

交通生産を明示化したSCGEモデルによる 便益帰着分析

武藤 慎一¹・森杉 壽芳²

¹正会員 山梨大学准教授 大学院医学工学総合研究部 (〒400-0008 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail: smutoh@yamanashi.ac.jp

²正会員 日本大学教授 総合科学研究所 (〒101-8301 東京都千代田区神田駿河台1-8-13)

SCGEモデルとは「空間的応用一般均衡 (SCGE : Spatial Computable General Equilibrium) モデル」のことであり、応用一般均衡 (CGE) モデルを空間的に拡張したものである。整合性のある便益評価を行うためには、SCGEモデルによって計測される帰着便益が、発生ベースの利用者便益と整合的であることが必須となるが、これまでは便益計測の整合性に言及して正確に説明しているものはほとんどなかった。

本研究ではSCGEモデルで計測される便益を、便益帰着構成表 (BIT : Benefit Incidence Table) を用いて整理することで、発生ベースの利用者便益と整合的であることを明らかにする。なお、その際自家輸送も含め、交通サービス生産を明示化したSCGEモデルを構築する。そして、構築したSCGEモデルを用いて便益を計測し、それをBITにより整理することで発生ベースでの便益形を明らかにした。

Key Words : SCGE model, transport service producing, benefit incidence analysis

1. はじめに

SCGEモデルとは「空間的応用一般均衡 (SCGE : Spatial Computable General Equilibrium) モデル」のことであり、応用一般均衡 (CGE) モデルを空間的に拡張したものである。SCGEモデルは、これまで比較的規模の大きな交通整備の評価に用いられ、交通整備が地域経済にもたらす効果や影響を明らかにし、さらにそれらを便益により評価してきた。特に便益が、どの地域の、どの経済主体 (家計、企業、行政 (国・地方公共団体)) に、どのような形で、どの程度帰着するのかが正確に計測できる点に特長がある。ただし、整合性のある便益評価を行うためには、SCGEモデルによって計測される帰着便益が、発生ベースの利用者便益と整合的であることが必須となる。しかし、これまでSCGEモデル研究¹⁾²⁾では、こうした便益計測の整合性に言及して正確に説明しているものはほとんどなかった。そこで、本研究ではSCGEモデルで計測される便益を、便益帰着構成表 (BIT : Benefit Incidence Table) を用いて整理することで、発生ベースの利用者便益と整合的であることを明らかにする。

なお、このようにSCGEモデルによる便益計測の整理を行う過程で、従来のSCGEモデル³⁾⁴⁾が交通サービスの利用者効果しか捉えられていないことが判明した。すなわち、従来モデルでは交通サービスの生産構造を考慮し

ていないものが多く、考慮されていたとしても自家輸送までは考えられていなかった。交通整備は交通サービス生産の効率化にも寄与すると思われ、そうした効果が従来のSCGEモデルでは捉えられていなかったといえる。そこで、本研究では自家輸送も含め、交通サービス生産を明示化したSCGEモデルを構築する。そして、構築したSCGEモデルを用いて便益を計測し、それをBITにより整理することで発生ベースでの便益形を明らかにする。それにより、交通整備がどのように交通サービス生産を効率化させ、便益を生じさせるのかといった点を示すことができる。

2. 交通生産を明示化したSCGEモデル

(1) モデルの前提条件

SCGEモデルを構築するにあたり、以下の前提条件を置く。

- 1) 対象とする社会はJ地域に分割されている。
- 2) 各地域には代表家計とm財を生産する代表企業、そして運輸企業が存在する。
- 3) モデルでは、同種の財であっても生産された地域が異なれば消費地または投入地ではそれぞれ別種の財と見なされる (Armingtonの仮定)。

- 4) 財消費には運輸サービスの投入が必要であり、それを運輸企業が供給する。なお、運輸企業はODごとに運輸サービスを供給しているとする。
- 5) 生産要素は労働と資本であり、それらの生産要素市場は各地域で閉じている。一方、どの財市場も地域間で開放されており、財は自由に移輸入あるいは移輸出される。
- 6) すべての市場は完全競争的であり、長期均衡状態にある。
- 続いて、各主体の行動モデルをそれぞれ説明する。

(2) 運輸企業の行動モデル

本研究のSCGEモデルは、運輸企業の生産行動を明示的に扱っている点に特長がある。運輸企業は、企業および家計が財を消費する際、その輸送あるいは購入に必要な運輸サービスを供給している。厳密には、物の輸送に係わる運輸サービスは“貨物”，人の移動に係わる運輸サービスは“旅客”であるが、ここでは簡単化のため貨物運輸、旅客運輸とも運輸企業がまとめて供給しているとする。この「物の輸送」あるいは「人の移動」は地域間（内）で発生する。そのため、運輸サービスは地域間の交通に対して、すなわちODごとに供給される。そして、ODの時間距離あるいはその変化に応じて生産効率が変わる点も考慮する。すなわち運輸企業は、中間財と労働、資本を投入して運輸サービスを生産するとし、このうち労働、資本はOD間の交通所要時間に影響を受けるものとする。これは、交通整備等により交通所要時間が削減されれば、運輸企業の投入する労働および自動車等の資本を節約することができ、その結果運輸企業の生産効率が向上することを表現したものである。

以上を踏まえ、地域 j に立地する運輸企業が地域 i 間のODに対する運輸サービス y_T^{ij} を供給する際の行動ツリーを図-1に示した。具体的には、運輸企業は第一段階で合成中間財と付加価値の投入量を決定し、第二段階で合成中間財の財別投入量を決定する。第三段階では中間財の地域別投入量を決定し、第四段階では中間財と運輸サービスの投入量を決定する。一方、付加価値については労働と資本の投入量を決定する。なお、上で述べた交通整備による運輸企業の生産効率向上は、この中の付加価値に関する労働、資本投入にて定式化される。また、中間財の地域別投入量決定に際しては、Amingtonの仮定により、財が同種であったとしても便宜的に各地域の財は別種であるとする。また、生産要素については、ここでは自地域からのみ投入するものとしたが、財と同様他地域からの投入を想定することも可能である。しかし、既存のSCGEモデル¹⁾などでは自地域からのみ生産要素を投

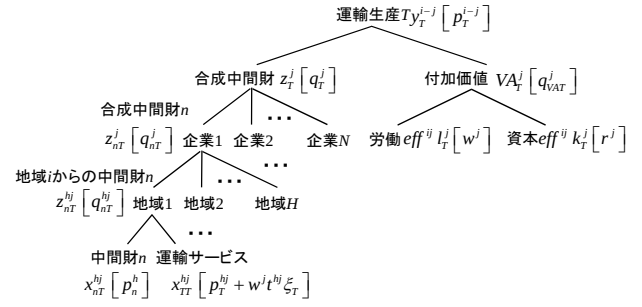


図-1 運輸企業の行動モデルツリー

入するとされる場合が多かったためそれにしたがうこととした。

以上の行動モデルをBarro型CES関数により特定化した生産技術制約下での費用最小化問題により定式化する。

a) 合成中間財，付加価値投入量の決定

第一段階の費用最小化問題は以下になる。なお、以下の定式化は地域 i 間の運輸サービス生産を対象としたものであり、投入財あるいは投入生産要素にも添字 ij が必要であるが、ここでは煩雑となるため省略している。

$$p_T^{i-j} y_T^{i-j} = \min_{z_T^j, VA_T^j} [q_{ZT}^j z_T^j + q_{VAT}^j VA_T^j] \quad (1a)$$

$$\text{s.t. } y_T^{i-j} = \gamma_{ZT}^j \left[\alpha_{ZT}^j \left\{ \beta_{ZT}^j z_T^j \right\}^{\frac{\sigma_{ZT}^j - 1}{\sigma_{ZT}^j}} + (1 - \alpha_{ZT}^j) \left\{ (1 - \beta_{ZT}^j) VA_T^j \right\}^{\frac{\sigma_{ZT}^j - 1}{\sigma_{ZT}^j}} \right]^{\frac{\sigma_{ZT}^j}{\sigma_{ZT}^j - 1}} \quad (1b)$$

ただし、添字 T ：運輸企業を表す、添字 $i-j$ ：運輸サービスの供給対象となるODを表す（すなわち、運輸企業は地域 $i-j$ 間のODに対する運輸サービスを供給する）、 j ：運輸企業の立地している地域を表す、 y_T^{i-j} ：運輸サービス生産量、 z_T^j ：合成中間財投入量、 VA_T^j ：付加価値投入量、 p_T^{i-j} ：運輸サービス価格、 q_{ZT}^j ：合成中間財価格、 q_{VAT}^j ：付加価値価格、 $\alpha_{ZT}^j, \beta_{ZT}^j$ ：分配パラメータ、 γ_{ZT}^j ：合成中間財と付加価値の投入効率性を表す係数、 σ_{ZT}^j ：合成中間財と合成生産要素投入に対する代替弾力性。

式(1)を解くと、以下のように合成中間財と付加価値の需要関数が求められる。

$$z_T^j = \frac{1}{\gamma_{ZT}^j (\beta_{ZT}^j)^{1 - \sigma_{ZT}^j}} \left(\frac{\alpha_{ZT}^j}{q_{ZT}^j} \right)^{\sigma_{ZT}^j} \Psi_{ZT}^j \frac{\sigma_{ZT}^j}{1 - \sigma_{ZT}^j} y_T^{i-j} \quad (2a)$$

$$VA_T^j = \frac{1}{\gamma_{ZT}^j (1 - \beta_{ZT}^j)^{1 - \sigma_{ZT}^j}} \left(\frac{1 - \alpha_{ZT}^j}{q_{VAT}^j} \right)^{\sigma_{ZT}^j} \Psi_{ZT}^j \frac{\sigma_{ZT}^j}{1 - \sigma_{ZT}^j} y_T^{i-j} \quad (2b)$$

ただし、

$$\Psi_{ZT}^j = (\alpha_{ZT}^j)^{\sigma_{ZT}^j} \left(\frac{q_{ZT}^j}{\beta_{ZT}^j} \right)^{1-\sigma_{ZT}^j} + (1-\alpha_{ZT}^j)^{\sigma_{ZT}^j} \left(\frac{q_{VAT}^j}{1-\beta_{ZT}^j} \right)^{1-\sigma_{ZT}^j}.$$

式(2)を式(1a)の目的関数に代入すると、運輸サービス価格が求められる。

$$p_T^{i-j} = \frac{1}{\gamma_{ZT}^j} \Psi_{ZT}^j \frac{1}{1-\sigma_{ZT}^j} \quad (3)$$

b) 合成中間財の財別投入量の決定

第二段階の費用最小化問題は以下ようになる。

$$q_{ZT}^j z_{ZT}^j = \min_{z_{nT}^j} \left[\sum_n q_{nT}^j z_{nT}^j \right] \quad (4a)$$

$$\text{s.t. } z_{ZT}^j = \gamma_T^j \left[\sum_n \alpha_{nT}^j \left\{ \beta_{nT}^j z_{nT}^j \right\}^{\frac{\sigma_T^j-1}{\sigma_T^j}} \right]^{\frac{\sigma_T^j}{\sigma_T^j-1}} \quad (4b)$$

