独占的行動を考慮したSCGEモデルによるリニア中央新幹線の便益評価

平林　和樹[1]・武藤　慎一[2]

[1] 学生員　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
（〒400-8510 山梨県甲府市武田 4-3-11）
E-mail:g17tc012@yamanashi.ac.jp

[2] 正会員　山梨大学准教授　大学院総合研究部工学域（400-8510 山梨県甲府市武田 4-3-11）
E-mail:smutoh@yamanashi.ac.jp

品川－大阪間を結ぶリニア中央新幹線の計画が決定され，このうち品川－名古屋間は 2027 年の開業に向けて建設が進められている．リニア中央新幹線の整備により，首都圏－中京圏－近畿圏を中心に多大な便益が発現すると期待されており，これまで固定費用を考慮した交通生産内生型 SCGE モデルを用いた便益評価を実施してきた．しかし，そこでは基本的には鉄道旅客運輸企業を含めすべての経済主体は価格受容者と想定されていたが，高速移動手段は限られていることから鉄道旅客運輸企業は価格設定者として扱う必要があったと考えられる．そこで本研究では，鉄道旅客運輸企業の行動モデルにおいて独占的企業行動を想定した SCGE モデルを構築する．そして，構築したモデルを用いてリニア中央新幹線整備の便益評価を行い，独占的市場によってどの程度の損失が発生し得るのかを明らかにした．

Key Words : *SCGE model,Exclusive corporate behavior,Linear Chuo Shinkansen, benefit evaluation*

1. はじめに

現在，品川－大阪間を結ぶリニア中央新幹線が計画されており，そのうち品川－名古屋間は，2014 年 10 月に建設工事が認可され[1)]，2027 年の開業に向けて建設が進められている．リニア中央新幹線の開業により品川－名古屋間は，現行の東海道新幹線で約 90 分かかるところが約 40 分に短縮される．その結果，業務トリップや観光トリップの円滑化を介して，多大な経済効果が発現すると期待されている．こうした経済効果は，費用便益分析による便益計測や[2),3)]，空間的応用一般均衡（SCGE：Spatial Computable General Equilibrium）モデルを適用した便益計測[4),5),6)]により評価されてきた．

これまで，筆者らも，リニア中央新幹線の便益計測を行うため，リニア中央新幹線の開通が鉄道旅客運輸企業（具体的には JR 東海）の生産性を向上させる効果まで含めた経済効果を便益により計測できる交通生産内生型 SCGE モデル[7),8)]を構築した．しかしそこでは，建設費用等の固定費用を料金により回収する点が考慮できていなかった．そのため，交通生産内生型 SCGE モデルに，建設費用等の固定費用を料金により回収するスキームが表現できるよう，固定費用を考慮した SCGE モデルを構築することで，従来の限界費用料金によるケースと，固定費用を料金で回収する平均費用料金によるケースにおいて，どの程度，発現する便益に違いが生じるのかを明らかにした[9)]．以上のとおり，筆者らはリニア中央新幹線の開通による便益評価に関して，SCGE 分析の精緻化を図り，より現実的な便益計測に取り組んできた．

しかし，これまで構築してきた SCGE モデルでは，基本的には鉄道旅客運輸企業を含めすべての経済主体は価格需要者と想定していた．ここで，表-1 に JR 東海が公表しているデータ[10)]を基に算出した東京―大阪間でのリニア中央新幹線(リニア方式)の平均費用料金と，東海道新幹線(新幹線方式)の限界費用料金を示す．なお，新幹線方式の維持運営費，設備更新費，輸送需要量は，リニア中央新幹線が新幹線方式で作られた場合のデータのみが公表されており，新幹線の実距離に対して必要な費用並びに需要量ではない．そこで，維持運営費と設備更新費は東海道新幹線の実距離をリニアの路線の長さで除したものを公表されているデータに，それぞれ乗ずることで新幹線方式の維持運営費，設備更新費を算出している．また，輸送需要量は，路線長（所要時間）が伸びると需

要量は下がることを考慮し，リニアの路線長と新幹線路線長の比から値を算出している．この結果では，輸送需要量の単位に億人ｷﾛ/年を用いているため，移動距離の長さに関わらず，単位ｷﾛあたりの負担額は一定であるとの想定を置いてはいるが，現在の東海道新幹線の東京―新大阪駅間の限界費用料金は表−1 に示すように 7,782 円と算出された．現在，東京―新大阪駅間を，のぞみ号，自由席で移動した場合の費用は 13,620 円であることから，費用に 6,000 円弱もの差があることになる．つまり，高速移動手段は新幹線，航空機などで限られていることから，鉄道旅客運輸企業は価格設定者として扱う必要があると考えられる．

そこで本研究では，鉄道旅客運輸企業の行動モデルを，独占的行動を想定した SCGE モデルを構築する．そして ここで，構築されたモデルを用いて，リニア中央新幹線の便益評価を行い，独占的市場によってどの程度の損失が発生し得るのかを明らかにする．

表-1 リニア方式の平均費用と新幹線方式の限界費用

		東京―大阪	
	単位	リニア方式	新幹線方式
維持運営費	億円/年	3,080	2,083
工事費	億円	84,400	0
減価償却換算	億円/年	4,220	0
設備更新費	億円/年	1,160	659
年間総費用	億円/年	8,460	2,742
輸送需要量	億人キロ/年	416	182
単位輸送量あたり費用	円/人キロ	20	15
路線長	km	438	515
運営費から計算した料金	円	8,907	7,782
現行または想定料金	円	14,620	13,620

