Barro 型 CES 関数による SCGE モデルの一般性向上 －交通行動モデルを中心に－

武藤慎一[1]，森杉壽芳[2]，青木優[3]，桐越信[4]

[1]正会員　博（工）　山梨大学大学院准教授　医学工学総合研究部
（〒400-8511　山梨県甲府市武田 4-3-11　E-mail: smutoh@yamanashi.ac.jp）
[2]正会員　工博　東北大学大学院特任教授　経済学研究科（〒980-8576　仙台市青葉区川内 27-1）
[3]修(経済)　(財)日本総合研究所主任研究員　特別研究本部（〒102-0082　東京都千代田区一番町 10-2 一番町 M ビル 7 階）
[3]工博　(社)雪センター専務理事（〒103-0012　東京都中央区日本橋堀留町 1-3-17　日本橋三洋ビル 7 階）

空間的応用一般均衡(SCGE)モデルは，地域間交通整備の便益計測において非常に有効なモデルである．本研究は，Barro 型 CES 関数による SCGE モデルの再構築により，統一性，適応性，汎用性を有するモデルに修正，拡張し，SCGE モデルの一般性を向上させたものである．その結果，交通行動においても代替性を考慮可能となり，それより交通整備によって効率的投入が可能となった交通サービス，交通時間を人々がどのように消費するか，そしてそれが企業の生産費用や家計の効用水準にどのような影響を与えるのかを適切に捉えることができる．さらに，本稿では簡単な数値計算を行い構築した SCGE モデルの挙動確認を行う．

Key Words : SCGE model, Barro's CES function, Benefit evaluation

１．はじめに

地域間交通整備は，地域間の交流，交易を通じて地域経済に多大な効果をもたらす．しかし，近年厳しい財政事情からこうした大規模な交通プロジェクトが縮減される傾向にある．これは政府支出の削減には有効であるが，整備により得られたはずの便益を失うことの影響も大きい．そのため，今後ますます費用便益分析の厳格な実施と，それに基づく合理的な公共投資判断が必要になると考えられる．その際，空間的応用一般均衡(Spatial Computable General Equilibrium : SCGE)モデルが有効となる．

SCGE モデルは，地域ごとに構成された一般均衡モデルを地域間交流，交易によって結びつけたものであり，地域間交通整備による便益計測が可能である(詳細は上田(2009)[1]を参照のこと)．これまでにも多くの SCGE モデルが研究，開発されてきたが，それらの多くは Nested CES(Constant Elasticity of Substitution)モデルにレオンチェフモデル，すなわち完全非代替モデルが組み合わされた構造となっていた．特に，交通行動において非代替モデルが用いられているケースが多い．例えば，貨物行動モデルではアイスバーグ型，また旅客行動モデルでは一般化価格により定式化されているものが多く，前者は中間財とその輸送サービス，後者は旅客運輸サービスとその時間投入との間の代替が考慮されていない．しかし，現実にはそうした行動も代替的である場合が多く，したがって旧来の SCGE モデルでは現実的な交通行動を前提としない形で交通整備の便益計測を行っていたことになる．

本研究は以上の問題意識の下，SCGE モデルを Nested CES 型のみで再構築することを提案する．これは，全体の統一性が確保されるという点と，交通行動における代替性が考慮できる点に意味がある．特に後者は，交通整備によって効率的投入が可能となった交通サービスあるいは交通時間を人々がどのように投入し，消費するのか，その結果企業の生産費用構造や家計効用水準にどういった影響を与えるのかを詳細に捉えられることが大きな意義である．なお，SCGE モデルを Nested CES モデルで再構築することは，従来の CES 関数において代替弾力性σをゼロ($\sigma = 0$)とすればレオンチェフ関数が誘導できるという性質を利用すれば容易に行えると思われる．しかし，従来の CES 関数では$\sigma = 0$としても，当該 SCGE モデルで用いられているレオンチェフ関数を厳密には誘導できないのである．詳細は後述するが，要するに従来の SCGE モデルは用いられている CES モデルとレオンチェフモデルが独立的で，全体としては統一性がなかった．それを，本研究は Barro and Martin(2003)[2]に基づく CES 関数(Barro 型 CES 関数)を用いることで解決する．すなわち，Barro 型 CES 関数であれば$\sigma = 0$とした際，従来の SCGE モデルの

レオンチェフ関数が厳密に誘導でき，それにより SCGE モデル全体の統一性(Unification)が確保される．

この Barro 型 CES 関数は，交易モデルや旅客交通の目的地選択モデル，交通機関分担モデルなど交通行動におけるあらゆる場面に適応可能である．無論，完全非代替ケースも対応可能であり，この点で高い適応性(Flexibility)を有することになる．さらにその結果，交通機関分担別の交通整備や交通料金政策など幅広い政策評価が可能となり，汎用性(Adoptability)も高いモデルとなる．本研究は，以上の SCGE モデルの修正，拡張を通じて SCGE モデルの一般性を向上させることが最終的な目的である．

２． 既存研究の整理と本モデルの特徴

(1) 既存研究の整理と問題点

SCGE モデルは，現在海外でも研究が進んでいる．欧州を対象とした CGEurope[3),4)]，オランダの RAEM モデル[5)]，ノルウェーの PINGO モデル[6),7)]，それら以外にもスウェーデン[8)]やオーストリア[9)]，英国[10)]で SCGE モデルが交通整備評価などに適用されている．また，わが国では，宮城ら[11),12)]，安藤ら[13)]，溝上ら[14)]，小池ら[15),16)]の研究がある．

