{AC}E_{AC}$となる．これは，MC での料金設定の消費者余剰より小さくなっている．

本研究では，消費者余剰を減少させずに，固定費用 FC を負担することができないかを検討するものである．これには，運輸企業が高速道路サービスを投入する行動，そして通常の企業が道路サービスを投入する行動を考慮する必要があるため，固定費用を考慮した SCGE モデルを開発する．

3. 交通生産内生型 SCGE モデルの概要

本研究で用いる SCGE モデルは，武藤らによって開発された交通生産内生型 SCGE モデルを参考にした [4]．交通整備による交通所要時間短縮が，運輸企業の生産性を向上させ，それが運輸価格の低下を通じて利用者にもたらす効果が計測できる．交通整備による所要時間短縮が企業生産や家計消費に及ぼす影響，さらにそれが人の動き(人流)を介して市町村間へ波及的にもたらされる効果も計測できる．

SCGE モデルは，複数の地域から構成される社会経済を対象とする．各地域には代表家計，*m* 財を生産する *m* 企業，財や人を輸送する運輸企業が存在する．代表家計とは，その地域全体の家計消費を決定する仮想主体のことである．家計は，生産要素である労働と資本を企業に提供することで所得を得て，財・サービスを生産する．企業は生産要素(労働・資本)，中間財を投入して財・サービスを生産する．図に企業の生産行動モデルのツリーを，図に家計の消費行動モデルのツリーを示す．運輸企業の生産行動モデルツリーは図に示した企業と基本的に同様の生産行動モデルとなる．

(1) 企業の生産行動モデル

地域 *j* で，*m* 財を生産する企業の生産行動モデルは図−2 で示したとおりである．*m* 企業は，まず合成中間財と不動産サービスと合成生産要素を投入して *m* 財を生産する．このうち合成中間財に対しては，どの地域から *m* 財を投入しているのかを決定する．合成中間財には合成旅客交通サービスが含まれており，この合成中間財 *m* に対しての合成中間財 *n* と合成旅客交通サービスの投入量を決定する．合成中間財 *n* に対しては，地域 *i* の中間財 *n* と *ij* 間の合成貨物交通サービスの投入量を決定する．

合成貨物交通サービスは，それぞれ鉄道貨物，道路貨物，自家貨物，水運に分けられ，それぞれの投入量を決定する．一方，合成旅客交通サービスに対しては，鉄道旅客，道路旅客，自家旅客，航空に分けられ，それぞれの投入量を決定する．不動産サービスでは，地域間での投入はないとしているため，地域ごとで投入量は決定する．合成生産要素に対しては，労働や資本の投入量を決定する．さらに，労働と資本は，どの地域から投入しているかを決定する．以上の各段階の行動は，生産関数を Barro 型 CES 関数で特定化し，それを一定の生産基準に保つことを制約条件とした費用最小化問題により定式化される．

合成中間財と不動産サービスと合成生産要素の投入に係る費用最小化問題は以下のようになる．

$$p_m^j y_m^j = \min_{z_m^j, x_{RE_m}^j, cf_m^j} \begin{bmatrix} q_{zm}^j z_m^j + q_{RE_m}^j x_{RE_m}^j \\ +(1+\tau) p f_m^j c f_m^j \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$s.t. \quad y_m^j = \gamma_m^j \begin{bmatrix} \alpha_{zm}^j \{\beta_{zm}^j z_m^j\}^{\frac{\sigma_m^j - 1}{\sigma_m^j}} \\ +\alpha_{RE_m}^j \{\beta_{RE_m}^j x_{RE_m}^j\}^{\frac{\sigma_m^j - 1}{\sigma_m^j}} \\ +\alpha_m^j \{\beta_m^j c f_m^j\}^{\frac{\sigma_m^j - 1}{\sigma_m^j}} \end{bmatrix}^{\frac{\sigma_m^j}{\sigma_m^j - 1}} \tag{10}$$