ただし、添字 n : 運輸企業が投入する中間財の種類、 z_{nT}^j : 合成中間財 n の投入量、 q_{nT}^j : 合成中間財 n の価格、 $\alpha_{nT}^j, \beta_{nT}^j$: 分配パラメータ $[\sum_n \alpha_{nT}^j = 1, \sum_n \beta_{nT}^j = 1]$ 、 γ_T^j : 財 n 別合成中間財の投入効率性を表す係数、 σ_T^j : 財 n 別合成中間財投入に対する代替弾力性。

式(4)を解くと、以下のように財 n 別合成中間財の需要関数が求められる。

$$z_{nT}^j = \frac{1}{\gamma_T^j (\beta_{nT}^j)^{1-\sigma_T^j}} \left(\frac{\alpha_{nT}^j}{q_{nT}^j} \right)^{\sigma_T^j} \Psi_T^j \frac{\sigma_T^j}{1-\sigma_T^j} z_T^j \quad (5)$$

$$\text{ただし, } \Psi_T^j = \sum_n (\alpha_{nT}^j)^{\sigma_T^j} \left(\frac{q_{nT}^j}{\beta_{nT}^j} \right)^{1-\sigma_T^j}.$$

式(5)を式(4a)の目的関数に代入すると、合成中間財 n の価格が求められる。

$$q_{nT}^j = \frac{1}{\gamma_T^j} \Psi_T^j \frac{1}{1-\sigma_T^j} \quad (5)$$

c) 中間財の地域別投入量の決定

第三段階の中間財の地域投入量決定では、運輸企業が地域 h から中間財を投入するものとする。運輸企業は地域 j に立地するとしているため、ここでは地域 $h-j$ 間の中間財投入量の決定問題を考えることになる。これは、以下のような費用最小化問題として記述できる。

$$q_{nT}^j z_{nT}^j = \min_{z_{nT}^{hj}} \left[\sum_h q_{nT}^{hj} z_{nT}^{hj} \right] \quad (7a)$$

$$\text{s.t. } z_{nT}^j = \gamma_{nT}^j \left[\sum_h \alpha_{nT}^{hj} \left\{ \beta_{nT}^{hj} z_{nT}^{hj} \right\}^{\frac{\sigma_{nT}^j-1}{\sigma_{nT}^j}} \right]^{\frac{\sigma_{nT}^j}{\sigma_{nT}^j-1}} \quad (7b)$$

ただし、添字 hj : 中間財がどの地域からどの地域へ輸送されるのかを表す、 z_{nT}^{hj} : 地域 h から投入される合成中間財 n の投入量、 q_{nT}^{hj} : 地域 h から投入される合成中間財 n の価格、 $\alpha_{nT}^{hj}, \beta_{nT}^{hj}$: 分配パラメータ $[\sum_h \alpha_{nT}^{hj} = 1, \sum_h \beta_{nT}^{hj} = 1]$ 、 γ_{nT}^j : 地域 h から投入される合成中間財 n の投入効率性を表す係数、 σ_{nT}^j : 地域 h から投入される合成中間財 n の投入に対する代替弾力性。

式(7)を解くと以下のように地域 h から投入される合成中間財 n の需要関数が求められる。

$$z_{nT}^{hj} = \frac{1}{\gamma_{nT}^j (\beta_{nT}^{hj})^{1-\sigma_{nT}^j}} \left(\frac{\alpha_{nT}^{hj}}{q_{nT}^{hj}} \right)^{\sigma_{nT}^j} \Psi_{nT}^j \frac{\sigma_{nT}^j}{1-\sigma_{nT}^j} z_{nT}^j \quad (8)$$

$$\text{ただし, } \Psi_{nT}^j = \sum_h (\alpha_{nT}^{hj})^{\sigma_{nT}^j} \left(\frac{q_{nT}^{hj}}{\beta_{nT}^{hj}} \right)^{1-\sigma_{nT}^j}.$$

式(8)を式(7a)の目的関数に代入すると、合成中間財 n の価格が求められる。

$$q_{nT}^j = \frac{1}{\gamma_{nT}^j} \Psi_{nT}^j \frac{1}{1-\sigma_{nT}^j} \quad (9)$$

d) 中間財 n 、運輸サービス投入量の決定

第四段階は中間財 n と運輸サービスの投入に関するものであるが、運輸サービスの投入に伴い交通時間の投入も必要な場合がある。具体的には、旅客交通において公共交通を利用する際や、自家用自動車でも同乗者として交通を利用する際には移動に伴う交通時間を消費する。これについては、一般的な交通需要予測モデル等で用いられる一般化価格の考え方を利用すれば定式化できる。これより第四段階の費用最小化問題は以下ようになる。

$$q_{nT}^{hj} z_{nT}^{hj} = \min_{x_{nT}^{hj}, x_{TT}^{hj}} \left[p_n^h x_{nT}^{hj} + (p_T^{hj} + w^j t^{hj} \xi_T) x_{TT}^{hj} \right] \quad (10a)$$

$$\text{s.t. } z_{nT}^{hj} = \gamma_{nT}^{hj} \left[(1-\alpha_{nT}^{hj}) \left\{ (1-\beta_{nT}^{hj}) x_{nT}^{hj} \right\}^{\frac{\sigma_{nT}^{hj}-1}{\sigma_{nT}^{hj}}} + \alpha_{nT}^{hj} \left\{ \beta_{nT}^{hj} x_{TT}^{hj} \right\}^{\frac{\sigma_{nT}^{hj}-1}{\sigma_{nT}^{hj}}} \right]^{\frac{\sigma_{nT}^{hj}}{\sigma_{nT}^{hj}-1}} \quad (10b)$$

ただし、 x_{nT}^{hj} : 地域 h から投入される中間財 n の投入量、 x_{TT}^{hj} : 地域 h から j へ中間財を輸送するための運輸サービス投入量、 p_n^h : 地域 h における n 財価格、 p_T^{hj} : 地域 $h-j$ 間の運輸サービス価格、 t^{hj} : 地域 $h-j$ 間の交通所要時間、 ξ_T : x_{TT}^{hj} の単位をトリップに換算するための係数、 $\alpha_{nT}^{hj}, \beta_{nT}^{hj}$: 分配パラメータ、 γ_{nT}^{hj} : 中間財 n と運輸サービスの投入効率性を表す係数、 σ_{nT}^{hj} : 中間財 n と運輸サービス投入に対する代替弾力性。

式(10)を解くと、以下のように中間財 n と運輸サービスの需要関数が求められる。

$$x_{nT}^{hj} = \frac{1}{\gamma_{nT}^{hj} (1 - \beta_{TT}^{hj})^{1 - \sigma_{nT}^{hj}}} \left(\frac{1 - \alpha_{TT}^{hj}}{p_n^h} \right)^{\sigma_{nT}^{hj}} \Psi_{nT}^{hj \frac{\sigma_{nT}^{hj}}{1 - \sigma_{nT}^{hj}}} z_{nT}^{hj} \quad (11a)$$

$$x_{TT}^{hj} = \frac{1}{\gamma_{nT}^{hj} (\beta_{TT}^{hj})^{1 - \sigma_{nT}^{hj}}} \left(\frac{\alpha_{TT}^{hj}}{p_T^h + w^j \xi t^{hj}} \right)^{\sigma_{nT}^{hj}} \Psi_{nT}^{hj \frac{\sigma_{nT}^{hj}}{1 - \sigma_{nT}^{hj}}} z_{nT}^{hj} \quad (11b)$$

ただし、

$$\Psi_{nT}^{hj} = (1 - \alpha_{TT}^{hj})^{\sigma_{nT}^{hj}} \left(\frac{p_n^h}{1 - \beta_{TT}^{hj}} \right)^{1 - \sigma_{nT}^{hj}} + (\alpha_{TT}^{hj})^{\sigma_{nT}^{hj}} \left(\frac{p_T^h + w^j \xi t^{hj}}{\beta_{TT}^{hj}} \right)^{1 - \sigma_{nT}^{hj}}.$$

式(11)を式(10a)の目的関数に代入すると、運輸サービス価格が求められる。

$$q_{nT}^{hj} = \frac{1}{\gamma_{nT}^{hj}} \Psi_{nT}^{hj \frac{1}{1 - \sigma_{nT}^{hj}}} \quad (12)$$

e) 労働、資本投入量の決定

付加価値に関する労働、資本の投入モデルにおいては、本節の冒頭にて説明したとおり交通整備の影響を考慮する。そのために、まず付加価値に係わる技術に対し、交通所要時間、労働投入、資本投入に関するゼロ次同次性を仮定する。ゼロ次同次性とは、ある量が λ 倍になった場合、他の量も同様に λ 倍になれば付加価値量が変化しないという性質である。これは、交通所要時間が半分になった場合、当該交通路を移動して運輸サービスを生産する運輸企業の労働投入量および資本投入量が半分ですむことを表現したものであり、逆に労働、資本投入量が半分になっても運輸サービス生産水準を整備なしの状態に維持できることを意味するため、交通整備による運輸企業の生産効率向上のメカニズムを表しているといえる。

ゼロ次同次性を有する付加価値関数は、以下のよう表される。

$$\begin{aligned} VA_T^j &= VA_T^j(t^{ij}, l_T^j, k_T^j) \\ &= VA_T^j(\lambda t^{ij}, \lambda l_T^j, \lambda k_T^j) \end{aligned} \quad (13a)$$

ただし、 t^{ij} ：地域 i 間の交通所要時間。

ここで、 $\lambda = \frac{t^{ijA}}{t^{ij}}$ とおく。ただし、 t^{ijA} ：交通整備なしの交通所要時間。この結果、式(13a)は以下となる。

$$\begin{aligned} VA_T^j &= VA_T^j \left(t^{ijA}, \frac{t^{ijA}}{t^{ij}} l_T^j, \frac{t^{ijA}}{t^{ij}} k_T^j \right) \\ &= VA_T^j (eff^{ij} l_T^j, eff^{ij} k_T^j) \end{aligned} \quad (10b)$$

ただし、 $eff^{ij} = \frac{t^{ijA}}{t^{ij}}$ 。

式(13b)に基づき、付加価値関数をBarro型CES関数で表すと以下ようになる。

$$\begin{aligned} VA_T^j &= \gamma_{VAT}^j \left[\alpha_{LT}^j \left\{ \beta_{LT}^j \cdot eff^{ij} l_T^j \right\}^{\frac{\sigma_{VAT}^j - 1}{\sigma_{VAT}^j}} \right. \\ &\quad \left. + (1 - \alpha_{LT}^j) \left\{ (1 - \beta_{LT}^j) eff^{ij} k_T^j \right\}^{\frac{\sigma_{VAT}^j - 1}{\sigma_{VAT}^j}} \right]^{\frac{\sigma_{VAT}^j}{\sigma_{VAT}^j - 1}} \quad (14) \end{aligned}$$