以上の既存 SCGE モデルについて，交通行動モデルに着目し特徴をまとめる．既存 SCGE モデルは，ほとんどが貨物交通すなわち交易モデルのみを対象としているが，それを Iceberg 型で定式化したものが CGEurope[3),4)]，宮城ら[11)]，小池ら[15),16)]である．Iceberg 型は，財の輸送のために当該財を一定割合追加投入するというモデルである．これは，交通需要側の輸送費用負担は考慮できているが，その支払いの受け手が当該財を生産する企業である点で現実とは異なる．実際は運輸部門がその輸送を請け負うからである．確かに自家輸送もあるが，少なくともわが国の産業連関表は自家輸送部門が独立しており，その付加価値を推計する方法も提案されている[17)]．そのため，運輸部門は独立させて扱うことが望ましい．これに対し，運輸部門を独立的に取り扱ったものが RAEM[5)]，PINGO[6),7)]，宮城[12)]，安藤ら[13)]，溝上ら[14)]のモデルである．これらは，輸送費用が運輸部門に支払われる点で改善が見られるが，輸送のための運輸サービスが輸送される財に対し一定比率必要となるという想定は変わっていない．これが，１．で指摘した交通サービス投入が非代替的に扱われているという意味である．その結果，既存の SCGE モデルでは，交通整備によって所要時間が短縮された場合に，企業が輸送時間の抑制のため中間財投入を減らして交通投入を増加させる，すなわち中間財投入を交通で代替させるといった行動が考慮できない．

一方，旅客交通の方は，SCGE モデルで明示的に扱われているものは小池ら[18)]などに限定される．そこでは，旅客交通モデルで広く利用される一般化価格の概念に基づいて定式化されている．すなわち，旅客交通消費において，一定比率の時間投入を要すると想定し，時間に対する支払いも考慮したものである．しかし，ここでも交通時間は一定比率で投入が必要とされ，非代替的に扱われている．その結果，例えば高速道路料金が値下げされた場合，本来は交通投入時間を抑制するために高速道路利用を増大させる，すなわち旅客交通サービス価格の値下げに対しその消費をさせると思われるが，そうした交通行動が考慮できなかったのである．

(2) 本モデルの特徴

前項では，既存 SCGE モデルにおいて，交通行動モデルが非代替的な取り扱いとなっていることによる問題点を指摘した．これに対し，本研究は Barro 型 CES 関数を用いることにより交通行動における代替関係が考慮できるよう SCGE モデルの修正，拡張を試みる．なお，Barro 型 CES 関数はその代替弾力性をゼロとすれば既存 SCGE モデルの非代替交通モデルも表現できるということが重要な点である．その結果，本研究で再構築される SCGE モデルは，全体の統一性(Unification)が確保され，また Barro 型 CES 関数によって様々な代替関係が表現できるため，これをあらゆる場面のモデル化に用いることができる．すなわち，高い適応性(Flexibility)を有し，さらに幅広い公共事業，公共政策の評価に使えるという意味で汎用性(Adoptability)のある一般性が確保されたモデルとなるのである．

３． Barro 型 CES 関数とその特徴

本節では，Barro 型 CES 関数の概要と特徴を示す．

(1) Barro 型 CES 関数

Barro 型 CES 関数は以下のようなものである[2)]．

$$f\left(x_1, x_2\right) = \gamma\left[\alpha\left\{\beta x_1\right\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \left(1-\alpha\right)\left\{\left(1-\beta\right)x_2\right\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1)$$

ただし，x_1, x_2：財 1, 2 の投入量，p_1, p_2：財 1,2 の価格，γ, α, β：パラメータ（$0 \le \alpha \le 1$，$0 \le \beta \le 1$），σ：代替弾力性パラメータ．

この Barro 型 CES 関数でも通常の CES 関数と同様，代替弾力性 σ の値に応じて完全代替，コブ・ダグラス(C-D)関数などが誘導できる．そして特に標準的な

CGE モデルで用いられるレオンチェフ関数が導出可能であることを以下で示す. なお, ここでは $\rho=\frac{\sigma-1}{\sigma}$ とおく.

(2) 他の関数形の誘導

a) $\sigma=\infty,\ \rho=1$ のとき：完全代替

まず $\sigma=\infty$ すなわち $\rho=1$ のとき，$\rho=1$ を直接 f に代入すれば以下を得る.

$$f\left(x_1,x_2\right)=\gamma\left[\alpha\beta\cdot x_1+\left(1-\alpha\right)\left(1-\beta\right)\cdot x_2\right] \tag{2}$$

これは完全代替を表す.

b) $\sigma=1,\ \rho=0$ のとき：コブ・ダグラス型関数

$\sigma=1$ すなわち $\rho=0$ のときは極限となる．これは，西村(1990)[19]と同様に展開できる．まず，式(1)の両辺の対数をとる.

$$\ln f=\ln\gamma+\frac{\ln\left[\alpha\left\{\beta x_1\right\}^{\rho}+\left(1-\alpha\right)\left\{\left(1-\beta\right)x_2\right\}^{\rho}\right]}{\rho} \tag{3}$$

$\rho=0$ のとき右辺は不定形となるため，ロピタルの定理を適用し右辺の分母・分子を ρ で微分する.