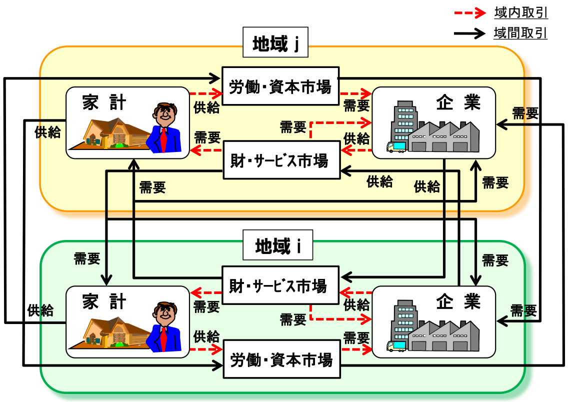

図-1 SCGEモデルの全体構成

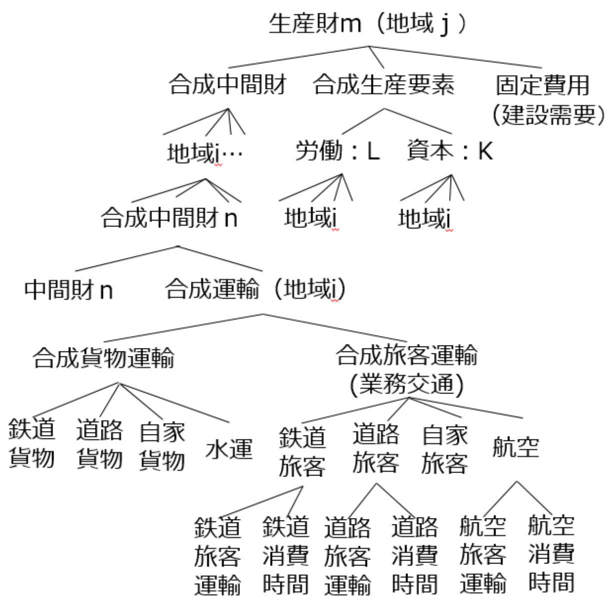

図-2 企業の生産行動のツリー構造

2. 独占的行動を考慮したSCGEモデル

(1) モデルの前提条件

本研究のSCGEモデルは，*J* 地域に分割された社会経済を対象とし，地域 j には代表家計と*m*財を生産する*m*企業が存在する（**図-1**）．これに加えて，交通機関別運輸サービスを供給する運輸企業が存在しているものとし，その中の鉄道旅客運輸企業がリニア中央新幹線の建設および運営主体になるものと考える．なお，家計，企業，運輸企業以外にも，政府，公的投資部門，民間投資部門が存在しているとする．

家計は，生産要素（労働，資本）を提供することで所得を得て，財，サービスを消費する．企業は，生産要素，中間財を投入して財，サービスを生産し，家計や他企業に供給する．運輸企業は，通常の企業と同様に，生産要素，中間財を投入して運輸サービスを生産するものとする．なお，森杉らによって構築された交通内生型SCGEモデルと同様に，運輸サービスをOD別に供給しているものとする点に特長がある．これに加え，本モデルは，特にリニア中央新幹線の建設に関して，鉄道旅客運輸企業が鉄道施設建設のために投じる固定費用を考慮する．

次項では，まず運輸サービス需要者の行動モデルを説明し，その後，独占的行動を考慮した鉄道運輸サービス供給者の行動モデルを説明する．

(2) 運輸サービス需要者の行動モデル

a) 企業の生産行動モデル

運輸サービス需要者のうち，まず企業の行動モデルを説明する．企業の生産行動ツリーを図-2に示す．企業は,まず合成中間財と合成生産要素の投入量を決定し，合成中間財に対し購入地域の選択を行う．その後，それぞれの地域別合成中間財投入に対し，n 財別合成中間財の投入量を決定する．さらに，n 財別合成中間財の投入に対し，n 財別中間財と合成運輸サービスの投入量を決定する．これは，中間財の投入には運輸サービスが必要であるとしたものである．また，企業は合成中間財に対しては，合成貨物と合成旅客の各運輸サービス投入量を決定し，合成貨物，合成旅客ともに交通機関選択を行い，交通機関別の運輸サービス投入量を決定するという行動をとる．なお，旅客運輸については，交通消費時間が費やされるものとした．

以上の企業の生産行動モデルは，すべて生産技術制約下での費用最小化行動によって定式化する．本SCGEモデルでは，生産技術を表すのにBarro型CES関数を用いる．そして，以下には図-2の最上位の合成中間財，合成生産要素に関する投入量決定の費用最小化問題を示す．

$$C_m^j = \min_{z_m^j, cf_m^j}\left[q_{Zm}^j z_m^j + \left(1+\tau_m^j\right) pf_m^j cf_m^j \right] \tag{1a}$$

$$\text{s.t. } y_m^j = \gamma_m^j \left[\alpha_{Zm}^j \left\{\beta_{Zm}^j z_m^j\right\}^{\frac{\sigma_m^j - 1}{\sigma_m^j}} + \left(1-\alpha_{Zm}^j\right)\left\{\left(1-\beta_{Zm}^j\right) cf_m^j\right\}^{\frac{\sigma_m^j - 1}{\sigma_m^j}} \right]^{\frac{\sigma_m^j}{\sigma_m^j - 1}} \tag{1b}$$

ただし，y_m^j, p_m^j ：地域 j での財mの生産量と価格，z_m^j, q_{Zm}^j ：合成中間財投入量とその価格，cf_m^j, pf_m^j ：合成生産要素投入量とその価格，τ_m^j ：純間接税率（間接税率－補助率），$\alpha_{Zm}^j, \beta_{Zm}^j$ ：分配パラメータ，γ_m^j ： 効率パラメータ，σ_m^j ：代替弾力性パラメータ．