y_m^j，p_m^jは地域 *j* での財 *m* の生産量と価格，z_m^j，q_{zm}^jは総合成中間財投入量とその価格(不動産は除く)，x_{REm}^j，q_{REm}^jは不動産サービス投入量とその価格，cf_m^j，pf_m^jは合成生産要素投入量とその価格，τ_m^jは純間接税率(間接税率−補助率)である．ラグランジュ未定乗数法により式(9)と式(10)を解くと，以下の需要関数が求められる．

$$z_m^j = \frac{1}{\gamma_m^j \left(\beta_{zm}^j\right)^{1-\sigma_m^j}} \left(\frac{\alpha_{zm}^j}{q_{zm}^j}\right)^{\sigma_m^j} {\Psi_m^j}^{\frac{\sigma_m^j}{1-\sigma_m^j}} y_m^j \tag{11}$$

$$x_{RE_m}^j = \frac{1}{\gamma_m^j \left(\beta_{RE_m}^j\right)^{1-\sigma_m^j}} \left(\frac{\alpha_{RE_m}^j}{q_{RE_m}^j}\right)^{\sigma_m^j} {\Psi_m^j}^{\frac{\sigma_m^j}{1-\sigma_m^j}} y_m^j \tag{12}$$

$$cf_m^j = \frac{1}{\gamma_m^j \left(\beta_m^j\right)^{1-\sigma_m^j}} \left(\frac{\alpha_m^j}{(1+\tau_m^j) p f_m^j}\right)^{\sigma_m^j} {\Psi_m^j}^{\frac{\sigma_m^j}{1-\sigma_m^j}} y_m^j \tag{13}$$

ただし，

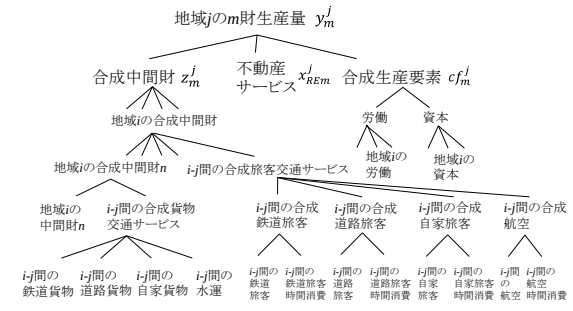


図-2 企業の生産行動モデルツリー

$$\Psi_m^j = \left(\alpha_{zm}^j\right)^{\sigma_m^j}\left(\frac{q_{zm}^j}{\beta_{zm}^j}\right)^{1-\sigma_m^j} + \left(\alpha_{RE_m}^j\right)^{\sigma_m^j}\left(\frac{q_{RE_m}^j}{\beta_{RE_m}^j}\right)^{1-\sigma_m^j} + \left(\alpha_{zm}^j\right)^{\sigma_m^j}\left(\frac{(1+\tau_m^j)pf_m^j}{\beta_m^j}\right)^{1-\sigma_m^j}$$

式(11)～式(13)を式(9)の目的関数に代入すると，m 財価格が求められる．

$$p_m^j = \frac{1}{\gamma_m^j}{\Psi_m^j}^{\frac{1}{1-\sigma_m^j}} \tag{14}$$

これ以降の定式化も行ったが，ここでは割愛する．これ以降の定式化は，各段階の費用最小化問題，需要関数，価格式を示している．

(2) 家計の消費行動モデル

続いて，家計の消費行動モデルを示す．その財消費行動モデルは，支出最小化行動により定式化される．

$$e_H^j = \min_{z_H^j, x_{RE_H}^j, l_H^j}\left[q_H^j z_H^j + p_{RE}^j x_{RE_H}^j + w^j l_H^j\right] \tag{15}$$

$$s.t.\ v_H^i = \gamma_H^j\left[\begin{array}{l}\alpha_{ZH}^j\left\{\beta_{ZH}^j z_H^j\right\}^{\frac{\sigma_H^j-1}{\sigma_H^j}} \\ +\alpha_{RE_H}^j\left\{\beta_{RE_H}^j x_{RE_H}^j\right\}^{\frac{\sigma_H^j-1}{\sigma_H^j}} \\ +\alpha_{LH}^j\left\{\beta_{LH}^j l_H^j\right\}^{\frac{\sigma_H^j-1}{\sigma_H^j}}\end{array}\right]^{\frac{\sigma_H^j}{\sigma_H^j-1}} \tag{16}$$