$$\ln f=\ln\gamma+\frac{\alpha\left\{\beta x_1\right\}^{\rho}\ln\left\{\beta x_1\right\}+\left(1-\alpha\right)\left\{\left(1-\beta\right)x_2\right\}^{\rho}\ln\left\{\left(1-\beta\right)x_2\right\}}{\alpha\left\{\beta x_1\right\}^{\rho}+\left(1-\alpha\right)\left\{\left(1-\beta\right)x_2\right\}^{\rho}} \tag{4}$$

これに，$\rho=0$ を代入すると以下のコブ・ダグラス型関数が導出できる.

$$\begin{aligned}f\left(x_1,x_2\right)&=\gamma\left\{\beta x_1\right\}^{\alpha}\left\{\left(1-\beta\right)x_2\right\}^{1-\alpha}\\&=\gamma\beta^{\alpha}\left(1-\beta\right)^{1-\alpha}\cdot x_1^{\alpha}x_2^{1-\alpha}\end{aligned} \tag{5}$$

これは，$\gamma'=\gamma\beta^{\alpha}\left(1-\beta\right)^{1-\alpha}$ とすれば

$$f\left(x_1,x_2\right)=\gamma' x_1^{\alpha}x_2^{1-\alpha} \tag{6}$$

となり，通常の C-D 関数と同型となる．すなわち，通常の C-D 関数はパラメータ γ' の中にパラメータ α,β が含まれていると解釈できるのである.

c) $\sigma=0,\ \rho=-\infty$ のとき：レオンチェフ関数

最後に $\sigma=0$ のときであるが, これはミクロ経済学の教科書などでは不等式を用いた証明がなされる．ここではまず CES 関数による最適化問題を解き，そこから得られる需要関数に $\sigma=0$ を代入することとする. そこで式(1)の Barro 型 CES 関数による費用(支出）最小化問題を構築し，それを解いて需要関数を導出する．その結果を表-1 に示した．表-1 にはキャリブレーション手法によるパラメータ推定式も示している．そして，表-1 の需要関数に $\sigma=0$ を代入すると以下が得られる.

$$x_1=\frac{1}{\gamma\beta}\cdot f,\quad x_2=\frac{1}{\gamma\left(1-\beta\right)}\cdot f \tag{7}$$

式(7)の需要関数は価格変数を含んでおらず，これより $\sigma=0$ のとき, 需要は価格に対して完全非代替となることがわかる．そしてこれは関数 $f\left(x_1,x_2\right)$ が以下のレオンチェフ型となることを意味している.

$$f\left(x_1,x_2\right)=\gamma\cdot\min\left[\beta x_1,\left(1-\beta\right)x_2\right] \tag{8}$$

d) 他の完全非代替モデルの導出

続いて，式(8)のレオンチェフモデルから従来の(S)CGE モデルで用いられていた中間財投入における完全非代替モデルと，中間財投入における完全非代替的貨物運輸投入モデルが導出できることを示す. これより Barro 型 CES 関数を基にすればあらゆるモデルの導出が可能となり，本モデルが高い適応性を有することを示すことになる.

まず，以下のようにパラメータを置き直す.

$$a_1=\frac{1}{\gamma\beta},\quad a_2=\frac{1}{\gamma\left(1-\beta\right)} \tag{9}$$

こうすれば a_1,a_2 を投入係数とした旧来の CGE モデルの多くで適用されている中間財投入における完全非代替的なレオンチェフ関数が得られる.

$$f\left(x_1,x_2\right)=\min\left[\frac{x_1}{a_1},\frac{x_2}{a_2}\right] \tag{10}$$

次に，RAEM[5]，安藤ら [13]で用いられている中間財投入における完全非代替的な貨物運輸投入モデルを導出する．まず，従来の完全非代替的な貨物運輸投入モデルとは,

$$\left(p_1+p_T\xi_1 d\right)x_1 \tag{11}$$

のように表される．ただし，p_T は貨物運輸サービス価格，d は時間距離，ξ_1 はパラメータである．式(11)は x_1 という中間財を投入するため $\xi_1 dx_1$ の貨物運輸サービスを投入すると想定したものといえる．この貨物運輸投入モデルは，表-1 のレオンチェフ関数欄の最適化問題において $\beta=\frac{\mu d}{1+\mu d}$ とおくことで誘導できる．ただし，μ はパラメータ，d は時間距離である．そこで，表-1 の第 2 財を貨物運輸サービス T とおきレオンチェフ生産関数を想定した費用最小化問題を考える.

$$c=\min_{x_1,x_T}\ p_1x_1+p_Tx_T \tag{12a}$$

$$\text{s.t. } f=\gamma\cdot\min\left[\frac{\mu d}{1+\mu d}x_1,\frac{1}{1+\mu d}x_T\right] \tag{12b}$$