ラグランジュ未定乗数法により式(1)を解くと，以下の需要関数が求められる．

$$z_m^j = \frac{1}{\gamma_m^j \left(\beta_{Zm}^j\right)^{1-\sigma_m^j}} \left(\frac{\alpha_{Zm}^j}{q_{Zm}^j}\right)^{\sigma_m^j} \Psi_m^{j\,\frac{\sigma_m^j}{1-\sigma_m^j}} y_m^j \tag{2a}$$

$$cf_m^j = \frac{1}{\gamma_m^j \left(1-\beta_{Zm}^j\right)^{1-\sigma_m^j}} \left(\frac{1-\alpha_{Zm}^j}{\left(1+\tau_m^j\right) pf_m^j}\right)^{\sigma_m^j} \Psi_m^{j\,\frac{\sigma_m^j}{1-\sigma_m^j}} y_m^j \tag{2b}$$

ただし,

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

式(2)の需要関数を式(1a)に代入することにより，費用関数は以下のように求められる．

$$C_m^j = \frac{1}{\gamma_m^j} \Psi_m^{j\,\frac{1}{1-\sigma_m^j}} y_m^j \tag{3}$$

式(3)は，生産量 y_m^j に対して線形の関数であることから，本企業モデルの生産財の均衡価格は利潤ゼロにおいてのみ存在することになる．企業の利潤は，収入から費用を差し引くことにより求められることから以下となる．

$$\pi_m^j = p_m^j y_m^j - C_m^j \tag{4}$$

そして，ゼロ利潤条件（$\pi_m^j = 0$）よりm 財価格が以下のように求められる．

$$p_m^j = \frac{1}{\gamma_m^j} \Psi_m^{j\,\frac{1}{1-\sigma_m^j}} \tag{5}$$

以上により，企業行動モデルの最上位の定式化が行えた．続いて，図-2のツリーにしたがって合成中間財の地域投入の定式化を示す．その最適化問題は以下のようになる．

$$q_{Zm}^j z_m^j = \min_{z_m^{ij}} \sum_i q_m^{ij} z_m^{ij} \tag{6a}$$

$$\text{s.t. } z_m^j = \gamma_{Zm}^j \left[\sum_i \alpha_m^{ij} \left\{\beta_m^{ij} z_m^{ij}\right\}^{\frac{\sigma_{Zm}^j}{\sigma_{Zm}^j - 1}} \right]^{\frac{\sigma_{Zm}^j}{\sigma_{Zm}^j - 1}} \tag{6b}$$

ただし，z_m^{ij}, q_m^{ij} ：地域jにおける地域iからの合成中間財投入量とその価格，$\alpha_m^{ij}, \beta_m^{ij}$ ：分配パラメータ（$\sum \alpha_m^{ij} = 1, \sum \beta_m^{ij} = 1$），$\gamma_{Zm}^j$ ：効率パラメータ，$\sigma_{Zm}^{j\ \ i}$ ：代替弾力性パラメータ．

ラグランジュ未定乗数法により式(6)を解くと，以下の需要関数が求められる．

$$z_m^{ij} = \frac{1}{\gamma_{Zm}^j \left(\beta_m^{ij}\right)^{1-\sigma_{Zm}^j}} \left(\frac{\alpha_m^{ij}}{q_m^{ij}}\right)^{\sigma_{Zm}^j} \Psi_{Zm}^{j\,\frac{\sigma_{Zm}^j}{1-\sigma_{Zm}^j}} \cdot z_m^j \tag{7}$$

ただし，$\Psi_{Zm}^j = \sum_i \left(\alpha_m^{ij}\right)^{\sigma_{Zm}^j} \left(\frac{q_m^{ij}}{\beta_m^{ij}}\right)^{1-\sigma_{Zm}^j}$ ．

式(7)の需要関数を式(6a)に代入することにより，合成中間財価格が求められる．

$$q_{Zm}^j = \frac{1}{\gamma_{Zm}^j} \Psi_{Zm}^{j\,\frac{1}{1-\sigma_{Zm}^j}} \tag{8}$$

次に，n財別中間財の投入の定式化を示す．その最適化問題は以下のようになる．

$$q_m^{ij} z_m^{ij} = \min_{z_{nm}^{ij}} \sum_n q_{nm}^{ij} z_{nm}^{ij} \tag{9a}$$

$$\text{s.t. } z_m^{ij} = \gamma_m^{ij}\left[\sum_n \alpha_{nm}^{ij}\left\{\beta_{nm}^{ij} z_{nm}^{ij}\right\}^{\frac{\sigma_m^{ij}-1}{\sigma_m^{ij}}}\right]^{\frac{\sigma_m^{ij}}{\sigma_m^{ij}-1}} \tag{9b}$$

ただし， z_{nm}^{ij}, q_{nm}^{ij} ：地域 j で地域 i から投入される合成中間財nの投入量とその価格， $\alpha_{nm}^{ij}, \beta_{nm}^{ij}$ ：分配パラメータ（ $\sum_n \alpha_{nm}^{ij} = 1, \sum_n \beta_{nm}^{ij} = 1$ ）， γ_m^{ij} ：効率パラメータ， σ_m^{ij} ：代替弾力性パラメータ．

ラグランジュ未定乗数法により式(9)を解くと，以下の需要関数が求められる．

$$z_{nm}^{ij} = \frac{1}{\gamma_m^{ij}\left(\beta_{nm}^{ij}\right)^{1-\sigma_m^{ij}}}\left(\frac{\alpha_{nm}^{ij}}{q_{nm}^{ij}}\right)^{\sigma_m^{ij}} {\Psi_m^{ij}}^{\frac{\sigma_m^{ij}}{1-\sigma_m^{ij}}} \cdot z_m^{ij} \tag{10}$$

ただし， $\Psi_m^{ij} = \sum_n \left(\alpha_{nm}^{ij}\right)^{\sigma_m^{ij}}\left(\frac{q_{nm}^{ij}}{\beta_{nm}^{ij}}\right)^{1-\sigma_m^{ij}}$ ．

式(10)を式(9a) に代入することにより，地域iから投入される合成中間財価格が求められる．

$$q_m^{ij} = \frac{1}{\gamma_m^{ij}} {\Psi_m^{ij}}^{\frac{1}{1-\sigma_m^{ij}}} \tag{11}$$