ただし、 $\alpha_{LT}^j, \beta_{LT}^j$ ：分配パラメータ、 γ_{VAT}^j ：労働と資本の投入効率性を表す係数、 σ_{VAT}^j ：労働と資本投入に関する代替弾力性。

式(14)を踏まえ、第四段階の費用最小化問題を構築したものが以下である。

$$q_{VAT}^j VA_T^j = \min_{l_T^j, k_T^j} \left[w^j l_T^j + r^j k_T^j \right] \quad (15a)$$

$$\text{s.t. 式(14)} \quad (15b)$$

ただし、 l_T^j ：労働投入量、 k_T^j ：資本投入量、 w^j ：地域 j の労働市場において清算される賃金率、 r^j ：地域 j の資本市場において清算される利子率。

式(15)を解くと、以下のように労働、資本の需要関数が求められる。

$$l_T^j = \frac{1}{\gamma_{VAT}^j (\beta_{LT}^j eff^{ij})^{1 - \sigma_{VAT}^j}} \left(\frac{\alpha_{LT}^j}{w^j} \right)^{\sigma_{VAT}^j} \Psi_{VAT}^j \frac{\sigma_{VAT}^j}{1 - \sigma_{VAT}^j} VA_T^j \quad (16a)$$

$$k_T^j = \frac{1}{\gamma_{VAT}^j \left\{ (1 - \beta_{LT}^j) eff^{ij} \right\}^{1 - \sigma_{VAT}^j}} \left(\frac{1 - \alpha_{LT}^j}{r^j} \right)^{\sigma_{VAT}^j} \Psi_{VAT}^j \frac{\sigma_{VAT}^j}{1 - \sigma_{VAT}^j} VA_T^j \quad (16b)$$

$$\begin{aligned} \Psi_{VAT}^j &= (\alpha_{LT}^j)^{\sigma_{VAT}^j} \left(\frac{w^j}{\beta_{LT}^j eff^{ij}} \right)^{1 - \sigma_{VAT}^j} \\ &\quad + (1 - \alpha_{LT}^j)^{\sigma_{VAT}^j} \left(\frac{r^j}{\{1 - \beta_{LT}^j\} eff^{ij}} \right)^{1 - \sigma_{VAT}^j}. \end{aligned}$$

式(16)を式(15a)の目的関数に代入すると、付加価値価格が求められる。

$$q_{VAT}^j = \frac{1}{\gamma_{VAT}^j} \Psi_{VAT}^j \frac{1}{1 - \sigma_{VAT}^j} \quad (17)$$

(3) 企業の行動モデル

続いて、地域 j に立地し財 m を生産する企業の行動モデルを示す。その生産行動モデルは、基本的には運輸企業の生産行動モデルと同様であり、具体的には図-2のような行動モデルツリーとなる。定式化も基本的には同じである。ただし、e)の労働、資本投入に係わるモデルのみ

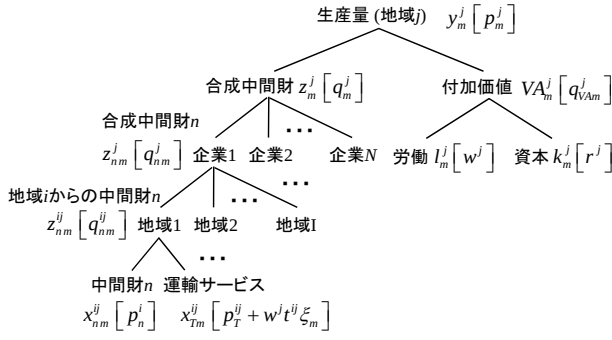


図-2 企業の行動モデルツリー

異なるため、その部分のみ定式化を示すこととする。

a) 企業の労働、資本投入量の決定

運輸企業の労働、資本投入モデルは、生産要素投入の効率化を表現した。しかし、企業については通常の費用最小化問題により定式化を行う。

$$q_{VA_m}^j VA_m^j = \min_{l_m^j, k_m^j} [w^j l_m^j + r^j k_m^j] \quad (18a)$$

$$\text{s.t. } VA_m^j = \gamma_{VA_m}^j \left[\alpha_{Lm}^j \left\{ \beta_{Lm}^j l_m^j \right\}^{\frac{\sigma_{VA_m}^j - 1}{\sigma_{VA_m}^j}} + (1 - \alpha_{Lm}^j) \left\{ (1 - \beta_{Lm}^j) k_m^j \right\}^{\frac{\sigma_{VA_m}^j - 1}{\sigma_{VA_m}^j}} \right]^{\frac{\sigma_{VA_m}^j}{\sigma_{VA_m}^j - 1}} \quad (18b)$$

ただし、 l_m^j ：労働投入量、 k_m^j ：資本投入量、 w_m^j ：賃金率、 r_m^j ：利子率、 $\alpha_{Lm}^j, \beta_{Lm}^j$ ：分配パラメータ、 $\gamma_{VA_m}^j$ ：労働、資本の投入効率性を表す係数、 $\sigma_{VA_m}^j$ ：労働、資本の投入に対する代替弾力性。

式(18)を解くと、以下のように労働、資本の需要関数が求められる。

$$l_m^j = \frac{1}{\gamma_{VA_m}^j (\beta_{Lm}^j)^{1 - \sigma_{VA_m}^j}} \left(\frac{\alpha_{Lm}^j}{w^j} \right)^{\frac{\sigma_{VA_m}^j}{1 - \sigma_{VA_m}^j}} \Psi_{VA_m}^j \frac{\sigma_{VA_m}^j}{1 - \sigma_{VA_m}^j} VA_m^j \quad (19a)$$

$$k_m^j = \frac{1}{\gamma_{VA_m}^j (1 - \beta_{Lm}^j)^{1 - \sigma_{VA_m}^j}} \left(\frac{1 - \alpha_{Lm}^j}{r^j} \right)^{\frac{\sigma_{VA_m}^j}{1 - \sigma_{VA_m}^j}} \Psi_{VA_m}^j \frac{\sigma_{VA_m}^j}{1 - \sigma_{VA_m}^j} VA_m^j \quad (19b)$$

ただし、

$$\Psi_{VA_m}^j = \left(\alpha_{Lm}^j \right)^{\frac{\sigma_{VA_m}^j}{1 - \sigma_{VA_m}^j}} \left(\frac{w^j}{\beta_{Lm}^j} \right)^{1 - \sigma_{VA_m}^j} + (1 - \alpha_{Lm}^j)^{\frac{\sigma_{VA_m}^j}{1 - \sigma_{VA_m}^j}} \left(\frac{r^j}{1 - \beta_{Lm}^j} \right)^{1 - \sigma_{VA_m}^j}.$$

式(19)を式(18a)の目的関数に代入すると、付加価値価格が求められる。

$$q_{VA_m}^j = \frac{1}{\gamma_{VA_m}^j} \Psi_{VA_m}^j \frac{1}{1 - \sigma_{VA_m}^j} \quad (20)$$

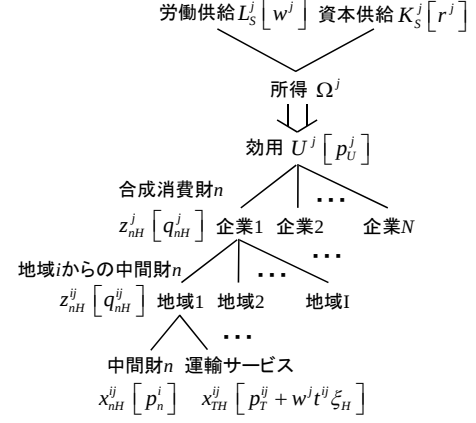


図-3 家計の行動モデルツリー

(4) 家計の行動モデル

続いて家計の行動モデルを示す。ここでは地域*j*に住する代表家計を想定し、その行動モデルツリーを図-3のようにモデル化した。まず家計は、総利用可能時間に賃金率を乗じて求められる時間所得に、資本を企業に提供して得られる資本所得を加えた総所得を得る。その所得を基に、合成消費財の財*n*別消費量を決定する。次に消費財の地域別投入量を決定し、その後消費財と運輸サービスの消費量を決定する。

以上の行動モデルを、Barro型CES関数により特定化した効用水準を一定とする制約下での支出最小化問題により定式化する。家計の行動モデルは効用最大化問題により定式化される場合が多いが、武田³⁾は双対アプローチに基づき支出最小化行動で定式化の方が数値計算のプログラミング等において優位であると指摘しており、ここではそれにしたがって定式化を行った。

a) 家計所得の決定

家計は、保有している資本はすべて企業に提供するものとする。他地域の企業に、資本あるいは労働を供給するとの想定も可能であるが、既存のSCGEモデル¹⁾などでは自地域に対してのみ生産要素を供給するとされる場合が多かったため、それにしたがうこととした。以上より、家計が得る所得 Ω^j は以下のように求められる。

$$\Omega^j = w^j T^j + r^j K_s^j + S_F^j \quad (21)$$

ただし、 w^j ：賃金率、 T^j ：家計の総利用可能時間、 r^j ：利子率、 K_s^j ：家計の資本供給量、 S_F^j ：域外貯蓄。域外貯蓄 S_F^j は以下により求められる。

$$S_F^j = - \left[\sum_i \sum_n \left\{ \sum_m x_{nm}^{ji} + x_{nT}^{ji} + x_{nH}^{ji} \right\} - \sum_i \sum_n \left\{ \sum_m x_{nm}^{ij} + x_{nT}^{ij} + x_{nH}^{ij} \right\} \right] (i \neq j) \quad (22)$$

式(22)の第一項は総移出額、第二項は総移入額であり、域外貯蓄 S_F^j は純移出入額にマイナスを付けたものであることがわかる。いわゆる経常収支である。これは、本来は投資として域内に還元されるものであるが、本SCGEモデルは投資部門がないため家計所得を通じて域内に還元されるものとした。

b) 合成消費財の財別消費量の決定

合成消費財の財別消費に係わる支出最小化問題は以下のようになる。

$$p_U^j U^j = \min_{z_{nH}^j} \left[\sum_n q_{nH}^j z_{nH}^j \right] \quad (23a)$$

$$\text{s.t. } U^j = \gamma_H^j \left[\sum_n \alpha_{nH}^j \left\{ \beta_{nH}^j z_{nH}^j \right\}^{\frac{\sigma_H^j - 1}{\sigma_H^j}} \right]^{\frac{\sigma_H^j}{\sigma_H^j - 1}} \quad (23b)$$

ただし、添字 H : 家計を表す、添字 n : 家計が消費する消費財の種類、 U^j : 家計の効用水準、 z_{nH}^j : 合成消費財 n の消費量、 p_U^j : 効用水準価格、 q_{nH}^j : 合成消費財 n の価格、 $\alpha_{nH}^j, \beta_{nH}^j$: 分配パラメータ $[\sum_n \alpha_{nH}^j = 1, \sum_n \beta_{nH}^j = 1]$ 、 γ_H^j : 財 n 別合成消費財の消費効率性を表す係数、 σ_H^j : 財 n 別合成消費財消費に対する代替弾力性。