表-1　代替弾力性ごと（CES 型関数，コブ・ダグラス型関数，レオンチェフ型関数）の最適化問題

	Barro 型 CES 関数（代替弾力性 σ）	コブ・ダグラス型関数（σ =1）	レオンチェフ型関数（σ =0）	CES 型関数（式(16)）
最適化問題	$c=\min_{x_1,x_2}\ p_1x_1+p_2x_2$ s.t. $f=\gamma\left[\alpha\{\beta x_1\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+(1-\alpha)\{(1-\beta)x_2\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$	$c=\min_{x_1,x_2}\ p_1x_1+p_2x_2$ s.t. $f=\gamma\{\beta x_1\}^{\alpha}\{(1-\beta)x_2\}^{1-\alpha}$	$c=\min_{x_1,x_2}\ p_1x_1+p_2x_2$ s.t. $f=\gamma\cdot\min\left[\beta x_1,(1-\beta)x_2\right]$	$c=\min_{x_1,x_2}\ p_1x_1+p_2x_2$ s.t. $f=\eta\left[\varphi x_1^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+(1-\varphi)x_2^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$
需要関数	$x_1=\frac{1}{\gamma\cdot\beta^{1-\sigma}}\left(\frac{\alpha}{p_1}\right)^{\sigma}\Psi_1^{\frac{\sigma}{1-\sigma}}\cdot f$, $x_2=\frac{1}{\gamma(1-\beta)^{1-\sigma}}\left(\frac{1-\alpha}{p_2}\right)^{\sigma}\Psi_1^{\frac{\sigma}{1-\sigma}}\cdot f$ ただし，$\Psi_1=\alpha^{\sigma}\left(\frac{p_1}{\beta}\right)^{1-\sigma}+(1-\alpha)^{\sigma}\left(\frac{p_2}{1-\beta}\right)^{1-\sigma}$	$x_1=\frac{1}{\gamma\beta^{\alpha}(1-\beta)^{1-\alpha}}\left\{\frac{\alpha p_2}{(1-\alpha)p_1}\right\}^{1-\alpha}f$ $x_2=\frac{1}{\gamma\beta^{\alpha}(1-\beta)^{1-\alpha}}\left\{\frac{(1-\alpha)p_1}{\alpha p_2}\right\}^{\alpha}f$	$x_1=\frac{1}{\gamma\beta}f$ $x_2=\frac{1}{\gamma(1-\beta)}f$	$x_1=\frac{1}{\eta}\left(\frac{\varphi}{p_1}\right)^{\sigma}\Psi_3^{\frac{\sigma}{1-\sigma}}\cdot f$, $x_2=\frac{1}{\eta}\left(\frac{1-\varphi}{p_2}\right)^{\sigma}\Psi_3^{\frac{\sigma}{1-\sigma}}\cdot f$ ただし， $\Psi_3=\varphi^{\sigma}p_1^{1-\sigma}+(1-\varphi)^{\sigma}p_2^{1-\sigma}$
費用・支出関数	$c=\frac{1}{\gamma}\Psi_1^{\frac{1}{1-\sigma}}f$	$c=\frac{1}{\gamma\beta^{\alpha}(1-\beta)^{1-\alpha}}$ $\left\{\left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{1-a}+\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{a}\right\}p_1^{\alpha}p_2^{1-\alpha}f$	$c=\left[\frac{1}{\gamma\beta}p_1+\frac{1}{\gamma(1-\beta)}p_2\right]f$	$c=\frac{1}{\eta}\Psi_3^{\frac{1}{1-\sigma}}f$
パラメータ推定式	i)　費用シェア： $\theta_1=\frac{\alpha^{\sigma}\left(\frac{p_1}{\beta}\right)^{1-\sigma}}{\alpha^{\sigma}\left(\frac{p_1}{\beta}\right)^{1-\sigma}+(1-\alpha)^{\sigma}\left(\frac{p_2}{1-\beta}\right)^{1-\sigma}}\left[=\frac{p_1x_1}{\sum_i p_ix_i}\right]$ ii)　制約式：$f=\gamma\left[\alpha\{\beta x_1\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+(1-\alpha)\{(1-\beta)x_2\}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$ iii) 財価格条件(基準時点の財価格 $p_f=1$)： $\frac{1}{\gamma}\Psi_1^{\frac{1}{1-\sigma}}=1\left[=p_f\right]$ i), iii)より以下が導かれ，そして ii)より β が得られる． $\alpha=\frac{\theta_1^{\frac{1}{\sigma}}\left(\frac{p_1}{\beta}\right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}}{\theta_1^{\frac{1}{\sigma}}\left(\frac{p_1}{\beta}\right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+\theta_2^{\frac{1}{\sigma}}\left(\frac{p_2}{1-\beta}\right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}}$，$\gamma=\Psi_1^{\frac{1}{1-\sigma}}$	i)　費用シェア： $\theta_1=\alpha\left[=\frac{p_1x_1}{\sum_i p_ix_i}\right]$ ii)　生産関数： $f=\gamma\{\beta x_1\}^{\alpha}\{(1-\beta)x_2\}^{1-\alpha}$ i), ii)から以下が導ける． $\alpha=\theta_1$, $\gamma=\frac{f}{\{\beta x_1\}^{\alpha}\{(1-\beta)x_2\}^{1-\alpha}}$	x_1 の需要関数より， $\gamma=\frac{1}{\beta x_1}f$ これを x_2 に代入して， $\beta=\frac{x_2}{x_1+x_2}$	i)　費用シェア： $\theta_1=\frac{p_1^{1-\sigma}\varphi^{\sigma}}{p_1^{1-\sigma}\varphi^{\sigma}+p_2^{1-\sigma}(1-\varphi)^{\sigma}}$ ii)　生産関数： $f=\eta\left[\varphi x_1^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+(1-\varphi)x_2^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$ i),ii)から以下が導かれる． $\varphi=\frac{\theta_1^{\frac{1}{\sigma}}p_1^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}}{\theta_1^{\frac{1}{\sigma}}p_1^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+\theta_2^{\frac{1}{\sigma}}p_2^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}}$, $\eta=\frac{f}{\left[\varphi x_1^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+(1-\varphi)x_2^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}}$