次に，中間財nと合成運輸の投入の定式化を示す．その最適化問題は以下のようになる．

$$q_{nm}^{ij} z_{nm}^{ij} = \min_{x_{nm}^{ij}, z_T^{ij}}\left[p_n^i x_{nm}^{ij} + q_{Tm}^{ij} z_{Tm}^{ij}\right] \tag{12a}$$

$$\text{s.t. } z_{nm}^{ij} = \gamma_{nm}^{ij}\left[\begin{array}{l}\left(1-\alpha_{Tm}^{ij}\right)\left\{\left(1-\beta_{Tm}^{ij}\right)x_{nm}^{ij}\right\}^{\frac{\sigma_m^{ij}-1}{\sigma_{nm}^{ij}}} \\ +\alpha_{Tm}^{ij}\left\{\beta_{Tm}^{ij} z_{Tm}^{ij}\right\}^{\frac{\sigma_m^{ij}-1}{\sigma_{nm}^{ij}}}\end{array}\right]^{\frac{\sigma_{nm}^{ij}}{\sigma_{nm}^{ij}-1}} \tag{12b}$$

ただし， x_{nm}^{ij}, p_n^i ：中間財nの投入量と地域iのn財価格， z_{Tm}^{ij}, q_{Tm}^{ij} ：合成運輸投入量とその価格，賃金率， $\alpha_{Tm}^{ij}, \beta_{Tm}^{ij}$ ：分配パラメータ， γ_{nm}^{ij} ：効率パラメータ， σ_{nm}^{ij} ：代替弾力性パラメータ．

ラグランジュ未定乗数法により式(12)を解くと，以下の需要関数が求められる．

$$x_{nm}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nm}^{ij}\left(1-\beta_{Tm}^{ij}\right)^{1-\sigma_{nm}^{ij}}}\left(\frac{1-\alpha_{Tm}^{ij}}{p_n^i}\right)^{\sigma_{nm}^{ij}} {\Psi_{nm}^{ij}}^{\frac{\sigma_{nm}^{ij}}{1-\sigma_{nm}^{ij}}} \cdot z_{nm}^{ij} \tag{13a}$$

$$z_{Tm}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nm}^{ij}\left(1-\beta_{Tm}^{ij}\right)^{1-\sigma_{nm}^{ij}}}\left(\frac{1-\alpha_{Tm}^{ij}}{q_{Tm}^{ij}}\right)^{\sigma_{nm}^{ij}} {\Psi_{nm}^{ij}}^{\frac{\sigma_{nm}^{ij}}{1-\sigma_{nm}^{ij}}} \cdot z_{nm}^{ij} \tag{13b}$$

ただし，

$$\Psi_{nm}^{ij} = \left(1-\alpha_{Tm}^{ij}\right)^{\sigma_{nm}^{ij}}\left(\frac{p_n^i}{1-\beta_{Tm}^{ij}}\right)^{1-\sigma_{nm}^{ij}} + \left(\alpha_{Tm}^{ij}\right)^{\sigma_{nm}^{ij}}\left(\frac{q_{Tm}^{ij}}{\beta_{Tm}^{ij}}\right)^{1-\sigma_{nm}^{ij}} .$$

式(13)を式(12a) に代入することにより，合成中間財n価格が求められる．

$$q_{nm}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{nm}^{ij}} {\Psi_{nm}^{ij}}^{\frac{1}{1-\sigma_{nm}^{ij}}} \tag{14}$$

最後に労働と資本投入の定式化を示す．その最適化問題は以下のようになる．

$$pf_m^j cf_m^j = \min_{l_m^j, k_m^j}\left[w_m^j l_m^j + r_m^j k_m^j\right] \tag{15a}$$

$$\text{s.t. } cf_m^j = \gamma_{CFm}^j\left[\begin{array}{l}\alpha_{Lm}^j\left\{\beta_{Lm}^j l_m^j\right\}^{\frac{\sigma_{CTm}^j-1}{\sigma_{CTm}^j}} \\ +\left(1-\alpha_{Lm}^j\right)\left\{\left(1-\beta_{Lm}^j\right)k_m^j\right\}^{\frac{\sigma_{CTm}^j-1}{\sigma_{CTm}^j}}\end{array}\right]^{\frac{\sigma_{CTm}^j}{\sigma_{CTm}^j-1}} \tag{15b}$$

ただし， l_m^j, w_m^j ：地域jのm企業の労働投入量とその賃金率， k_m^j, r_m^j ：地域jのm企業の資本投入量とその利子率， $\alpha_{Lm}^j, \beta_{Lm}^j$ ：分配パラメータ， γ_{CTm}^j ：効率パラメータ， σ_{CTm}^j ：代替弾力性パラメータ．

ラグランジュ未定乗数法により式(15)を解くと，以下の需要関数が求められる．

$$l_m^j = \frac{1}{\gamma_{CTm}^j\left(\beta_{Lm}^j\right)^{1-\sigma_{CTm}^j}}\left(\frac{\alpha_{Lm}^j}{w_m^j}\right)^{\sigma_{CTm}^j} {\Psi_{CTm}^j}^{\frac{\sigma_{CTm}^j}{1-\sigma_{CTm}^j}} \cdot cf_m^j \tag{16a}$$

$$k_m^j = \frac{1}{\gamma_{CTm}^j\left(1-\beta_{Lm}^j\right)^{1-\sigma_{CTm}^j}}\left(\frac{1-\alpha_{Lm}^j}{w_m^j}\right)^{\sigma_{CTm}^j} {\Psi_{CTm}^j}^{\frac{\sigma_{CTm}^j}{1-\sigma_{CTm}^j}} \cdot cf_m^j \tag{16b}$$