式(23)を解くと、以下のように家計の財 n 別合成消費財の需要関数が求められる。

$$z_{nH}^j = \frac{1}{\gamma_H^j (\beta_{nH}^j)^{1-\sigma_H^j}} \left(\frac{\alpha_{nH}^j}{q_{nH}^j} \right)^{\sigma_H^j} \Psi_H^j \frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j} U^j \quad (24)$$

$$\text{ただし、} \Psi_H^j = \sum_n (\alpha_{nH}^j)^{\sigma_H^j} \left(\frac{q_{nH}^j}{\beta_{nH}^j} \right)^{1-\sigma_H^j}.$$

式(24)を式(23a)の目的関数に代入すると、効用水準価格が求められる。

$$p_U^j = \frac{1}{\gamma_H^j} \Psi_H^j \frac{1}{1-\sigma_H^j} \quad (25)$$

以上を実際に計算するためには、式(24)の需要関数の効用水準 U^j を求めておく必要がある。これは、式(23)の支出最小化問題の左辺が支出関数であることから導かれる。すなわち、まず支出関数を e^j で表すと以下が成立する。

$$e^j = p_U^j U^j \quad (26)$$

さらに、整備の有無それぞれにおいて、支出関数は所得水準と等しくなる。

$$\Omega^{jA} = e^{jA} = p_U^{jA} U^{jA}, \quad \Omega^{jB} = e^{jB} = p_U^{jB} U^{jB} \quad (27a)$$

ただし、添字 A, B : それぞれ整備なし、ありを表す。

これより整備有無に対しそれぞれ効用水準が得られる。

$$U^{jA} = \frac{\Omega^{jA}}{p_U^{jA}}, \quad U^{jB} = \frac{\Omega^{jB}}{p_U^{jB}} \quad (27b)$$

c) 消費財の地域別投入量の決定

消費財の地域投入量の決定では、家計が地域 j から消費財を購入するものとする。その支出最小化問題は以下のようになる。

$$q_{nH}^j z_{nH}^j = \min_{z_{nH}^j} \left[\sum_i q_{nH}^{ij} z_{nH}^{ij} \right] \quad (28a)$$

$$\text{s.t. } z_{nH}^j = \gamma_{nH}^j \left[\sum_i \alpha_{nH}^{ij} \left\{ \beta_{nH}^{ij} z_{nH}^{ij} \right\}^{\frac{\sigma_{nH}^j - 1}{\sigma_{nH}^j}} \right]^{\frac{\sigma_{nH}^j}{\sigma_{nH}^j - 1}} \quad (28b)$$

ただし、添字 ij : 消費財の輸送ODの各地域を表す、 z_{nH}^{ij} : 地域 i からの合成消費財 n の消費量、 q_{nH}^{ij} : 地域 i からの合成消費財 n の価格、 $\alpha_{nH}^{ij}, \beta_{nH}^{ij}$: 分配パラメータ $[\sum_i \alpha_{nH}^{ij} = 1, \sum_i \beta_{nH}^{ij} = 1]$ 、 γ_{nH}^j : 合成消費財 n の地域 i からの消費効率性を表す係数、 σ_{nH}^j : 合成消費財 n の地域 i からの消費選択に対する代替弾力性。

式(28)を解くと、以下のように家計の財 n 別合成消費財の需要関数が求められる。

$$z_{nH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nH}^j (\beta_{nH}^{ij})^{1-\sigma_{nH}^j}} \left(\frac{\alpha_{nH}^{ij}}{q_{nH}^{ij}} \right)^{\sigma_{nH}^j} \Psi_{nH}^j \frac{\sigma_{nH}^j}{1-\sigma_{nH}^j} z_{nH}^j \quad (29)$$

$$\text{ただし、} \Psi_{nH}^j = \sum_i (\alpha_{nH}^{ij})^{\sigma_{nH}^j} \left(\frac{q_{nH}^{ij}}{\beta_{nH}^{ij}} \right)^{1-\sigma_{nH}^j}.$$

式(29)を式(28a)の目的関数に代入すると、合成消費財 n の価格が求められる。

$$q_{nH}^j = \frac{1}{\gamma_{nH}^j} \Psi_{nH}^j \frac{1}{1-\sigma_{nH}^j} \quad (30)$$

d) 消費財 n 、運輸サービス投入量の決定

次に消費財 n と運輸サービスの投入については、運輸企業あるいは企業で定式化したものと同様、一般化価格の考え方を利用して定式化を行う。その支出最小化問題は以下のようになる。

$$q_{nH}^{ij} z_{nH}^{ij} = \min_{x_{nH}^{ij}, x_{TH}^{ij}} \left[p_n^i x_{nH}^{ij} + (p_T^j + w^j t^{ij} \xi_H^j) x_{TH}^{ij} \right] \quad (31a)$$

表-1 地域間社会会計行列

		地域 j					地域 i					運輸 T	生産
		企業 m	企業 n	家計 H	労働 L	資本 K	企業 m	企業 n	家計 H	労働 L	資本 K		
地域 j	企業 m	$p_m^j x_{nm}^j$	$p_n^j x_{nn}^j$	$p_n^j x_{nH}^j$			$p_m^i x_{im}^i$	$p_n^i x_{in}^i$	$p_n^i x_{iH}^i$				$p_m^i y_m^i$
	企業 n	$p_n^j x_{nm}^j$	$p_n^j x_{nn}^j$	$p_n^j x_{nH}^j$			$p_n^i x_{im}^i$	$p_n^i x_{in}^i$	$p_n^i x_{iH}^i$				$p_n^i y_n^i$
	家計 H				$w^j T^j$	$r^j K_S^j$				0	0		Ω^j
	労働 L	$w^j \left\{ l_m^j + \sum_t t^{ij} \varepsilon_{nm}^j x_{tm}^j \right\}$	$w^j \left\{ l_n^j + \sum_t t^{ij} \varepsilon_{nn}^j x_{tn}^j \right\}$	$w^j \sum_t t^{ij} \varepsilon_{nH}^j x_{tH}^j$			0	0				$w^j \left\{ l_T^j + \sum_t t^{ij} \varepsilon_{Tn}^j x_{tT}^j \right\}$	$w^j T^j$
	資本 K	$r^j k_m^j$	$r^j k_n^j$				0	0				$r^j k_T^j$	$r^j K_S^j$
地域 i	企業 m	$p_m^j x_{jm}^j$	$p_n^j x_{jn}^j$	$p_n^j x_{jH}^j$			$p_m^i x_{im}^i$	$p_n^i x_{in}^i$	$p_n^i x_{iH}^i$				$p_m^i y_m^i$
	企業 n	$p_n^j x_{jm}^j$	$p_n^j x_{jn}^j$	$p_n^j x_{jH}^j$			$p_n^i x_{im}^i$	$p_n^i x_{in}^i$	$p_n^i x_{iH}^i$				$p_n^i y_n^i$
	家計 H				0	0				$w^i T^i$	$r^i K_S^i$		Ω^i
	労働 L	0	0				$w^i \left\{ l_m^i + \sum_j t^{ji} \varepsilon_{jm}^i x_{jm}^j \right\}$	$w^i \left\{ l_n^i + \sum_j t^{ji} \varepsilon_{jn}^i x_{jn}^j \right\}$	$w^i \sum_j t^{ji} \varepsilon_{jH}^i x_{jH}^j$			$w^i \left\{ l_T^i + \sum_j t^{ji} \varepsilon_{jT}^i x_{jT}^j \right\}$	$w^i T^i$
	資本 K	0	0				$r^i k_m^i$	$r^i k_n^i$				$r^i k_T^i$	$r^i K_S^i$
運輸 T		$\sum_n p_n^j x_{nm}^j$	$\sum_n p_n^j x_{nn}^j$	$\sum_n p_n^j x_{nH}^j$			$\sum_h p_h^i x_{im}^i$	$\sum_h p_h^i x_{in}^i$	$\sum_h p_h^i x_{iH}^i$				$\sum_y p_T^i y_T^i$
生産		$p_m^j y_m^j$	$p_n^j y_n^j$	Ω^j	$w^j L_S^j$	$r^j K_S^j$	$p_m^i y_m^i$	$p_n^i y_n^i$	Ω^i	$w^i L_S^i$	$r^i K_S^i$	$\sum_y p_T^i y_T^i$	

$$\text{s.t. } z_{nH}^{ij} = \gamma_{nH}^{ij} \left[\left(1 - \alpha_{TH}^{ij} \right) \left\{ \left(1 - \beta_{TH}^{ij} \right) x_{nH}^{ij} \right\}^{\frac{\sigma_{nH}^{ij} - 1}{\sigma_{nH}^{ij}}} + \alpha_{TH}^{ij} \left\{ \beta_{TH}^{ij} x_{TH}^{ij} \right\}^{\frac{\sigma_{nH}^{ij} - 1}{\sigma_{nH}^{ij}}} \right]^{\frac{\sigma_{nH}^{ij}}{\sigma_{nH}^{ij} - 1}} \quad (31b)$$

ただし、 x_{nH}^{ij} ：地域*i*から*j*へ輸送される消費財*n*の消費量、 x_{TH}^{ij} ：地域*i*から*j*へ消費財を輸送するための運輸サービス消費量、 p_n^i ：地域*i*における*n*財価格、 p_T^{ij} ：地域*i-j*間の運輸サービス価格、 t^{ij} ：地域*i-j*間の交通所要時間、 ξ_H ： x_{TH}^{ij} のトリップ換算係数、 $\alpha_{TH}^{ij}, \beta_{TH}^{ij}$ ：分配パラメータ、 γ_{nH}^{ij} ：消費財*n*と運輸サービスの消費効率性を表す係数、 σ_{nH}^{ij} ：消費財*n*と運輸サービスの消費に対する代替弾力性。

式(31)を解くと、以下のように家計の中間財*n*と運輸サービスの需要関数が求められる。

$$x_{nH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nH}^{ij} \left(1 - \beta_{TH}^{ij} \right)^{1 - \sigma_{nH}^{ij}}} \left(\frac{1 - \alpha_{TH}^{ij}}{p_n^i} \right)^{\sigma_{nH}^{ij}} \Psi_{nH}^{ij} \frac{\sigma_{nH}^{ij}}{1 - \sigma_{nH}^{ij}} z_{nH}^{ij} \quad (32a)$$

$$x_{TH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nH}^{ij} \left(\beta_{TH}^{ij} \right)^{1 - \sigma_{nH}^{ij}}} \left(\frac{\alpha_{TH}^{ij}}{p_T^i + w^j \xi_H t^{ij}} \right)^{\sigma_{nH}^{ij}} \Psi_{TH}^{ij} \frac{\sigma_{nH}^{ij}}{1 - \sigma_{nH}^{ij}} z_{nH}^{ij} \quad (32b)$$

$$\text{ただし、} \Psi_{nH}^{ij} = \left(1 - \alpha_{TH}^{ij} \right)^{\sigma_{nH}^{ij}} \left(\frac{p_n^i}{1 - \beta_{TH}^{ij}} \right)^{1 - \sigma_{nH}^{ij}} + \left(\alpha_{TH}^{ij} \right)^{\sigma_{nH}^{ij}} \left(\frac{p_T^i + w^j \xi_H t^{ij}}{\beta_{TH}^{ij}} \right)^{1 - \sigma_{nH}^{ij}}.$$