これを解くと需要関数は以下となる．

$$x_1=\frac{1}{\gamma}\cdot\frac{1+\mu d}{\mu d}f\,,\quad x_T=\frac{1+\mu d}{\gamma}f \tag{13}$$

なお，x_T は x_1 式より以下となる．

$$x_T=\mu d x_1 \tag{14}$$

以上より，費用関数 c は以下となる．

$$c=\left(p_1+p_2\mu d\right)x_1 \tag{15}$$

ただし，$x_1=\dfrac{1}{\gamma}\cdot\dfrac{1+\mu}{\mu}f$．これは式(11)と同型である．

以上より，式(1)の Barro 型 CES 関数を用いれば既存 SCGE モデルで用いられていたレオンチェフ関数による非代替モデルが誘導できることがわかる．また，表-1 には b) C-D 関数，c)レオンチェフ関数についても，最適化問題と得られる需要関数，パラメータ推定式をまとめて示した．

(3) Barro 型 CES 関数と通常の CES 関数

次に，Barro 型 CES 関数と通常の CES 関数の関係を明らかとしておく．これは，パラメータを置き換えることで変形できる．すなわち，

$$\varphi=\frac{\alpha\beta^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}}{\alpha\beta^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+(1-\alpha)(1-\beta)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}}\,,$$

$$\eta=\gamma\left[\alpha\beta^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+(1-\alpha)(1-\beta)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$ とすると，

$$y=\eta\left[\varphi x_1^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}+(1-\varphi)x_2^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}\right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \tag{16}$$

となり，通常のミクロ経済学の教科書に示されている CES 関数となる．これより，通常の CES 関数もコブ・ダグラス型関数と同様，パラメータ η,φ に実はパラメータ α,β,γ が含まれていると考えられるのである．そして，さらにこのことが通常の CES 関数では，式(8)のレオンチェフ型関数が誘導できない理由であると考えられる．なお，表-1 には参考までに式(16)に基づく最適化問題と，得られる需要関数，費用（支出）関数も示した．

4． Barro 型 CES 関数による簡易 SCGE モデル

続いて，3．で示した Barro 型 CES 関数を用いて SCGE モデルを構築する．ここではまず，2 地域 2 部門（合成財企業，運輸企業）からなる簡易な SCGE モデルを示す．その全体構成は図-1 のとおりである．企業，家計とも自地域だけではなく，他地域からも

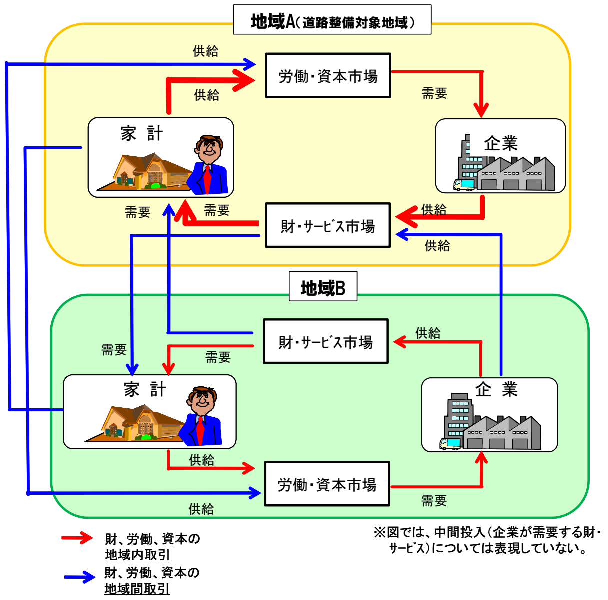

図-1 簡易 SCGE モデルの全体構成

交易を通じて財の投入，消費が可能である．ただし，それには運輸サービスが必要となる．そして，この運輸サービス投入に対しても Barro 型 CES 関数を適用したということが本研究の特徴である．

また，本 SCGE モデルでは，家計の他地域への通勤，他地域への資本供給も考慮している．

企業の行動モデルの概要とその具体的な定式化を図-2，表-2 にそれぞれ示した．なお，図-2(b)は運輸企業を別で示したものである．企業行動モデルでは，運輸サービス投入モデルに効率パラメータを導入した．この結果，交通整備により所要時間が変化した際，運輸サービス投入が効率化されるとしてその影響を分析することが可能となる．

次に，家計の行動モデルの概要とその具体的な定式化を図-3，表-3 にそれぞれ示した．家計行動モデルは，表-1 のベースモデルで示した最小化問題と整合させるため，効用水準を維持するという条件下での支出最小化問題として定式化を行っている．