ただし， $\Psi_{CFm}^{ij} = \left(\alpha_{Lm}^j\right)^{\sigma_{CFm}^j}\left(\frac{w_m^j}{\beta_{Lm}^j}\right)^{1-\sigma_{CFm}^j} + \left(1-\alpha_{Lm}^j\right)^{\sigma_{CFm}^j}\left(\frac{r_m^j}{1-\beta_{Lm}^j}\right)^{1-\sigma_{CFm}^j}$ ．

式(16)を式(15a) に代入することにより，合成生産要素価格が求められる．

$$pf_m^j = \frac{1}{\gamma_{CFm}^j} {\Psi_{CFm}^j}^{\frac{1}{1-\sigma_{CFm}^j}} \tag{17}$$

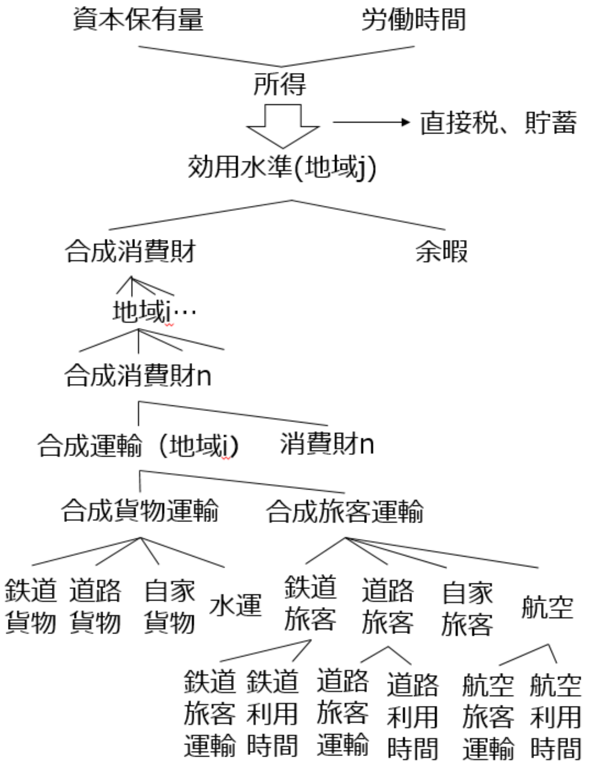

図-3　家計の財消費行動のツリー構造

b) 家計の消費行動モデル

続いて，運輸サービス需要者の家計の消費行動モデルを示す．地域 j に居住する代表家計の消費行動ツリーは**図-3**のとおりである．

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と，企業に資本を提供して得られる資本所得からなる総所得を得る．この総所得に対し，直接税と貯蓄を差し引いた可処分所得を，家計は各消費に充てる．家計の可処分所得は以下のようになる．

$$\Omega_H^j = \left(w^j T_H^j + r^j K_H^j\right)\left(1-\tau_H^j\right) - S_H^j \qquad (18)$$

ただし，Ω_H^j：地域 j の家計の可処分所得，T_H^j, w^j：家計の総利用可能時間と賃金率，K_H^j, r^j：家計の資本保有量と利子率，τ_H^j：直接税率，S_H^j：家計貯蓄（基準年値で固定とする）．

この可処分所得を用いて，家計はまず合成財と余暇の消費量を決定する．次に，合成財消費に対し購入地域の選択を行った後，それぞれの地域別合成財消費に対し，n 財別の合成財消費量を決定する．企業と同様，財の購入には運輸サービスの投入が必要であるとすることから，n 財別合成財消費に対しては，n 財別消費量と合成運輸サービス消費量を決定する．そして，合成運輸サービスに対し，合成貨物と合成旅客の各運輸サービス消費量を決定し，それぞれに対し交通機関選択がなされるとする．

以上の家計の財消費行動モデルは，効用水準一定制約下での支出最小化問題により定式化する．**図-3**の最上位の合成財と余暇の消費量決定モデルに係わる支出最小化問題は以下のようになる．

$$e_H^j = \min_{z_H^j,\, l_H^j} \left[q_{ZH}^j z_H^j + w^j l_H^j \right] \qquad (19a)$$

$$\text{s.t.}\, U_H^j = \gamma_H^j \left[\begin{array}{l} \alpha_{ZH}^j \left\{\beta_{ZH}^j z_H^j\right\}^{\frac{\sigma_H^j-1}{\sigma_H^j}} \\ +\left(1-\alpha_{ZH}^j\right)\left\{\left(1-\beta_{ZH}^j\right) l_H^j\right\}^{\frac{\sigma_H^j-1}{\sigma_H^j}} \end{array} \right]^{\frac{\sigma_H^j}{\sigma_H^j-1}} \qquad (19b)$$

ただし，e_H^j：地域 j の家計の支出水準，z_H^j, q_{ZH}^j：合成財消費量とその価格，l_H^j, w^j：余暇消費量と賃金率（余暇価格を意味する），U_H^j：直接効用関数，$\alpha_{ZH}^j, \beta_{ZH}^j$：分配パラメータ，$\gamma_H^j$：効率パラメータ，$\sigma_H^j$：代替弾力性パラメータ．

ラグランジュ未定乗数法により式(19)を解くと，以下の需要関数が得られる．

$$z_H^j = \frac{1}{\gamma_H^j \left(\beta_{ZH}^j\right)^{1-\sigma_H^j}} \left(\frac{\alpha_{ZH}^j}{q_{ZH}^j}\right)^{\sigma_H^j} \Psi_H^{j\,\frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j}} \cdot U_H^j \qquad (20a)$$

$$l_H^j = \frac{1}{\gamma_H^j \left(1-\beta_{ZH}^j\right)^{1-\sigma_H^j}} \left(\frac{1-\alpha_{ZH}^j}{w^j}\right)^{\sigma_H^j} \Psi_H^{j\,\frac{\sigma_H^j}{1-\sigma_H^j}} \cdot U_H^j \qquad (20b)$$