式(32)を式(31a)の目的関数に代入すると、合成消費財*n*の価格が求められる。

$$q_{nH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nH}^{ij}} \Psi_{nH}^{ij} \frac{1}{1 - \sigma_{nH}^{ij}} \quad (33)$$

3. 地域間社会会計行列と市場均衡条件

(1) 地域間社会会計行列の概要

本節では、前節までで構築したSCGEモデルに対して地域間社会会計行列（地域間SAM：Social Accounting Matrix）を作成し、本SCGEモデルの市場均衡条件を明らかにするとともに、ワルラス法則が成立することを示す。

表-1には、本SCGEモデルに対して作成した地域間SAMを示した。SAMとは、各経済主体の経済取引およびそれに係わる資金循環を行列表記したものであり、列方向には企業の費用構成あるいは家計の支出構成、また行方向には販路構成が示されている。なお、SAMの解説は上田¹⁾および細江、我澤、橋本⁶⁾に詳しい。

SAMにおける列方向の費用構成あるいは支出構成は、SCGEモデルにおいては必ず満たされるべき条件である。なぜなら、SCGEモデルでは各経済主体の行動において収支均等条件、例えば企業はゼロ利潤条件、家計は所得制約条件であり、それをSAMの列方向が示しているからである。

まず企業については、式(18)の費用最小化問題を解いた結果から以下が得られる。

$$p_m^i y_m^i = q_{zm}^j z_m^j + q_{VAm}^j VA_m^j \quad (34)$$

式(34)が企業のゼロ利潤条件であり、企業が得た収入 $p_m^i y_m^i$ はすべて何らかの形で支出されていることを意味する。そして、この右辺に対し、さらに企業行動モデルツリー（図-2）における下位レベルから得られる最適化問題の結果を逐次代入していくと、最終的に以下が得られる。

$$p_m^j y_m^j = \sum_n \sum_i \left(p_n^i x_{nm}^{ij} + p_T^i x_{Tm}^{ij} \right) + w^j \left(l_m^j + \sum_i t^{ij} \xi_m x_{Tm}^{ij} \right) + r^j k_m^j \quad (35)$$

式(35)が企業のゼロ利潤条件の最終形であり、SCGEモデルでは常に成立しなければならない。そして、これは表-1における地域jの企業mの列方向にて示されている費用構成式と一致することから、企業についてはSAMの列方向の費用構成式が必ず満たされることになる。運輸企業に関しても、同様に式(1)の最適化問題を解いて得られるゼロ利潤条件と表-1の運輸企業の費用構成式が一致する。

一方、家計については式(23)の家計の支出最小化問題を解いた結果から以下が得られる。

$$p_U^j U^j = \sum_n q_{nH}^j z_{nH}^j \quad (36)$$

式(36)に、家計行動モデルツリー（図-3）の下位レベルから得られる最適化問題の結果を逐次代入していくと、最終的に以下が得られる。

$$p_U^j U^j = \sum_n \sum_i \left(p_n^i x_{nH}^{ij} + \left\{ p_T^i + w^i t^{ij} \xi_H \right\} x_{TH}^{ij} \right) \quad (37)$$

式(37)の左辺は支出関数を表している。支出関数は、式(27)で示したとおり整備有無においてそれぞれ所得水準と等しくなる。すなわち、式(37)は家計の所得制約式を表しており、これはSCGEモデルでは常に満たされなければならない。そして、これが表-1の家計の支出構成式と一致することから、表-1の家計における列方向の支出構成式も必ず満たされることになる。

(2) 市場均衡条件とワルラス法則

一方、表-1の地域間SAMの行方向は市場均衡条件式を表す。すなわち、表-1の行方向のバランス式の両辺を価格で除すことにより以下の市場均衡条件式が導かれる。

$$\text{地域}j\text{財}n\text{市場} : \sum_i \left(\sum_n x_{mn}^{ji} + x_{mH}^{ji} \right) = y_m^j \quad (38a)$$

$$\text{地域}j\text{労働市場} : \sum_m \left(l_m^j + \sum_i t^{ij} \xi_m x_{Tm}^{ij} \right) + \sum_i t^{ij} \xi_H x_{TH}^{ij} + \left(l_T^j + \sum_i t^{ij} \xi_T x_{TT}^{ij} \right) = T^j \quad (38b)$$

$$\text{地域}j\text{資本市場} : \sum_m k_m^j + k_T^j = K_s^j \quad (38c)$$

財nおよび地域iについても同様の市場均衡条件を導くことができる。

以上の市場均衡条件式を踏まえ、本SCGEモデルがワルラス法則を満たすことを示す。ワルラス法則とは、『各主体の収支均等条件が成立しているとき、超過需要額の総和が恒等的にゼロとなる』というものである。ま

ず、表-1のSAMにおいて、列方向は企業のゼロ利潤条件、家計の所得制約条件を表し、いずれも「収入＝支出」を意味する収支均等条件となっている。そして、これはSCGEモデルにおいて常に成立する条件である。また、行方向は式(38)の市場均衡条件式に価格を乗じたもの（左辺－右辺）となり、それは超過需要額を表すといえる。表の性質上、列方向の収支均等条件が常に成立していれば、行方向の超過需要額の総和は必ずゼロになるはずである。したがって、本SCGEモデルはワルラス法則を満たしているといえる。

4. 便益定義と実質域内総生産変化との関係

(1) 等価的偏差による便益定義

ここでは、交通整備、具体的には交通所要時間 t^{ij} の短縮を例に便益を定義する。便益を等価的偏差（EV：Equivalent Variation）の概念に基づき定義するとき、EVとは「整備なしの価格水準を維持した状態での支出関数の差」であるので、以下のように求められる。

$$EV^j = p_U^{jA} \left(U^{jB} - U^{jA} \right) \quad (39)$$

ただし、添字A、B：それぞれ整備なし、ありを表す。

これに、式(27)の効用水準を代入するとEVが実質家計所得の差になることがわかる。

$$EV^j = \frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} \Omega^{jB} - \Omega^{jA} \quad (40)$$

ここで「実質」とは、所得を物価上昇率 $\left(\frac{p_U^{jB}}{p_U^{jA}} \right)$ で除したものの意味である。

(2) 便益と実質域内総生産変化との関係

a) マクロ経済学的実質域内総生産変化

次に、実質域内総生産（R-GRP：Real Gross Regional Products）変化を求める。まず、名目域内総生産（N-GRP：Nominal GRP）は以下ようになる。

$$\begin{aligned} N-GRP = & w^j \left\{ \sum_m \left(l_m^j + \sum_i t^{ij} \xi_m x_{Tm}^{ij} \right) + \sum_i t^{ij} \xi_H x_{TH}^{ij} + \left(l_T^j + \sum_i t^{ij} \xi_T x_{TT}^{ij} \right) \right\} \\ & + r^j \left\{ \sum_m k_m^j + k_T^j \right\} \end{aligned} \quad (41)$$

ただし、式(41)には家計が消費する交通時間も含まれており（右辺第一項括弧内第二項）、正確には拡張N-GRP

と呼ぶべきものといえる。

さらに、三面等価の原理により、域内総生産は家計消費支出と等しい。したがって式(37)が家計消費支出を表すことから以下が成立する。

$$N-GRP = \sum_m \sum_i \left\{ p_m^i x_{mH}^{ij} + (p_T^{ij} + w^j t^{ij} \xi_H) x_{TH}^{ij} \right\} \quad (42)$$

これを基に、「価格水準を整備なしの状態に維持する」との条件の下で整備の有無に対する実質域内総生産 (R-GRP : Real GRP) 変化を求めると以下ようになる。

$$\Delta[R-GRP] = \sum_i \sum_m \left[p_m^i \left(x_{mH}^{ijB} - x_{mH}^{ijA} \right) + (p_T^{hjA} + w^j t^{hjA} \xi_H) (x_{TH}^{hjB} - x_{TH}^{hjA}) \right] \quad (43)$$

なお、運輸消費に関しては「一般化価格を整備なしの状態に維持する」ものとしている。

これがマクロ経済学にて一般的に定義される実質GRPに基づき、整備有無に対する変化を求めたものである。次に、これが便益とどのような関係になっているのかを示す。

b) EVに基づくマクロ経済学的実質域内総生産変化

まず、式(39)で定式化した便益は以下のようにも表される。

$$EV^j = \int_{U^A}^{U^B} p_U^j dU^j \quad (44)$$

ここで、効用水準は式(27b)より所得 Ω^j と効用水準価格 p_U^j の関数となっていて、さらに p_U^j は式(25)より q_{nH}^j の関数となっている。これより、効用水準の全微分は以下のように展開できる。

$$\begin{aligned} dU^j &= \sum_n \frac{\partial U^j}{\partial q_{nH}^j} dq_{nH}^j + \frac{\partial U^j}{\partial \Omega^j} d\Omega^j \\ &= \frac{\partial U^j}{\partial \Omega^j} \left[\sum_n \left(\frac{\frac{\partial U^j}{\partial q_{nH}^j}}{\frac{\partial U^j}{\partial \Omega^j}} \right) dq_{nH}^j + d\Omega^j \right] \end{aligned} \quad (45)$$

また、以下の式(46)のロアの恒等式、さらに式(27b)から $\frac{\partial U^j}{\partial \Omega^j}$ を求めたものを式(45)に代入すると、効用水準の全微分は式(47)のようになる。

$$\text{【ロアの恒等式】} \quad -z_{nH}^j = \frac{\frac{\partial U^j}{\partial q_{nH}^j}}{\frac{\partial U^j}{\partial \Omega^j}} \quad (46)$$

$$dU^j = \frac{1}{p_U^j} \left[\sum_n -z_{nH}^j dq_{nH}^j + d\Omega^j \right] \quad (47)$$

式(47)の右辺第一項に関しては、式(29)を式(28a)の目的関数に代入することによって得られる q_{nH}^j を全微分することにより以下のように展開できる。

$$dq_{nH}^j = \sum_i \left\{ uz_{nH}^{ij} dq_{nH}^{ij} + q_{nH}^{ij} d(uz_{nH}^{ij}) \right\} \quad (48)$$