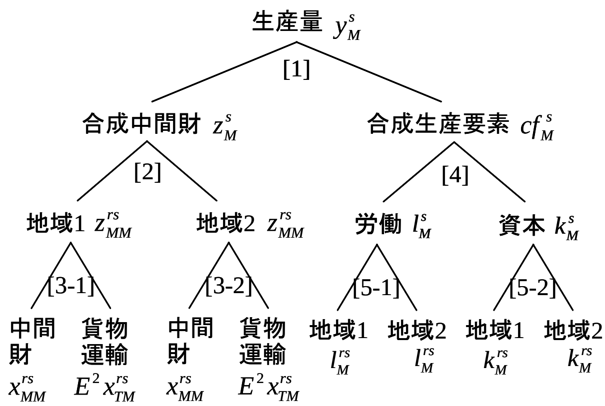

図-2(a) 企業行動モデルの概要

表-2　企業行動モデルの定式化

[1]	最適化問題	$p_M^s y_M^s = \min_{z_M^s, cf_M^s} \left[q_M^s z_M^s + pf_M^s cf_M^s \right]$ s.t. $y_M^s = \gamma_M^s \left[\alpha_M^s \left\{ \beta_M^s z_M^s \right\}^{\frac{\sigma_M^s-1}{\sigma_M^s}} + \left(1-\alpha_M^s\right)\left\{\left(1-\beta_M^s\right) cf_M^s\right\}^{\frac{\sigma_M^s-1}{\sigma_M^s}} \right]^{\frac{\sigma_M^s}{\sigma_M^s-1}}$
	需要関数	$z_M^s = \frac{1}{\gamma_M^s \beta_M^{s\,1-\sigma_M^s}} \left(\frac{\alpha_M^s}{q_M^s}\right)^{\sigma_M^s} \Psi_M^{s\,\frac{\sigma_M^s}{1-\sigma_M^s}} y_M^s$，　$cf_M^s = \frac{1}{\gamma_M^s \left(1-\beta_M^s\right)^{1-\sigma_M^s}} \left(\frac{1-\alpha_M^s}{pf_M^s}\right)^{\sigma_M^s} \Psi_M^{s\,\frac{\sigma_M^s}{1-\sigma_M^s}} y_M^s$ ただし，　$\Psi_M^s = \alpha_M^{s\,\sigma_M^s}\left(\frac{q_M^s}{\beta_M^s}\right)^{1-\sigma_M^s} + \left(1-\alpha_M^s\right)^{\sigma_M^s}\left(\frac{pf_M^s}{1-\beta_M^s}\right)^{1-\sigma_M^s}$ 財価格　$p_M^s = \frac{1}{\gamma_M^s}\Psi_M^{s\,\frac{1}{1-\sigma_M^s}}$
		ただし，　z_M^s, cf_M^s ： s 地域合成財企業の合成中間財投入量および合成生産要素投入量，　q_M^s, pf_M^s ： z_M^s, cf_M^s の価格，　$\alpha_M^s, \beta_M^s, \gamma_M^s$ ：パラメータ，　σ_M^s ：代替弾力性，　y_M^s ： s 地域合成財企業の生産量，　p_M^s ：合成財価格.
[2]	最適化問題	$q_M^s z_M^s = \min_{z_{MM}^{rs}} \sum_r q_{MM}^{rs} z_{MM}^{rs}$ s.t. $z_{MM}^s = \gamma_{MM}^s \left[\sum_r \alpha_{MM}^{rs}\left\{\beta_{MM}^{rs} z_{MM}^{rs}\right\}^{\frac{\sigma_{MM}^s-1}{\sigma_{MM}^s}}\right]^{\frac{\sigma_{MM}^s}{\sigma_{MM}^s-1}}$　　(ただし，　$\sum_r \alpha_{MM}^{rs} = 1, \sum_r \beta_{MM}^{rs} = 1$)
	需要関数	$z_{MM}^{rs} = \frac{1}{\gamma_{MM}^s \beta_{MM}^{rs\,1-\sigma_{MM}^s}}\left(\frac{\alpha_{MM}^{rs}}{q_{MM}^{rs}}\right)^{\sigma_{MM}^s}\Psi_{MM}^{s\,\frac{\sigma_{MM}^s}{1-\sigma_{MM}^s}} z_{MM}^s$ ただし，　$\Psi_{MM}^s = \sum_r \alpha_{MM}^{rs\,\sigma_{MM}^s}\left(\frac{q_{MM}^{rs}}{\beta_{MM}^{rs}}\right)^{1-\sigma_{MM}^s}$ 財価格　$q_{MM}^s = \frac{1}{\gamma_{MM}^s}\Psi_{MM}^{s\,\frac{1}{1-\sigma_{MM}^s}}$
		ただし，z_{MM}^{rs} ： s 地域合成財企業の r 地域からの合成中間財(合成財)投入量，q_{MM}^{rs} ： z_{MM}^{rs} の価格，$\alpha_{MM}^{rs}, \beta_{MM}^{rs}, \gamma_{MM}^s$ ：パラメータ，σ_{MM}^s ：代替弾力性，z_{MM}^s ： s 地域合成財企業の合成中間財投入量水準([1]で決定)，q_{MM}^s ： z_{MM}^s の価格.
[3]	最適化問題	$q_{MM}^{rs} z_{MM}^{rs} = \min_{x_{MM}^{rs}, x_{TM}^{rs}} \; p_M^r x_{MM}^{rs} + p_T^r \left(E^2 x_{TM}^{rs}\right)$ s.t. $z_{MM}^{rs} = \gamma_{TM}^{rs}\left[\left(1-\alpha_{TM}^{rs}\right)\left\{\left(1-\beta_{TM}^{rs}\right)x_{MM}^{rs}\right\}^{\frac{\sigma_{TM}^{rs}-1}{\sigma_{TM}^{rs}}} + \alpha_{TM}^{rs}\left\{\beta_{TM}^{rs}\cdot E^2 x_{TM}^{rs}\right\}^{\frac{\sigma_{TM}^{rs}-1}{\sigma_{TM}^{rs}}}\right]^{\frac{\sigma_{TM}^{rs}}{\sigma_{TM}^{rs}-1}}$
	需要関数	$x_{MM}^{rs} = \frac{1}{\gamma_{TM}^{rs}\left(1-\beta_{TM}^{rs}\right)^{1-\sigma_{TM}^{rs}}}\left(\frac{1-\alpha_{TM}^{rs}}{p_M^r}\right)^{\sigma_{TM}^{rs}}\Psi_{TM}^{rs\,\frac{\sigma_{TM}^{rs}}{1-\sigma_{TM}^{rs}}} z_{MM}^{rs}$，　$x_{MM}^{rs} = \frac{1}{\gamma_{TM}^{rs}\left(\beta_{TM}^{rs}E^2\right)^{1-\sigma_{TM}^{rs}}}\left(\frac{\alpha_{TM}^{rs}}{p_T^r}\right)^{\sigma_{TM}^{rs}}\Psi_{TM}^{rs\,\frac{\sigma_{TM}^{rs}}{1-\sigma_{TM}^{rs}}} z_{MM}^{rs}$ ただし，　$\Psi_{TM}^{rs} = \left(1-\alpha_{TM}^{rs}\right)^{\sigma_{TM}^{rs}}\left(\frac{p_M^r}{1-\beta_{TM}^{rs}}\right)^{1-\sigma_{TM}^{rs}} + \alpha_{TM}^{rs\,\sigma_{TM}^{rs}}\left(\frac{p_T^r}{\beta_{TM}^{rs}E^2}\right)^{1-\sigma_{TM}^{rs}}$ 財価格　$q_{TM}^{rs} = \frac{1}{\gamma_{TM}^{rs}}\Psi_{TM}^{rs\,\frac{1}{1-\sigma_{TM}^{rs}}}$
		ただし，　x_{MM}^{rs}, x_{TM}^{rs} ： s 地域合成財企業の r 地域からの中間財(合成財)投入量と，その輸送のための貨物サービス投入量，　p_M^r, p_T^r ： x_{MM}^{rs}, x_{TM}^{rs} それぞれの価格，　$\alpha_{TM}^{rs}, \beta_{TM}^{rs}, \gamma_{TM}^{rs}$ ：パラメータ，　σ_{TM}^{rs} ：代替弾力性，　z_{MM}^{rs} ： s 地域合成財企業の r 地域からの合成中間財(合成財)投入量水準([2]で決定)，　q_{MM}^{rs} ： z_{MM}^{rs} の価格.
[4]	最適化問題	$pf_M^s cf_M^s = \min_{l_M^s, k_M^s} \; w_M^s l_M^s + r_M^s k_M^s$ s.t. $cf_M^s = \gamma_{FM}^s\left[\alpha_{LM}^s\left\{\beta_{LM}^s l_M^s\right\}^{\frac{\sigma_{FM}^s-1}{\sigma_{FM}^s}} + \left(1-\alpha_{LM}^s\right)\left\{\left(1-\beta_{LM}^s\right)k_M^s\right\}^{\frac{\sigma_{FM}^s-1}{\sigma_{FM}^s}}\right]^{\frac{\sigma_{FM}^s}{\sigma_{FM}^s-1}}$
	需要関数	$l_M^s = \frac{1}{\gamma_{FM}^s \beta_{LM}^{s\,1-\sigma_{FM}^s}}\left(\frac{\alpha_{LM}^s}{w_M^s}\right)^{\sigma_{FM}^s}\Psi_{FM}^{s\,\frac{\sigma_{FM}^s}{1-\sigma_{FM}^s}} cf_M^s$，　$k_M^s = \frac{1}{\gamma_{FM}^s\left(1-\beta_{LM}^s\right)^{1-\sigma_{FM}^s}}\left(\frac{1-\alpha_{LM}^s}{r_M^s}\right)^{\sigma_{FM}^s}\Psi_{FM}^{s\,\frac{\sigma_{FM}^s}{1-\sigma_{FM}^s}} cf_M^s$ ただし，　$\Psi_{FM}^s = \alpha_{LM}^{s\,\sigma_{FM}^s}\left(\frac{w_M^s}{\beta_{LM}^s}\right)^{1-\sigma_{FM}^s} + \left(1-\alpha_{LM}^s\right)^{\sigma_{FM}^s}\left(\frac{r_M^s}{1-\beta_{LM}^s}\right)^{1-\sigma_{FM}^s}$ 財価格　$pf_M^s = \frac{1}{\gamma_{FM}^s}\Psi_{FM}^{s\,\frac{1}{1-\sigma_{FM}^s}}$