ただし，e_H^jは支出水準，z_H^j, q_H^jは合成消費・サービス財投入量とその価格，$x_{RE_H}^j, p_{RE}^j$は不動産サービス消費量と不動産サービス価格，l_H^j, w^jは余暇消費量と賃金率，v_H^iは直接効用水準，
$\alpha_{ZH}^j, \alpha_{RE_H}^j, \alpha_{LH}^j$ と $\beta_{ZH}^j, \beta_{RE_H}^j, \beta_{LH}^j$ は分配パラメータ $(\alpha_{ZH}^j + \alpha_{RE_H}^j + \alpha_{LH}^j = 1,\ \beta_{ZH}^j + \beta_{RE_H}^j + \beta_{LH}^j = 1)$，$\gamma_H^j$ は効率パラメータ，σ_H^jは代替弾力性パラメータである．
式(15)と式(16)を解くと，以下の需要関数が求められる．

$$z_H^j = \frac{1}{\gamma_H^j\left(\beta_{ZH}^j\right)^{1-\sigma_H^j}}\left(\frac{\alpha_{ZH}^j}{q_H^j}\right)^{\sigma_H^j}{\Psi_H^j}^{\frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j}} \cdot v_H^j \tag{17}$$

$$x_{RE_H}^j = \frac{1}{\gamma_H^j\left(\beta_{RE_H}^j\right)^{1-\sigma_H^j}}\left(\frac{\alpha_{RE_H}^j}{p_{RE}^j}\right)^{\sigma_H^j}{\Psi_H^j}^{\frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j}} \cdot v_H^j \tag{18}$$

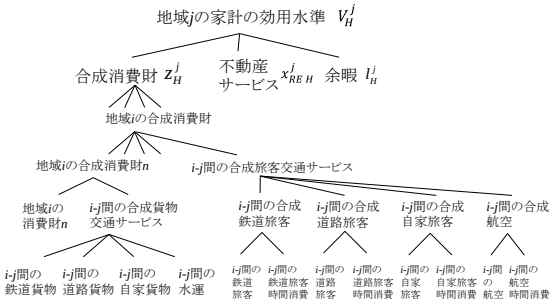


図-3 家計の消費行動モデルツリー

$$l_H^j = \frac{1}{\gamma_H^j\left(\beta_{LH}^j\right)^{1-\sigma_H^j}}\left(\frac{\alpha_{LH}^j}{w^j}\right)^{\sigma_H^j}{\Psi_H^j}^{\frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j}} \cdot v_H^j \tag{19}$$

ただし，

$$\Psi_H^j = \left(\alpha_{ZH}^j\right)^{\sigma_H^j}\left(\frac{q_H^j}{\beta_{ZH}^j}\right)^{1-\sigma_H^j} + \left(\alpha_{RE_H}^j\right)^{\sigma_H^j}\left(\frac{p_{RE}^j}{\beta_{RE_H}^j}\right)^{1-\sigma_H^j} + \left(\alpha_{LH}^j\right)^{\sigma_H^j}\left(\frac{w^j}{\beta_{LH}^j}\right)^{1-\sigma_H^j}$$

式(17)，式(18)，式(19)を式(15)に代入すると，支出水準が求められる．

$$e_H^j = \frac{1}{\gamma_H^j}{\Psi_H^j}^{\frac{1}{1-\sigma_H^j}} v_H^i \tag{20}$$

そもそも支出水準とは，価格が与えられた下で，v_H^iを実現するために必要な所得を意味する．今，価格が与えられるとすれば，式(20)の支出水準の式より効用水準は以下のようになる．

$$v_H^j = \frac{\Omega_H^j}{p_V^j} \tag{21}$$

また，簡単化のために

$$p_V^j = \frac{1}{\gamma_H^j}{\Psi_H^j}^{\frac{1}{1-\sigma_H^j}}$$

とおく．
式(21)の効用水準v_H^jを式(17)，式(18)，式(19)に代入すると，合成財消費量と余暇消費量が求められ，さらに式(20)から支出水準も得られる．

$$e_H^j = p_V^j v_H^j \tag{22}$$

これ以降の定式化も企業の生産行動モデルと同様に

行われるが，ここでは割愛する．

(3) 運輸企業の行動モデル

運輸サービス供給者である運輸企業の運輸サービス生産行動モデルの枠組みは，企業の生産行動モデルと同じである．ただし，OD 別の運輸サービスを生産するとしている点と交通政策が運輸企業の生産行動に与える影響が評価できるようにモデル化している点に差異がある．