ただし、 $uz_{nH}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nH}^j (\beta_{nH}^{ij})^{1-\sigma_{nH}^j}} \left(\frac{\alpha_{nH}^{ij}}{q_{nH}^{ij}} \right)^{\sigma_{nH}^j} \Psi_{nH}^j \frac{\sigma_{nH}^j}{1-\sigma_{nH}^j}$ であり、

単位 z_{nH}^{ij} あたりの需要を表す。

式(48)の右辺第二項は、以下に示す式展開（包絡線定理）によりゼロとなる。まず、式(28b)の両辺を全微分する。このとき、式(28b)の左辺 z_{nH}^j が一定となるとの前提で支出最小化問題を解いていることから以下が成立する。

$$(dz_{nH}^j = 0) = \sum_i \frac{\partial z_{nH}^j}{\partial z_{nH}^{ij}} \frac{\partial z_{nH}^{ij}}{\partial \{uz_{nH}^{ij}\}} d\{uz_{nH}^{ij}\} \quad (49)$$

さらに、式(28)の支出最小化問題の一階条件；

$$\frac{\partial z_{nH}^j}{\partial z_{nH}^{ij}} = \frac{q_{nH}^{ij}}{\lambda_{nH}^j} \quad (50a)$$

ただし、 λ_{nH}^j : ラグランジュ未定乗数、

および $z_{nH}^{ij} = uz_{nH}^{ij} \cdot z_{nH}^j$ より以下が成立することから、

$$\frac{\partial z_{nH}^j}{\partial \{uz_{nH}^{ij}\}} = z_{nH}^j \quad (50b)$$

式(50)を式(49)に代入すると以下が得られる。

$$\sum_i \frac{q_{nH}^{ij}}{\lambda_{nH}^j} z_{nH}^j d\{uz_{nH}^{ij}\} = 0 \quad (51a)$$

さらに λ_{nH}^j 、 z_{nH}^j が i とは無関係であることに注意すると以下が得られる。なお、これが包絡線の定理である。

$$\sum_i q_{nH}^{ij} d\{uz_{nH}^{ij}\} = 0 \quad (51b)$$

以上より、式(48)の右辺第二項がゼロとなることが示された。すなわち式(48)は以下となる。

$$dq_{nH}^j = \sum_i uz_{nH}^{ij} dq_{nH}^{ij} \quad (52)$$

式(52)の右辺はさらに展開可能である。詳細は上の式展開と同様であるため割愛するが、まず式(32)を式(31a)の目的関数に代入することによって得られる q_{nH}^{ij} 式を全

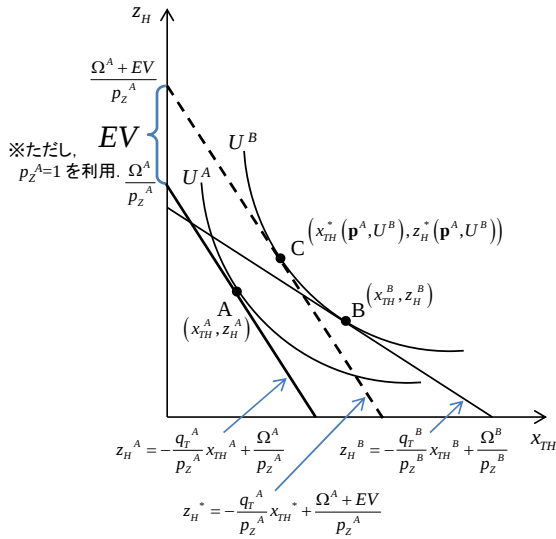


図-4(a) EVの図解

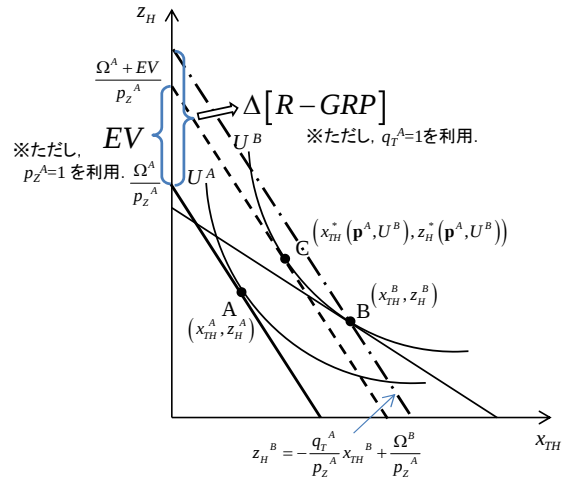


図-4(b) 実質GRP変化の図解

微分する。

$$dq_{nH}^{ij} = ux_{nH}^{ij} dp_n^i + ux_{TH}^{ij} d(p_T^{ij} + w^j t^{ij} \xi_H) + p_n^i d\{ux_{nH}^{ij}\} + (p_T^{ij} + w^j t^{ij} \xi_H) d\{ux_{TH}^{ij}\} \quad (53)$$

ただし、 ux_{nH}^{ij} , ux_{TH}^{ij} : 単位需要量を表す。

さらに、包絡線の定理；

$$p_n^i d\{ux_{nH}^{ij}\} + (p_T^{ij} + w^j t^{ij} \xi_H) d\{ux_{TH}^{ij}\} = 0 \quad (54)$$

を適用すると式(53)は以下となる。

$$dq_{nH}^{ij} = ux_{nH}^{ij} dp_n^i + ux_{TH}^{ij} dp_T^{ij} + t^{ij} \xi_H ux_{TH}^{ij} dw^j + w^j \xi_H ux_{TH}^{ij} dt^{ij} \quad (55)$$

これを式(52)に代入し、さらにそれを式(47)に代入することによって、効用水準の全微分が以下のように求められる。

$$dU^j = \frac{1}{p_U^j} \left[\sum_n \sum_i (-x_{nH}^{ij} dp_n^i - x_{TH}^{ij} dp_T^{ij} - t^{ij} \xi_H x_{TH}^{ij} dw^j - w^j \xi_H x_{TH}^{ij} dt^{ij}) + d\Omega^j \right] \quad (56)$$

さらに、これを式(44)に代入すると便益が以下のように求められる。

$$EV^j = \oint_{A \rightarrow B} \frac{p_U^{jA}}{p_U^j} \left[\sum_n \sum_i (-x_{nH}^{ij} dp_n^i - x_{TH}^{ij} dp_T^{ij} - t^{ij} \xi_H x_{TH}^{ij} dw^j - w^j \xi_H x_{TH}^{ij} dt^{ij}) + d\Omega^j \right] \quad (57)$$

次に、家計所得制約式を考える。家計所得制約式は式(37)より以下のように表される。

$$\Omega^j = \sum_n \sum_i (p_n^i x_{nH}^{ij} + \{p_T^{ij} + w^j t^{ij} \xi_m\} x_{TH}^{ij}) \quad (58)$$

この家計所得制約式の両辺を全微分する。

$$d\Omega^j = \sum_n \sum_i (x_{nH}^{ij} dp_n^i + x_{TH}^{ij} dp_T^{ij} + t^{ij} \xi_H x_{TH}^{ij} dw^j + w^j \xi_H x_{TH}^{ij} dt^{ij} + p_n^i dx_{nH}^{ij} + \{p_T^{ij} + w^j t^{ij} \xi_H\} dx_{TH}^{ij}) \quad (59)$$

式(59)を式(57)に代入して整理すると以下が導ける。

$$EV^j = \oint_{A \rightarrow B} \frac{p_U^{jA}}{p_U^j} \sum_n \sum_i (p_n^i dx_{nH}^{ij} + \{p_T^{ij} + t^{ij} \xi_H\} dx_{TH}^{ij}) \quad (60)$$

c) 二つの実質域内総生産変化の意味

これと、式(43)の実質GRP変化とを比較する。式(43)の実質GRP変化は、整備有無に対する家計消費量変化に整備なしの価格を乗じたものである。一方、式(60)も整備有無に対する家計消費の微小変化に価格を乗じたものに、さらに $\frac{p_U^{jA}}{p_U^j}$ を掛けそれを線積分したものである。以上

より、厳密には便益と実質GRP変化とは一致しないことがわかる。ただし、整備有無の家計消費量変化に価格を乗じたものという点は共通しており近似的には一致する。

(3) 図解による便益と実質域内総生産変化の関係整理

以上の等価的偏差EVと実質GRP変化の関係について、さらに図を用いて解説を行う。図-4は、合成財 z_H と運輸サービス x_{TH} の2財を対象とした家計消費モデルを取り上げ、EVを図解したものである。図-4には整備による効用水準の変化と各財の消費量ベクトルの変化、その下で定義されるEVおよび実質GRP変化が示されている。

ここでは、効用水準が整備によって U^A から U^B に上昇する状況を考える（ただし、添字A, B: それぞれ整備なし, ありを表す）。このとき、価格(q_T, p_z)が変化

して所得制約式の傾きが変わるため、効用水準と所得制約式の接点で決定される需要量ベクトル (x_{TH}, z_H) は点

Aから点Bへ移動する。この状態の下でEVは次のように求められる。まず効用水準を整備ありの状態 U^B に保ったままで、価格が (p_z^A, q_r^A) となったときの需要量ベクトルを求める。これは、点Aに接する所得制約線を平行移動させて効用水準 U^B に接する接点により求められることから、図-4(a)では点Cとなる。ここで、EVとは「整備なしの価格水準を維持した状態での支出関数の差」であり、さらにSCGEモデルにおいては整備なしの合成財価格を $p_z^A = 1$ おくことが一般的であることから、図-4(a)におけるEVは点Cを通る所得制約式のy切片と点Aを通る所得制約式のy切片の差により求められる。なお、点Cは整備なしの価格水準を維持したままで効用水準 U^B が達成されたときの補償需要量を表すことから、EVは厳密には『整備なしの価格水準を維持した状態での家計補償需要量変化の金銭評価値』を表すといえる。

一方、実質域内総生産(R-GRP)変化は、式(43)より「整備なしの価格水準を維持した状態での家計支出額の差」として求められる。これを図-4(b)にて表現すると、まず整備なしの価格水準を維持した状態を考えることから、EVを求めた際と同様、点Aに接する所得制約線を平行移動させる。EVとの違いは整備ありの需要量を達成するという部分であり、これは図-4(b)では、点Aでの所得制約式と平行な点Bを通る所得制約式として表される。そして、R-GRP変化はその点Bを通る所得制約式のy切片と点Aを通る所得制約式のy切片の差として求められる。以上より、R-GRP変化とは『整備なしの価格水準を維持した状態での家計需要量変化の金銭評価値』を表すといえ、厳密にはEVとは異なることが図解によっても示されたといえる。

(2) EVから導かれる実質域内総生産変化

続いて、式(40)のEVを式展開することにより実質域内総生産変化が誘導できることを示す。まず、式(40)を再掲する。

$$EV^j = \frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} \Omega^{jB} - \Omega^{jA} \quad (40)$$