		ただし， l_M^s, k_M^s ： s 地域合成財企業の合成労働投入量，合成資本投入量， w_M^s, r_M^s ： l_M^s, k_M^s のそれぞれの価格， $\alpha_{LM}^s, \beta_{LM}^s, \gamma_{FM}^s$ ：パラメータ， σ_{FM}^s ：代替弾力性， cf_M^s ： s 地域合成財企業の合成生産要素投入量水準([1]で決定)， pf_M^s ： cf_M^s の価格.
[5]-1	最適化問題	$w_M^s l_M^s = \min_{l_M^s} \sum_r w^{rs} l_M^{rs}$ s.t. $l_M^s = \gamma_{LM}^s \left[\sum_r \alpha_{LM}^{rs} \left\{ \beta_{LM}^{rs}\, l_M^{rs} \right\}^{\frac{\sigma_{LM}^{rs}-1}{\sigma_{LM}^{rs}}} \right]^{\frac{\sigma_{LM}^{rs}}{\sigma_{LM}^{rs}-1}}$
	需要関数	$l_M^{rs} = \frac{1}{\gamma_{LM}^s \beta_{LM}^{rs\ 1-\sigma_{LM}^{rs}}} \left(\frac{\alpha_{LM}^{rs}}{w^{rs}} \right)^{\sigma_{LM}^{rs}} \Psi_{LM}^{rs\ \frac{\sigma_{LM}^{rs}}{1-\sigma_{LM}^{rs}}} \cdot l_M^s$ ただし， $\Psi_{LM}^{rs} = \sum_r \alpha_{LM}^{rs\ \sigma_{LM}^{rs}} \left(\frac{w^{rs}}{\beta_{LM}^{rs}} \right)^{1-\sigma_{LM}^{rs}}$ 財価格： $w_M^s = \frac{1}{\gamma_{LM}^s} \Psi_{LM}^{rs\ \frac{1}{1-\sigma_{LM}^{rs}}}$
		ただし， l_M^{rs} ： s 地域合成財企業の r 地域からの労働投入量， w^{rs} ： l_M^{rs} の価格， $\alpha_{LM}^{rs}, \beta_{LM}^{rs}, \gamma_{LM}^s$ ：パラメータ， σ_{LM}^{rs} ：代替弾力性， l_M^s ： s 地域合成財企業の合成労働投入量([4]で決定)， w_M^s ： l_M^s の価格.
[5]-2		s 地域合成財企業の r 地域からの資本投入モデル ：[5]-1 の l を k ， w を r に代えたものと同様である．ここでは詳細は割愛する.