ただし，

$$\Psi_H^j = \left(\alpha_{ZH}^j\right)^{\sigma_H^j} \left(\frac{q_{ZH}^j}{\beta_{ZH}^j}\right)^{1-\sigma_H^j} + \left(1-\alpha_{ZH}^j\right)^{\sigma_H^j} \left(\frac{w^j}{1-\beta_{ZH}^j}\right)^{1-\sigma_H^j}.$$

式(20)を式(19a)に代入すると，支出水準が求められる．

$$e_H^j = \frac{1}{\gamma_H^j} \Psi_H^{j\,\frac{1}{1-\sigma_H^j}} \cdot U_H^j \qquad (21)$$

支出水準とはそもそも価格が与えられた下である効用（ここでは U_H^j）を実現するために必要な所得を意味する．今，家計所得は式(18)の可処分所得により与えられるため，価格が与えられるとすれば，式(21)の支出水準の式より効用水準 V_H^j は以下のようになる．

$$V_H^j = \frac{\Omega_H^j}{p_V^j} \qquad (22)$$

ただし，V_H^j：間接効用関数（効用水準），また簡単化のため $p_V^j \equiv \frac{1}{\gamma_H^j} \Psi_H^{j\,\frac{1}{1-\sigma_H^j}}$ とおく．

式(22)の効用水準 V_H^j を式(20)の U_H^j 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(21)から支出水準も得られる．すなわち，支出水準は以下のようになる．

$$e_H^j = p_V^j V_H^j \tag{23}$$

以上にて，図-3の最上位の各消費量が求められた．これ以降の定式化も，図-3のツリーにしたがって行われるが，それらは式(19)，(20)と同様であるため，ここでは割愛したい．

(3) 独占市場を想定した鉄道旅客運輸サービス供給者の行動モデル

これまでの企業と家計の行動モデルは，すべて，規模に関して収穫一定の生産関数だけを用いた完全競争モデルであった．そこでは，少しでも高い価格を付けた製品はまったく売れないし，逆に，少しでも安い価格を付けた製品は市場のすべての需要を獲得できるため，価格競争の結果，市場均衡価格は限界費用に一致していた．ところが，高速バスや航空を競争相手と考えることもできるが，高速移動手段は限られていることから鉄道旅客運輸企業は価格設定者として扱う必要があったと考えられる．そこで，ここでは，独占市場を考慮したCGEモデルを開発した細江ら[11]，また，独占市場を理論的に整理した西村ら[12]を参考に，まず，独占市場を想定した鉄道旅客運輸サービス供給者の行動モデルを示す．鉄道旅客運輸部門において独占的な企業が存在するとき，独占企業は市場の需要曲線 $p = p(y)$ を前提として，利潤を最大化するように生産量yを決める．利潤 $\pi(y)$ は，収入 $R(y)$ と費用 $c(y)$ の差

$$\pi(y) = R(y) - c(y) \tag{24}$$

として表せる． $R(y) = p(y)y$ である．利潤最大化の必要条件は

$$\pi'(y) = R'(y) - c'(y) = 0 \tag{25}$$

である． $R'(y)$ は限界収入(marginal revenue, MR)， $c'(y)$ は限界費用である．また $R'(y) = p(y) + p'(y)y$ および需要の価格弾力性 $e = (p/y)(dy/dp)$ を用いると

$$MR = p(y)\left(1 + \frac{yp'(y)}{p(y)}\right)$$

$$= p\left(1 + \frac{1}{(p/y)(dy/dp)}\right)$$

$$= p\left(1 + \frac{1}{e}\right) \tag{26}$$

となる．そして，需要者価格はマークアップ率 $\frac{1}{e_{Rn}}$ 分だけ乖離して， $\left(1 + \frac{1}{e_{Rn}}\right) p_{[MC]Rn}^{j,k}$ となる．そのとき，鉄道旅客運輸サービス投入量は，

$$z_{T_{Rn}m}^{ij} = \frac{1}{\gamma_{T_p m}^{ij} \left(\beta_{T_{Rn}m}^{ij}\right)^{1-\sigma_{T_p m}^{ij}}} \left(\frac{\alpha_{T_{Rn}m}^{ij}}{\left(1 + \frac{1}{e_{Rn}}\right) p_{[MC]Rn}^{j,k} + w^i t_{Rn}^{ij}} \right)^{\sigma_{T_p m}^{ij}} \cdot \Psi_{T_p m}^{ij \; \frac{\sigma_{T_p m}^{ij}}{1-\sigma_{T_p m}^{ij}}} z_{T_p m}^{ij} \tag{27}$$

ただし， Rn ：鉄道旅客運輸の交通機関を表す添字．

となる．

そして，このように需要者価格と供給者価格の乖離がある場合には独占利潤 RT_{Rn} がそれぞれの鉄道旅客運輸サービスを供給する企業に発生する．この独占利潤が誰に帰着されるのかを描写する方程式を追加しておかないと，モデルが閉じないとこになる．この独占利潤率，すなわちマークアップ率 $\frac{1}{e_{Rn}}$ を税率のようなものとみなせば，その独占利潤の扱いは税金の場合と同様になる．独占利潤関数，

$$RT_{Rn} = \frac{1}{e_{Rn}} p_{[MC]Rn}^{j,k} z_{T_{Rn}m}^{ij} \tag{28}$$

によって独占利潤額を計算し，その全額を民間投資が獲得すると仮定する．

また，リニア中央新幹線整備が鉄道運輸企業の生産行動に与える影響を評価できるように，鉄道運輸企業については生産要素投入行動を森杉を参考に変更する．

鉄道運輸企業は，労働と，新幹線やリニアといった資本を投入し，交通路を移動して主に人を輸送するという運輸サービスを生産している．このとき，交通整備等により時間短縮効果が生じると，その労働および資本の投入効率が向上することになる．なぜなら，時間短縮が生じれば同じ距離を移動するのに，より早く目的地に到達できることになり，それは同じ運輸サービスを生産するために投入される労働と，拘束時間で捉えた資本投入が少なくて済むことを意味するからである．