OD 別の運輸サービスを生産するという点に関して，運輸サービス価格は以下のように得られる．

$$p_{Fm}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{Fm}^{j,k}} \Psi_{Fm}^{j,k\,\frac{1}{1-\sigma_{Fm}^{j,k}}} \tag{23}$$

ただし，

$$\Psi_{Fm}^{j,k} = \left(\alpha_{ZFm}^{j,k}\right)^{\sigma_{Fm}^{j,k}} \left(\frac{q_{ZFm}^{j,k}}{\beta_{ZFm}^{j,k}}\right)^{1-\sigma_{Fm}^{j,k}} + \left(1-\alpha_{ZFm}^{j,k}\right)^{\sigma_{Fm}^{j,k}} \left(\frac{pf_{ZFm}^{j,k}}{1-\beta_{ZFm}^{j,k}}\right)^{1-\sigma_{Fm}^{j,k}}$$

$q_{ZFm}^{j,k}$は貨物輸送サービスの価格，$pf_{ZEm}^{j,k}$は貨物運輸の価格，$\alpha_{ZFm}^{j,k}, \beta_{ZFm}^{j,k}$は分配パラメータ，$\gamma_{Fm}^{j,k}$は効率パラメータ，$\sigma_{Fm}^{j,k}$は代替弾力性パラメータ，添字 j,k は地域 j から地域 k への貨物輸送サービス，添字 Fm は交通機関別の貨物運輸を表す．以上より，本 SCGE モデルでは，運輸価格は OD 別に導出されることになる．

交通政策が運輸企業の生産行動に与える影響に関しては，運輸企業の労働と自動車などの輸送機械が主である資本を投入し，交通路を移動してものや人を輸送するという運輸サービスを生産している．まず，運輸企業の生産要素投入行動モデルにおいて，生産技術制約となる合成生産要素関数が交通所要時間と労働，資本に関してゼロ次同次性を有する合成生産要素関数は以下のように表される．なお，ここでも貨物運輸 Fm のモデル化を示す．

$$cf_{Fm}^{j,k}\left(t_{Fm}^{j,k}, l_{Fm}^{j,k}, k_{Fm}^{j,k}\right) = cf_{Fm}^{j,k}\left(\lambda t_{Fm}^{j,k}, \lambda l_{Fm}^{j,k}, \lambda k_{Fm}^{j,k}\right) \tag{24}$$

$t_{Fm}^{j,k}$は交通機関 Fm の地域 j,k 間の交通所要時間，$l_{Fm}^{j,k}, k_{Fm}^{j,k}$は労働投入量，資本投入量である．

式(24)のλを以下のようにおく．

$$\lambda = \frac{t_{Fm}^{j,k^A}}{t_{Fm}^{j,k}} \tag{25}$$

ただし，添字 A は交通整備なしを表す．
式(25)を式(24)に代入すると，合成生産要素関数は以下のようになる．

$$cf_{Fm}^{j,k} = cf_{Fm}^{j,k}\left(eff_{Fm}^{j,k} \times l_{Fm}^{j,k}, eff_{Fm}^{j,k} \times k_{Fm}^{j,k}\right) \tag{26}$$