このうち、家計所得 Ω^j は式(21)のとおりであり、それを式(40)に代入する。

$$EV^j = \frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} \left[w^{jB} T^{jB} + r^{jB} K_S^{jB} + S_F^{jB} \right] - \left[w^{jA} T^{jA} + r^{jA} K_S^{jA} + S_F^{jA} \right] \quad (61a)$$

$$EV^j = \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} w^{jB} T^{jB} - w^{jA} T^{jA} \right] + \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} r^{jB} K_S^{jB} - r^{jA} K_S^{jA} \right] + \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} S_F^{jB} - S_F^{jA} \right] \quad (61b)$$

ただし、 $T^{jA} = T^{jB}$ 、 $K_S^{jA} = K_S^{jB}$ であるが、次の展開において必要なため整備有無を明示することとした。

次に、式(38b)および式(38c)の労働市場および資本市場の均衡条件を、整備の有無を明示した上で式(61b)に代入する。また、 S_F^j は式(22)を代入すると EV^j は以下のようになる。

$$\begin{aligned} EV^j = & \sum_m \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} w^{jB} \left(l_m^{jB} + \sum_i t^{ijB} \xi_m^{ijB} x_{Tm}^{ijB} \right) - w^{jA} \left(l_m^{jA} + \sum_i t^{ijA} \xi_m^{ijA} x_{Tm}^{ijA} \right) \right] \\ & + \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} w^{jB} \left(l_T^{jB} + \sum_i t^{ijB} \xi_T^{ijB} x_{TT}^{ijB} \right) - w^{jA} \left(l_T^{jA} + \sum_i t^{ijA} \xi_T^{ijA} x_{TT}^{ijA} \right) \right] \\ & + \sum_i \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} w^{jB} \left(t^{ijB} \xi_H^{ijB} x_{TH}^{ijB} \right) - w^{jA} \left(t^{ijA} \xi_H^{ijA} x_{TH}^{ijA} \right) \right] \\ & + \sum_m \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} r^{jB} k_m^{jB} - r^{jA} k_m^{jA} \right] + \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} r^{jB} k_T^{jB} - r^{jA} k_T^{jA} \right] \\ & + \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} \left\{ \sum_i \sum_n \left(\sum_m x_{nm}^{jiB} + x_{nT}^{jiB} + x_{nH}^{jiB} \right) \right\} - \left\{ \sum_i \sum_n \left(\sum_m x_{nm}^{jiA} + x_{nT}^{jiA} + x_{nH}^{jiA} \right) \right\} \right] \\ & + \left[\frac{p_U^{jA}}{p_U^{jB}} \left\{ \sum_i \sum_n \left(\sum_m x_{nm}^{ijB} + x_{nT}^{ijB} + x_{nH}^{ijB} \right) \right\} - \left\{ \sum_i \sum_n \left(\sum_m x_{nm}^{ijA} + x_{nT}^{ijA} + x_{nH}^{ijA} \right) \right\} \right] \quad (62) \end{aligned}$$

式(62)の右辺第一項：企業 m の労働所得の実質支払額変化（ただし、業務交通投入時間への労働所得支払も含む）、第二項：交通企業の実質支払額変化（ただし、業務交通投入時間への労働所得支払も含む）、第三項：家計の実質交通消費時間費用変化、第四項：企業 m の資本所得の実質支払額変化、第五項：運輸企業の資本所得の実質支払額変化、第六項、七項：それぞれ実質移出額変化、実質移入額変化。

このうち、労働所得および資本所得の実質支払額変化の和は、実質 GRP 変化を表すといえる。なお、式(62)では家計の実質交通消費時間費用変化も考慮されているため、正確には拡張実質 GRP 変化を表すといえる。式(62)は、実質 GRP 変化を産業別にも示すことのできる点に意味があると考えられる。

5. 便益帰着構成表の作成

(1) 便益帰着構成表の概要

本節では、前節で展開したEVの項目分解に対し、さらに企業側の要素を取り入れることによって便益帰着分析を実行し、それを表形式にまとめることで便益帰着構成表 (BIT) ^{7,8)} を作成する。BITの作成により、便益の発生形と帰着形、さらに発生から帰着までの流れを明らかにすることができる。

そこで、式(57)に対し、企業および運輸企業の利潤変化を組み込む。既に述べたようにSCGEモデルでは、企業、運輸企業に対しゼロ利潤条件が課されているので、整備の有無に対する利潤は常にゼロである。そのため利潤変化もゼロになるが、便益項目の相殺（キャンセルアウト）を表現するには、企業側の要素が必要となることから、EVに利潤変化を組み込むものである。その結果、式(57)のEV^jは以下ようになる。

$$EV^j = \oint_{A \rightarrow B} \frac{p_U^j}{p_U^j} \left[\sum_n \sum_i (-x_{nH}^{ij} dp_n^i - x_{TH}^{ij} dp_T^i - t^{ij} \xi_H x_{TH}^{ij} dw^j - w^j \xi_H x_{TH}^{ij} dt^{ij}) + d\Omega^j + \sum_m d\pi_m^j + \sum_i d\pi_T^{ij} \right] \quad (63)$$

(2) 企業利潤の全微分形の誘導

利潤は「収入－支出」で求められることから、企業 m の利潤は以下のように表される。

$$\pi_m^j = \left[p_m^j - (q_{Zm}^j uz_m^j + q_{VAm}^j uva_m^j) \right] y_m^j \quad (64)$$

ただし、 uz_m^j ：単位生産量あたりの合成中間財需要関数、 uva_m^j ：単位生産量あたりの合成生産要素需要関数。

SCGEモデルでは、企業利潤は常にゼロである。すなわち、以下が常に成立する。

$$p_m^j = q_{Zm}^j uz_m^j + q_{VAm}^j uva_m^j \quad (65)$$

この点に注意して、式(64)の両辺を全微分して企業利潤変化を求めると以下となる。

$$d\pi_m^j = y_m^j dp_m^j - y_m^j (uz_m^j dq_{Zm}^j + uva_m^j dq_{VAm}^j + q_{Zm}^j d\{uz_m^j\} + q_{VAm}^j d\{uva_m^j\}) \quad (66)$$

このうち、右辺第二項の括弧内の第三項と第四項の和（下線部）は、包絡線の定理によりゼロとなる。さらに、 $z_m^j = uz_m^j \cdot y_m^j$ 、 $VA_m^j = uva_m^j \cdot y_m^j$ の関係も利用すると、企業利潤の全微分形は以下ようになる。

$$d\pi_m^j = y_m^j dp_m^j - (z_m^j dq_{Zm}^j + VA_m^j dq_{VAm}^j) \quad (67)$$

次に、式(67)の右辺第二項の dq_{Zm}^j 、第三項の dq_{VAm}^j を求める。まず dq_{Zm}^j は、財 n 別合成中間財の需要関数を、それを導出した最適化問題の目的関数に代入して得られる q_{Zm}^j を全微分することにより求める。具体的には、2章では運輸企業の行動モデルしか示していないが、それを企業 m に置き換えた上で、その式(5)を式(4)の目的関数に代入することに相当する。さらに、包絡線の定理；

$$\sum_n q_{nm}^j d\{uz_{nm}^j\} = 0 \quad (68)$$

を考慮すると、最終的に dq_{Zm}^j は以下となる。

$$dq_{Zm}^j = \sum_n uz_{nm}^j dq_{nm}^j \quad (69)$$

後は同様の方法にて、図-2の企業の行動モデルツリーにしたがい、価格の全微分形を求めていく。式(69)の右辺 dq_{nm}^j は、運輸企業を企業 m に置き換えた上で、式(8)を式(7a)の目的関数に代入することによって得られる q_{nm}^j を全微分する。さらに、包絡線定理を考慮すると dq_{nm}^j は以下となる。

$$dq_{nm}^j = \sum_i uz_{nm}^{ij} dq_{nm}^{ij} \quad (70)$$

式(70)の右辺 dq_{nm}^{ij} は、式(11)を式(10a)の目的関数に代入して得られる q_{nm}^{ij} を全微分し、包絡線定理を考慮することにより以下のように得られる。

$$dq_{nm}^{ij} = ux_{nm}^{ij} dp_n^i + ux_{Tm}^{ij} dp_T^i + t^{ij} \xi_m ux_{Tm}^{ij} dw^j + w^j \xi_m ux_{Tm}^{ij} dt^{ij} \quad (71)$$

以上により、得られた価格の全微分形を逐次代入していく。すなわち、式(71)を式(70)へ、さらに式(70)を式(69)に代入することにより、式(67)の右辺第二項の $z_m^j dq_{Zm}^j$ が以下ようになる。

$$z_m^j dq_{Zm}^j = \sum_n \sum_i (x_{nm}^{ij} dp_n^i + x_{Tm}^{ij} dp_T^i + t^{ij} \xi_m x_{Tm}^{ij} dw^j + w^j \xi_m x_{Tm}^{ij} dt^{ij}) \quad (72)$$

ただし、 $x_{nm}^{ij} = z_m^j \cdot uz_{nm}^j \cdot uz_{nm}^{ij} \cdot ux_{nm}^{ij}$ 、 $x_{Tm}^{ij} = z_m^j \cdot uz_{nm}^j \cdot uz_{nm}^{ij} \cdot ux_{Tm}^{ij}$ の関係を利用してはいる。

次に、式(67)の右辺第三項の dq_{VAm}^j については、式(19)を式(18a)の目的関数に代入することによって得られる q_{VAm}^j を全微分し、包絡線定理を考慮することで以下のように得られる。

$$dq_{VAm}^j = ul_m^j dw^j + uk_m^j dr^j \quad (73)$$

以上得られた、式(72)と式(73)を式(67)に代入すること

により、企業利潤の全微分形が以下のように求められる。

$$d\pi_m^j = y_m^j dp_m^j - \left[\sum_n \sum_i (x_{nm}^{ij} dp_n^i + x_{tm}^{ij} dp_t^{ij} + t^{ij} \xi_m^{ij} dw^j + w^j \xi_m^{ij} dt^{ij}) + l_m^j dw^j + k_m^j dr^j \right] \quad (74)$$

ただし、 $l_m^j = VA_m^j \cdot ul_m^j$ 、 $k_m^j = VA_m^j \cdot uk_m^j$ の関係を利用している。

(3) 運輸企業利潤の全微分形の誘導

次に運輸企業利潤の全微分形を導出する。これは、基本的には前項の企業利潤の全微分形の誘導と同じである。ただし、労働、資本の投入において、交通整備に伴う交通所要時間変化の影響を考慮している点が異なるため、この部分だけは解説を行う。

まず、運輸企業の利潤変化分は、企業利潤変化の誘導を踏まえると以下のように表される。

$$d\pi_T^j = y_T^j dp_T^j - (z_T^j dq_{ZT}^j + VA_T^j dq_{VAT}^j) \quad (75)$$

このうち、右辺の第二項も企業利潤変化の誘導と同様に分解可能であり、第三項に違いが現れることになる。その第三項 $VA_T^j dq_{VAT}^j$ は、式(16)を式(15a)の目的関数に代入することによって得られる q_{VAT}^j を全微分することにより導出できる。

$$dq_{VAT}^j = ul_T^j dw^j + uk_T^j dr^j + w^j d\{ul_T^j\} + r^j d\{uk_T^j\} \quad (76)$$