以上の現実的な運輸企業の行動が反映できるようにモデルを変更する．まず，鉄道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と仮定する．その意味は，例えば交通整備政策が

実施され，OD 間の交通所要時間が半分に削減されたとすると，その OD 間を移動して輸送サービスを生産する運輸企業の労働と資本の投入量も半分で済むということである．なぜなら，既に述べた通り，交通所要時間が半分に削減されれば，同じ運輸サービスを生産するためには半分の時間で済むため，労働と資本の投入量も半分で済むからである．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，ここでは鉄道旅客運輸 Rn を例にモデル化を示す．

$$cf_{Rn}^{j,k}\left(t_{Rn}^{j,k}, l_{Rn}^{j,k}, k_{Rn}^{j,k}\right) = cf_{Rn}^{j,k}\left(\lambda t_{Rn}^{j,k}, \lambda l_{Rn}^{j,k}, \lambda k_{Rn}^{j,k}\right) \tag{29}$$

ただし， $t_{Rn}^{j,k}$ ：鉄道運輸企業の地域j-k間の交通所要時間，$l_{Rn}^{j,k}, k_{Rn}^{j,k}$ ：労働投入量，資本投入量．

式(29)の λ を以下のようにおく．

$$\lambda = \frac{t_{Rn}^{j,k^A}}{t_{Rn}^{j,k}} \tag{30}$$

ただし，添字 A ：交通整備なしを表す．

式(30)を式(29)に代入すると，合成生産要素関数は以下のようになる．

$$cf_{Rn}^{j,k} = cf_{Rn}^{j,k}\left(eff_{Rn}^{j,k}\cdot l_{Rn}^{j,k}, eff_{Rn}^{j,k}\cdot k_{Rn}^{j,k}\right) \tag{31}$$

ただし， $eff_{Rn}^{j,k}$ ： $\left[\equiv \dfrac{t_{Rn}^{j,k^A}}{t_{Rn}^{j,k}}\right]$ 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(31)にしたがえば，鉄道運輸企業の労働，資本の投入量決定モデルは以下のようになる．

$$pf_{Rn}^{j,k} cf_{Rn}^{j,k} = \min_{l_{Rn}^{j,k}, k_{Rn}^{j,k}} \left[w_{Rn}^{j,k} l_{Rn}^{j,k} + r_{Rn}^{j,k} k_{Rn}^{j,k} \right] \tag{32a}$$

$$\text{s.t. } cf_{Rn}^{j,k} = \gamma_{CFRn}^{j,k}\left[\begin{array}{l} \alpha_{LRn}^{j,k}\left\{\beta_{LRn}^{j} eff_{Rn}^{j,k}\cdot l_{Rn}^{j,k}\right\}^{\frac{\sigma_{CFRn}^{j}-1}{\sigma_{CFRn}^{j}}} \\ +\left(1-\alpha_{LRn}^{j}\right)\left\{\left(1-\beta_{LRn}^{j}\right) eff_{Rn}^{j,k}\cdot k_{Rn}^{j,k}\right\}^{\frac{\sigma_{CFRn}^{j}-1}{\sigma_{CFRn}^{j}}} \end{array}\right]^{\frac{\sigma_{CFRn}^{j}}{\sigma_{CFRn}^{j}-1}} \tag{32b}$$

式(32)を解くと，以下の需要関数が得られる．

$$l_{Rn}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{CFRn}^{j,k}\left(\beta_{LRn}^{j,k} eff_{LRn}^{j,k}\right)^{1-\sigma_{CRn}^{j,k}}} \left(\frac{\alpha_{LRn}^{j,k}}{w_{Rn}^{j,k}}\right)^{\sigma_{CFRn}^{j,k}} \Psi_{CFRn}^{j,k\ \frac{\sigma_{CFRn}^{j}}{1-\sigma_{CFRn}^{j}}} \cdot cf_{Rn}^{j,k} \tag{33a}$$

$$k_{Rn}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{CFRn}^{j,k}\left(\left\{1-\beta_{LRn}^{j,k}\right\} eff_{LRn}^{j,k}\right)^{1-\sigma_{CRn}^{j,k}}} \left(\frac{1-\alpha_{LRn}^{j,k}}{r_{Rn}^{j,k}}\right)^{\sigma_{CFRn}^{j,k}} \Psi_{CFRn}^{j,k\ \frac{\sigma_{CFRn}^{j,k}}{1-\sigma_{CFRn}^{j,k}}} \cdot cf_{Rn}^{j,k} \tag{33b}$$

ただし，
$$\Psi_{CFRn}^{j,k} = \left(\alpha_{LRn}^{j,k}\right)^{\sigma_{CFRn}^{j,k}}\left(\frac{w_{Rn}^{j,k}}{\beta_{LRn}^{j,k} eff_{LRn}^{j,k}}\right)^{1-\sigma_{CFRn}^{j,k}} + \left(1-\alpha_{LRn}^{j,k}\right)^{\sigma_{CFRn}^{j,k}}\left(\frac{r_{Rn}^{j,k}}{\left\{1-\beta_{LRn}^{j,k}\right\} eff_{LRn}^{j,k}}\right)^{1-\sigma_{CFRn}^{j,k}}.$$

式(33)を式(32a)に代入すると合成生産要素関数が求められる．

$$pf_{Rn}^{j,k} = \frac{1}{\gamma_{CFRn}^{j,k}} \Psi_{CFRn}^{j,k\ \frac{1}{1-\sigma_{CFRn}^{j,k}}} \tag{34}$$

残りは企業の行動モデルと一緒であるため割愛する．

(4) 市場均衡条件

本SCGEモデルの市場均衡条件式は以下のようになる．

n財市場：
$$Q_n^i = \sum_j \left[\begin{array}{l} \sum_m x_{nm}^{ij} + \sum_k \sum_{Fm} x_{nFm}^{ij,k} \\ + x_{nH}^{ij} + x_{nGC}^{ij} + x_{nGI}^{ij} + x_{nI}^{ij} \end{array}\right] \tag{35a}$$