$eff_{Fm}^{j,k} : \left[\frac{t_{Fm}^{j,k^A}}{t_{Fm}^{j,k}}\right]$であり，運輸企業の生産要素投入の効率性を表す指標と解釈できる．
式(26)に従えば，運輸企業の労働，資本の投入量決定モデルは以下のようになる．

$$pf_{Fm}^{j,k} cf_{Fm}^{j,k} = \min_{l_{Fm}^{j,k}, k_{Fm}^{j,k}} \left[w_{Fm}^{j,k} l_{Fm}^{j,k} + r_{Fm}^{j,k} k_{Fm}^{j,k}\right] \tag{27}$$

$$s.t.\ cf_{Fm}^{j,k} = \gamma_{CFFm}^{j,k} \left[\begin{array}{l} \alpha_{LFm}^{j,k} \\ \quad \left\{ \begin{array}{c} \beta_{LFm}^{j} \\ eff_{Fm}^{j,k} \times l_{Fm}^{j,k} \end{array} \right\}^{\frac{\sigma_{CFFm}^{j}-1}{\sigma_{CFFm}^{j}}} \\ \quad +\left(1-\alpha_{LFm}^{j,k}\right) \\ \left\{ \begin{array}{c} \left(1-\beta_{LFm}^{j}\right) \\ eff_{Fm}^{j,k} \times k_{Fm}^{j,k} \end{array} \right\}^{\frac{\sigma_{CFFm}^{j}-1}{\sigma_{CFFm}^{j}}} \end{array} \right]^{\frac{\sigma_{CFFm}^{j}}{\sigma_{CFFm}^{j}-1}} \tag{28}$$

式(27)と式(28)を解くと，以下の需要関数が得られる．

$$l_{Fm}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{CFFm}^{j,k}\left(\beta_{LFm}^{j,k} eff_{Fm}^{j,k}\right)^{1-\sigma_{CFm}^{j,k}}} \left(\frac{\alpha_{LFm}^{j,k}}{w_{Fm}^{j,k}}\right)^{\sigma_{CFFm}^{j,k}} \Psi_{CFFm}^{j,k\,\frac{\sigma_{CFFm}^{j,k}}{1-\sigma_{CFFm}^{j,k}}} \times cf_{Fm}^{j,k} \tag{29}$$

$$k_{Fm}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{CFFm}^{j,k}\left(\{1-\beta_{LFm}^{j,k}\} eff_{LFm}^{j,k}\right)^{1-\sigma_{CFm}^{j,k}}} \left(\frac{1-\alpha_{LFm}^{j,k}}{r_{Fm}^{j,k}}\right)^{\sigma_{CFFm}^{j,k}} \Psi_{CFFm}^{j,k\,\frac{\sigma_{CFFm}^{j,k}}{1-\sigma_{CFFm}^{j,k}}} \times cf_{Fm}^{j,k} \tag{30}$$

ただし，

$$\Psi_{CFFm}^{j,k} = \left(\alpha_{LFm}^{j,k}\right)^{\sigma_{CFm}^{j,k}} \left(\frac{w_{Fm}^{j,k}}{\beta_{LFm}^{j,k}}\right)^{1-\sigma_{CFFm}^{j,k}} + \left(1-\alpha_{LFm}^{j,k}\right)^{\sigma_{CFFm}^{j,k}} \left(\frac{r_{Fm}^{j,k}}{\{1-\beta_{LFm}^{j,k}\} eff_{LFm}^{j,k}}\right)^{1-\sigma_{CFFm}^{j,k}}$$

式(29)と式(30)を式(27)と式(28)に代入すると合成生産要素価格が求められる．

$$pf_{Fm}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{CFFm}^{j,k}} \Psi_{CFFm}^{j,k\,\frac{1}{1-\sigma_{CFFm}^{j,k}}} \tag{31}$$

この合成生産要素価格が，OD 間交通所要時間に依存して決定される生産要素投入効率性の関数となっており，本 SCGE モデルは，交通整備等の影響の一部はこの合成生産要素価格の変化から波及していく

構造となっている.