次にこの右辺の第三項と第四項の和に着目する。そこで、式(14)の付加価値関数を全微分する。このとき、式(15)では付加価値が一定となるとの前提で費用最小化問題を解いていることから以下が成立する。

$$\begin{aligned} (dVA_T^j)0 &= \frac{\partial VA_T^j}{\partial \{eff^{ij} l_T^j\}} \left[\frac{\partial \{eff^{ij} l_T^j\}}{\partial l_T^j} \frac{\partial l_T^j}{\partial \{ul_T^j\}} d\{ul_T^j\} + \frac{\partial \{eff^{ij} l_T^j\}}{\partial \{eff^{ij}\}} d\{eff^{ij}\} \right] \\ &+ \frac{\partial VA_T^j}{\partial \{eff^{ij} k_T^j\}} \left[\frac{\partial \{eff^{ij} k_T^j\}}{\partial k_T^j} \frac{\partial k_T^j}{\partial \{uk_T^j\}} d\{uk_T^j\} + \frac{\partial \{eff^{ij} k_T^j\}}{\partial \{eff^{ij}\}} d\{eff^{ij}\} \right] \end{aligned} \quad (77a)$$

$$\begin{aligned} &\frac{\partial VA_T^j}{\partial \{eff^{ij} l_T^j\}} \left[eff^{ij} \frac{\partial l_T^j}{\partial \{ul_T^j\}} d\{ul_T^j\} + l_T^j d\{eff^{ij}\} \right] \\ &+ \frac{\partial VA_T^j}{\partial \{eff^{ij} k_T^j\}} \left[eff^{ij} \frac{\partial k_T^j}{\partial \{uk_T^j\}} d\{uk_T^j\} + k_T^j d\{eff^{ij}\} \right] = 0 \end{aligned} \quad (77b)$$

ここで、以下に示す式(2.15)の費用最小化問題の一階条件と、

$$\frac{\partial VA_T^j}{\partial \{eff^{ij} l_T^j\}} \frac{\partial \{eff^{ij} l_T^j\}}{\partial l_T^j} = \frac{w^j}{\lambda_{VAT}^j}, \quad \frac{\partial VA_T^j}{\partial \{eff^{ij} k_T^j\}} \frac{\partial \{eff^{ij} k_T^j\}}{\partial k_T^j} = \frac{r^j}{\lambda_{VAT}^j} \quad (78a)$$

$$\frac{\partial VA_T^j}{\partial \{eff^{ij} l_T^j\}} = \frac{w^j}{eff^{ij} \cdot \lambda_{VAT}^j}, \quad \frac{\partial VA_T^j}{\partial \{eff^{ij} k_T^j\}} = \frac{r^j}{eff^{ij} \cdot \lambda_{VAT}^j} \quad (78b)$$

ただし、 λ_{VAT}^j : ラグランジュ乗数、

$l_T^j = ul_T^j \cdot VA_T^j$ 、 $k_T^j = uk_T^j \cdot VA_T^j$ から以下が成立することから、

$$\frac{\partial l_T^j}{\partial \{ul_T^j\}} = \frac{\partial k_T^j}{\partial \{uk_T^j\}} = VA_T^j \quad (79)$$

式(78b)、(79)を式(77b)に代入して整理する。

$$\begin{aligned} &\left[\frac{w^j}{\lambda_{VAT}^j} VA_T^j d\{ul_T^j\} + \frac{w^j}{eff^{ij} \cdot \lambda_{VAT}^j} l_T^j d\{eff^{ij}\} \right] \\ &+ \left[\frac{r^j}{\lambda_{VAT}^j} VA_T^j d\{uk_T^j\} + \frac{r^j}{eff^{ij} \cdot \lambda_{VAT}^j} k_T^j d\{eff^{ij}\} \right] = 0 \end{aligned} \quad (80)$$

さらに、 $eff^{ij} = \frac{t^{ijA}}{t^{ij}}$ より以下が成立する。

$$d\{eff^{ij}\} = -\frac{t^{ijA}}{(t^{ij})^2} dt^{ij} \quad (81)$$

これを式(80)に代入して整理すると以下が得られる。

$$\begin{aligned} &\left[w^j VA_T^j d\{ul_T^j\} - \frac{t^{ij}}{t^{ijA}} w^j l_T^j \frac{t^{ijA}}{(t^{ij})^2} dt^{ij} \right] \\ &+ \left[r^j VA_T^j d\{uk_T^j\} - \frac{t^{ij}}{t^{ijA}} r^j k_T^j \frac{t^{ijA}}{(t^{ij})^2} dt^{ij} \right] = 0 \end{aligned} \quad (82a)$$

$$w^j d\{ul_T^j\} + r^j d\{uk_T^j\} = \left[w^j \frac{l_T^j}{VA_T^j} + r^j \frac{k_T^j}{VA_T^j} \right] \frac{1}{t^{ij}} dt^{ij} \quad (82b)$$

これを式(76)に代入する。

$$dq_{VAT}^j = ul_T^j dw^j + uk_T^j dr^j + \left[w^j \frac{l_T^j}{VA_T^j} + r^j \frac{k_T^j}{VA_T^j} \right] \frac{1}{t^{ij}} dt^{ij} \quad (83a)$$

この両辺に VA_T^j を乗じることにより以下が得られる。

$$VA_T^j dq_{VAT}^j = l_T^j dw^j + k_T^j dr^j + \left[w^j l_T^j + r^j k_T^j \right] \frac{1}{t^{ij}} dt^{ij} \quad (83a)$$

以上より、運輸企業利潤の全微分形が以下のように求められる。

$$d\pi_T^{ij} = y_T^{ij} dp_T^{ij} - \left[\sum_n \sum_i \left(x_{nT}^{ij} dp_n^i + x_{TT}^{ij} dp_T^{ij} + t^{ij} \xi_T x_{TT}^{ij} dw^j + w^j \xi_T x_{TT}^{ij} dt^{ij} \right) + l_T^j dw^j + k_T^j dr^j + \left[w^j l_T^j + r^j k_T^j \right] \frac{1}{t^{ij}} dt^{ij} \right] \quad (84)$$

(4) 等価的偏差EVの最終帰着形

企業利潤、運輸企業利潤の全微分形（式(74)および式(84)）を式(63)に代入する。また $d\Omega^j$ についても、式(21)の家計所得の式を、家計の総利用可能時間 T^j と家計の資本供給量 K_S^j が固定であることを考慮に入れて全微分したものを代入し、さらに j で総和をとり整理すると、EVは以下ようになる。なお、便宜上企業は n 財製造企業とした。

$$\begin{aligned} & \sum_j EV^j \\ &= \oint_{A \rightarrow B} \frac{p_U^{jA}}{p_U^j} \left[\sum_n \sum_i \left\{ y_n^i - \sum_j \left(\sum_m x_{nm}^{ij} + x_{nT}^{ij} + x_{nH}^{ij} \right) \right\} dp_n^i \right. \\ & \quad + \sum_i \left\{ y_T^i - \sum_j \left(\sum_m x_{Tm}^{ij} + x_{TT}^{ij} + x_{TH}^{ij} \right) \right\} dp_T^i \\ & \quad + \sum_i \left\{ T^i - \sum_j \left(\sum_m (l_m^j + \sum_h t^{hj} \xi_m x_{Tm}^{hj}) + (l_T^j + \sum_h t^{hj} \xi_T x_{TT}^{hj}) + \sum_h t^{hj} \xi_H x_{TH}^{hj} \right) \right\} dw^j \\ & \quad + \sum_i \left\{ K_S^i - \sum_j \left(\sum_m k_m^j + k_T^j \right) \right\} dr^i \\ & \quad - \sum_j \left\{ \sum_m \left(\sum_h w^j \xi_m x_{Tm}^{hj} dt^{hj} \right) + \sum_h w^j \xi_T x_{TT}^{hj} dt^{hj} + \sum_h w^j \xi_H x_{TH}^{hj} dt^{hj} \right\} \right] \quad (84a) \end{aligned}$$

これに、市場均衡条件を考慮すると、最終的に便益は以下ようになる。

$$\begin{aligned} \sum_j EV^j &= \oint_{A \rightarrow B} \frac{p_U^{jA}}{p_U^j} \left[- \sum_j \left\{ \sum_m \left(\sum_h w^j \xi_m x_{Tm}^{hj} dt^{hj} \right) + \sum_h w^j \xi_T x_{TT}^{hj} dt^{hj} + \sum_h w^j \xi_H x_{TH}^{hj} dt^{hj} \right\} \right] \quad (84b) \end{aligned}$$

これより、便益の最終帰着形が、発生ベースの利用者便益と一致することがわかる。

6. おわりに

本研究では、交通サービス生産を明示化したSCGEモデルを構築した上で、それに基づく便益定義を行い、便益と実質域内総生産変化の関係を明確にした。さらに、定義した便益を項目分解することにより、便益帰着分析を行い、便益の最終帰着形が発生ベースの利用者便益と一致することが示された。

今後は、政府部門、公的投資部門、民間投資部門等、他の部門の考慮、運輸部門における旅客と貨物の分離、余暇の考慮等、SCGEモデルの発展が必要である。それに基づく便益帰着分析を行い、本稿で得られた結論がそれらによっても得られるかを確認する必要がある。また、それらを数値計算に基づき確認することも必要といえる。

参考文献

- 1) 上田孝行編著：『Excel で学ぶ地域・都市経済分析』，コロナ社，2009.
- 2) 佐藤徹治，石川良文，石倉智樹：「交通プロジェクト評価のための経済評価モデルに関する誤解」，『運輸政策研究』，Vol.13, No.3, (通巻 050 号)，pp.35-40, 2010.
- 3) 宮城俊彦，本部賢一：「応用一般均衡分析を基礎にした地域間交易量モデルに関する研究」，『土木学会論文集』，No.530/IV-30, pp.31-40, 1996.
- 4) 小池淳司，佐藤啓輔，川本信秀：「空間的応用一般均衡モデル「RAEM-Light」を用いた道路ネットワーク評価－地域間公平性の視点からの実務的アプローチ」，『土木計画学研究・論文集』，Vol.26, pp.161-168, 2009.
- 5) 武田史郎：「双対アプローチによる一般均衡モデルの記述」，オンライン，<http://shirotaakeda.org/ja/research-ja/note-ja.html>, 2012.
- 6) 細江宣裕，我澤賢之，橋本日出男：『応用一般均衡モデリング プログラムからシミュレーションまで』，東京大学出版会，2004.
- 7) 森杉壽芳編：『社会資本整備の便益評価 — 一般均衡理論によるアプローチ』，勁草書房，1997.
- 8) 中村英夫編・道路投資評価研究会著：『道路投資の社会経済評価』，東洋経済新報社，1997.

(2013.?? 受付)