運輸Tn市場：
$$Q_n^i = \sum_j \left[\begin{array}{l} \sum_m x_{nm}^{ij} + \sum_k \sum_{Fm} x_{nFm}^{ij,k} \\ + x_{nH}^{ij} + x_{nGC}^{ij} + x_{nGI}^{ij} + x_{nI}^{ij} \end{array}\right] \tag{35b}$$

労働市場：
$$\begin{aligned} &T_H^j - \left(l_H^j + \sum_{Pm}\sum_k t_{Pm}^{kj} x_{PmH}^{kj}\right) \\ &= \sum_m \sum_j l_m^{ij} + \sum_{Fm}\sum_i l_{Fm}^{ij} + \sum_{Pm}\sum_i l_{Pm}^{ij} \end{aligned} \tag{35c}$$

資本市場：
$$K_H^j = \sum_m \sum_j k_m^{ij} + \sum_{Fm}\sum_j k_{Fm}^{ij} + \sum_{Pm}\sum_j k_{Pm}^{ij} \tag{35d}$$

(5) 等価的偏差による便益定義

交通整備における便益の定義を行う．便益を等価的偏差（EV：Equivalent Variation）の概念に基づき定義すると，それは以下のように求められる．

$$EV^j = p_V^{jA}\left(V_H^{jA} - V_H^{jB}\right) \tag{36a}$$

ただし，添字A, B：それぞれ整備なし，ありを表す．

これに，式(22)の効用水準を代入するとEVが家計の実質所得の差となっていることがわかる．

$$EV^j = \frac{p_U^{j\,A}}{p_U^{j\,B}} \Omega_H^{j\,B} - \Omega_H^{j\,A} \tag{36b}$$

ここで，「実質」とは物価上昇率で除したものとの意味である．式(36b)では，整備なしの所得においては物価上昇率が1であるためそのままの所得を用いており，整備ありの所得は物価上昇率 $\left(\dfrac{p_U^{j\,B}}{p_U^{j\,A}}\right)$ で除したものとなっている．

3. リニア中央新幹線の便益計測

鉄道旅客運輸企業の独占的行動を考慮したSCGEモデルの構築に現在はとどまっているため，計測結果は発表当日に示すものとする.

4. おわりに

リニア中央新幹線の経済効果計測は，費用便益分析の枠組みや空間的応用一般均衡(SCGE)モデルを用いてなされてきた．筆者らもリニア中央新幹線整備が鉄道旅客運輸企業の生産性を向上させる効果まで含めら経済効果を便益により計測できることを示し，さらに固定費用を考慮したSCGEモデルを構築し，限界費用料金と平均費用料金によるケースで，どの程度，発現する便益に違いが生じるかを明らかにした．その中で，CGE分析の精緻化を図り，より現実的な便益計測に取り組んできた.

しかし，これまでの便益計測では，鉄道旅客運輸企業の生産行動が独占的行動であるにも関わらず，完全競争市場を想定してモデルを構築していた．そこで，まずは鉄道旅客運輸企業の行動モデルにおいて独占的行動を想定した定式化を行い，独占的行動を考慮したSCGEモデルの構築を行った．だが，現段階では，モデルの構築のみを行い，便益計測は行えていないため，発表当日までに，計測結果を示すことを考えている.

謝辞：本研究を進めるにあたり，多くの方々からご指導，ご協力をいただいた．特に，日本交通政策研究会では，日本総合研究所松岡斉所長，日本大学福田敦教授，東北大学河野達仁教授より大変貴重なコメントをいただいた．日本交通政策研究会の関係者各位とともに感謝の意を表する次第である.

参考文献

1) 長野県建設部リニア整備推進局：リニア中央新幹線の概要について長野県，2017 (http://www.pref.nagano.lg.jp/linear-shin/kurashi/kotsu/linear/gaiyou.html).
2) 交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会中央新幹線小委員会：費用対効果分析等の調査結果について，第 9 回　交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会中央新幹線小委員会資料，2010.
3) 山口勝弘，山崎清：中央リニア新幹線導入が経済と環境に及ぼす影響，交通学研究，Vol.53，pp.45-54，2009.
4) 山梨県総合政策部リニア環境未来都市推進室：リニア影響基礎調査業務　報告書，山梨県，2009.
5) 宮下光宏，小池淳司，上田孝行：アジア高速鉄道整備の経済・環境影響の国際比較―旅客を考慮した SCGE モデルによる計量分析-，土木計画学研究・論文集，No.4，pp316-332，2012.
6) 樋野誠一，蛯子哲，河上翔太，國府田樹，山本恭子，西村巧：リニア中央新幹線の整備効果，IBS Annual Report，研究活動報告，pp.55-60，2015.
7) 森杉壽芳：交通ネットワーク分析を統合した SCGE モデルによるリニア中央新幹線整備の便益評価-便益と実質 GDP 変化との関係の整理を中心に―，日交研シリーズ A-672，日本交通政策研究会，2017.
8) 武藤慎一：SCGE モデルを用いた便益に基づくリニア中央新幹線の経済効果計測，自動車交通研究，pp.38-39，2016.
9) 平林和樹，武藤慎一：外部性を考慮した SCGE モデルによるリニア中央新幹線整備の経済評価，第 57 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM_38-18，2018.
10) JR 東海：中央新幹線　東京都・大阪市間のデータについて，2009. http://jr-central.co.jp/news/release/nws000397.html
11) 細江宣裕，我澤賢之，橋本日出男：テキストブック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，pp175-209，2004.
12) 西村和雄：ミクロ経済学，東洋経済新報社，pp.207-238,1990

(2018.7.31. 受付)