4. 高速道路サービスの生産行動の定式化

ここでは高速道路サービス供給者の生産行動モデルを考える．この生産行動では，高速道路サービスの生産量を合成中間財や合成生産要素といった可変費用と税で負担する固定費用に配分する問題としてモデル化する．これは，高速道路の費用において，固定費用が大半を占めていること，従来のモデルで費用の配分がきちんとなされていなかったことからである．その具体的な定式化は次に示す.

$$C_{m(h)}^{j,k} = \min_{z_{m(h)}^{j,k},cf_{m(h)}^{j,k}} \left[q_{m(h)}^{j,k} z_{m(h)}^{j,k} + FC + \left(1+\tau_{m(h)}^{j}\right) pf_{m(h)}^{j,k} cf_{m(h)}^{j,k} \right] \quad (32)$$

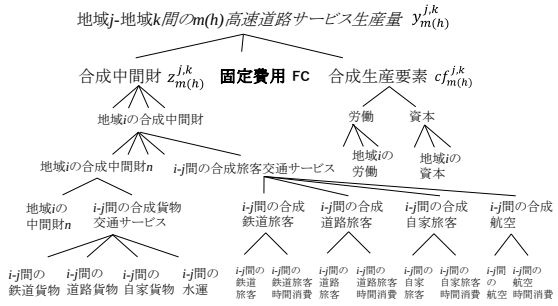
$$s.t.\ cf_{Fm}^{j,k} =$$

$$\gamma_{m(h)}^{j,k} \left[\begin{array}{c} \alpha_{m(h)}^{j,k} \left\{ \beta_{m(h)}^{j,k} z_{m(h)}^{j,k} \right\}^{\frac{\sigma_{m(h)}^{j,k}-1}{\sigma_{m(h)}^{j,k}}} \\ +\left(1-\alpha_{m(h)}^{j,k}\right) \\ \left\{ \left(1-\beta_{m(h)}^{j,k}\right) cf_{m(h)}^{j,k} \right\}^{\frac{\sigma_{m(h)}^{j,k}-1}{\sigma_{m(h)}^{j,k}}} \end{array} \right]^{\frac{\sigma_{m(h)}^{j,k}}{\sigma_{m(h)}^{j,k}-1}} \quad (33)$$

$C_{m(h)}^{j,k}$は地域 j での一般化費用で，$C_{m(h)}^{j,k} = P_{m(h)}^{j,k} y_{m(h)}^{j,k}$ で表す.

$y_{m(h)}^{j,k}, P_{m(h)}^{j,k}$は地域 j,k 間の生産量とその一般化価格，$z_{m(h)}^{j,k}, q_{m(h)}^{j,k}$ は合成中間財投入量とその価格，$cf_{m(h)}^{j,k}, pf_{m(h)}^{j,k}$は合成生産要素投入量とその価格，$\tau_{m(h)}^{j}$は純間接税率(間接税率−補助率)，FCは固定費用である．式(32)の FC は，単年度の固定費用である．ここでは，主に運輸企業の生産投入から法人税，高速道路を利用した家計の所得から所得税を得ることを考える.

式(32)と式(33)を解いて得られる需要関数は以下となる.



図−4 高速道路サービス供給者の生産行動モデルツリー

$$z_{m(h)}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{m(h)}^{j,k} \left(\beta_{m(h)}^{j,k}\right)^{1-\sigma_{m(h)}^{j,k}}} \left(\frac{\alpha_{m(h)}^{j,k}}{q_{m(h)}^{j,k}}\right)^{\sigma_{m(h)}^{j,k}} \Psi_{m(h)}^{j,k\ \frac{\sigma_{m(h)}^{j,k}}{1-\sigma_{m(h)}^{j,k}}} y_{m(h)}^{j,k} \quad (34)$$

$$cf_{m(h)}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{m(h)}^{j,k} \left(\beta_{m(h)}^{j,k}\right)^{1-\sigma_{m(h)}^{j,k}}} \left(\frac{\alpha_{m(h)}^{j,k}}{\left(1+\tau_{m(h)}^{j,k}\right) pf_{m(h)}^{j,k}}\right)^{\sigma_{m(h)}^{j,k}} \Psi_{m(h)}^{j,k\ \frac{\sigma_{m(h)}^{j,k}}{1-\sigma_{m(h)}^{j,k}}} y_{m(h)}^{j,k} \quad (35)$$

ただし，

$$\Psi_{m(h)}^{j,k} = \left(\alpha_{m(h)}^{j,k}\right)^{\sigma_{m(h)}^{j,k}} \left(\frac{q_{m(h)}^{j,k}}{\beta_{m(h)}^{j,k}}\right)^{1-\sigma_{m(h)}^{j,k}} + \left(\alpha_{m(h)}^{j,k}\right)^{\sigma_{m(h)}^{j,k}} \left(\frac{\left(1+\tau_{m(h)}^{j}\right) pf_{m(h)}^{j,k}}{\beta_{m(h)}^{j,k}}\right)^{1-\sigma_{m(h)}^{j,k}}$$

式(34)と式(35)を式(32)と式(33)に代入すると生産費用関数が以下の通り求められる.

$$C_{m(h)}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{m(h)}^{j,k}} \Psi_{m(h)}^{j,k\ \frac{\sigma_{m(h)}^{j,k}}{1-\sigma_{m(h)}^{j,k}}} y_{m(h)}^{j,k} + FC \quad (36)$$

限界費用により高速道路サービスの一般化価格を決定することを考える．これは，以下のようになる.

$$P_{m(h)}^{j,k(MC)} = \frac{1}{\gamma_{m(h)}^{j,k}} \Psi_{m(h)}^{j,k\ \frac{\sigma_{m(h)}^{j,k}}{1-\sigma_{m(h)}^{j,k}}} \quad (37)$$

これを利潤関数に代入する.

$$\pi_{m(h)}^{j,k} = P_{m(h)}^{j,k} y_{m(h)}^{j,k} - C_{m(h)}^{j,k} = -FC \quad (38)$$

以上より，限界費用にて高速道路サービスの財価格を決定する場合，高速道路サービス供給者の利潤は負となる．この負の利潤分を補填するために，固定費用を考慮した料金の検討を行う.

5. 固定費用を考慮した料金政策の検討

(1) 固定費用と料金の関係

まず，高速道路サービスの利潤が 0 となるような料金設定，すなわち平均費用による料金設定を考える．平均費用料金が現在我が国で導入されている高

速道路料金制度だからである．これは式(34)より以下のようになる．

$$p_h^{j,k} = c_h^{j,k} + \frac{FC}{y_h^{j,k}} \tag{39}$$

ただし，$c_h^{j,k}$：可変費用

本研究では，固定費用 FC の負担を軽減するようにしたい．例えば，FC が別の財源によって賄うことできるとする．そのとき，式(39)の FC は 0 になる．すなわち，

$$p_h^{j,k} = c_h^{j,k} \tag{40}$$

が成立する．これは，結局，限界費用料金になることを意味する．限界費用料金が社会的には最も効率的であることは既に述べたとおりである．しかし，限界費用料金に設定される場合，FC の財源をどこから調達するのかという問題に直面している．

そこで，産業連関構造を介して，FC を 0 にしたときの価格低下の波及効果について検討したい．なぜなら，その価格低下効果を相殺するように，例えば各企業の法人税を上昇させて FC の財源調達を行うことができれば，元の社会厚生を維持したまま，固定費用の財源調達が可能になるのではないかと考えたからである．

FC を 0 にしたときの価格低下の産業連関効果は，以下のようにまとめられる．FC を 0 にすることにより，高速道路サービス価格が低下する．その高速道路サービス価格を投入しているのは，道路および自家運輸企業であることから，高速道路サービス価格が低下すれば，道路および自家運輸企業の価格も低下する．その道路および自家運輸サービスは，すべての企業および家計が投入している．そのため，道路および自家運輸価格が低下すれば，企業の生産している財・サービス価格も低下する．しかし，家計の道路旅客，道路貨物，自家旅客に関しては最終消費となるため，何かの財・サービス価格の低下につながるということはない．

以上が高速道路サービス価格低下による産業連関効果であり，最終的には企業の生産している財・サービス価格が低下し，それを需要する経済主体に効果がもたらされることになる．また，家計の消費する道路旅客，道路貨物，自家旅客の各運輸サービスについては，その消費によって効果がもたらされる．

(2) FC を法人税で補填する場合

以上の効果を相殺するように，それぞれ企業および運輸企業に対し，法人税の増税を行えばよいのではないかというものが本研究の提案である．すなわち，式(39)に FC が含まれている場合には，その直接的負担を道路および自家運輸企業が行い，道路および自家運輸サービスを投入して生産する企業および家計が間接的に負担する．これを法人税の増税により，道路および自家運輸企業の負担をなくし，企業および家計が直接負担するようにしたいという趣旨である．

ただし，家計負担分は何かの法人税を増税することはできない．そこで，家計消費の道路および自家運輸企業については，その運輸企業の法人税の増税により家計に負担させるものとする．それでも，自家旅客運輸は，いわゆるマイカー消費であることから，この部分は直接高速道路サービスにおける FC の家計負担分を直接支出するシステムを導入する必要がある．この点は課題としたい．

この方法の利点は，FC の負担を道路および自家運輸企業から，企業や家計に変更するだけであることから，企業や家計がもともと支払っていた財・サービス価格は変化しないという点である．すなわち，財・サービス価格が変化しなければ，その投入量あるいは消費量も変化しない．そのため，家計の社会厚生は少なくともこの負担の変更によっては維持されるといえる．その結果，FC の財源を確保した上で，少なくとも平均費用料金における社会厚生は維持されることになる．

そして，本方法では，道路および自家運輸企業の直面する高速道路サービス価格は低下する．そのため，その需要は増加する可能性が高い．すなわち，積極的な高速道路利用がなされ，それによる時間短縮効果の発生が期待できる．そのとき，新たな高速道路利用によって生じる可変費用分 c は，道路および自家運輸企業が p として負担する．そして，FC については固定費用であることから，新たな高速道路利用によっては増加しない点である．したがって，本方法を採用したとしても固定費用 FC を増加させることなく，新たな高速道路利用に伴う時間短縮便益が発生する点にあり，これも加味すれば社会厚生は平均費用料金による現状よりも上昇するといえる．

(3) FC を法人税と所得税で補填する場合

前節では，FC を法人税のみで負担するケースを考えた．しかし，法人税に限定する必要はない．例えば，所得税を増税し FC に充てることも考えられる．そのときは，所得税によるデッドウェイトロスを，それによって財価格が上昇しないことによる便益と比較し，便益が大きければ所得税で補うことが正当化されることになる．これも今後検討したい．

6. おわりに

本研究では，高速道路料金の固定費用分を無料化にし，そのときの財源調達を税にて行うことで厚生にもたらす影響を検討した．固定費用分を 0 にし，その財源は法人税あるいは所得税を充てる．これにより，少なくとも元の社会厚生を維持したまま財源調達が可能になること，仮に固定費用も 0 にすることで，高速道路料金が低下し，その利用が増加した

場合には，時間短縮便益が生じ，社会厚生は上昇することを示した．

謝辞:
本研究は，科学研究費補助金・基盤研究(C)［課題番号 19K04658］（研究代表者：南山大学　石川良文教授）の研究成果の一部である．また，山梨経済同友会（長澤重俊代表幹事，入倉要代表幹事）のリニア・中央横断道部会（五領田周司部会長）の皆様から貴重なご意見をいただいた．ここに記して感謝の意を表したい．

REFERENCES

1) 公益財団法人　高速道路調査会　経済・経営研究部会：高速道路の料金及び課金のあり方に関する調査研究-持続可能な高速道路料金制度に向けて-，高速道路調査会，2021.
2) 森杉壽芳，河野達仁：道路整備財源調達に伴う厚生損失を考慮した高速道路料金の効率的水準，日本経済研究, No.67, 2012-7
3) 日本交通政策研究会：不完全競争を考慮した SCGE モデルの開発，日交研シリーズ，A(761)1 枚，2p，1-40,2020-03
4) 武藤慎一，東山洋平，河野達仁，福田敦：交通生産内生型 SCGE モデルの開発，土木学会論文集，Vol.75,No.3,pp.139-157,2019.
[Muto,S.,Higashiyama,Y.,Kono,T.,Hukuda,A.:Development of an endogenous SCGE model for transportation production, Civil Engineering Society Proceedings, Vol.75, No.3, pp.139-157, 2019.]

(Received October 13, 2023)