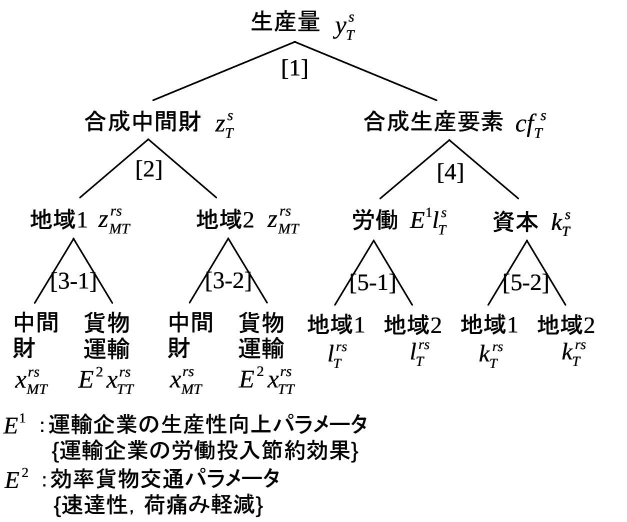

図-2(b)　運輸企業行動モデルの概要

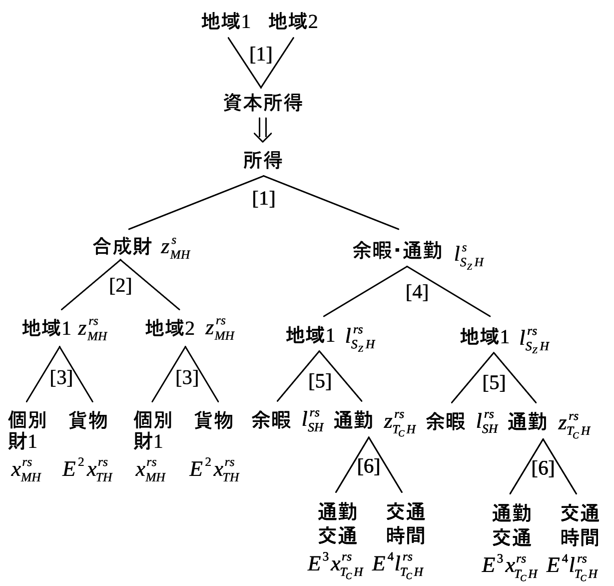

図-3　家計行動モデルの概要

また，家計行動モデルにおいても，交通消費においては効率パラメータを導入し，交通整備による影響を表現することとした.

５．おわりに

本研究は, 旧来の SCGE モデルにおける CES 関数とレオンチェフタイプの非代替モデルとの不整合性に係わる問題を提起し，Barro 型 CES 関数を用いることで統一的モデルを構築できることを示した．その上で SCGE モデルの再構築を行った．本研究で提示した SCGE モデルによれば，交通整備によって効率的投入が可能となった交通サービスあるいは交通時間を人々がどのように投入し，消費するのか，その結果企業の生産費用構造や家計効用水準にどういった影響を与えるのかが詳細に捉えられるようになったといえる.

現在モデルの提示のみにとどまっているが，今後数値計算を実行しモデルの挙動を確認した上で，さらに実際の地域間道路整備に適用していきたいと考えている.

【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，2010(刊行予定).
2) Barro, R.J. and X.S-i. Martin : Economic Growth, the MIT Press, 2003 (大住圭介訳：内生的経済成長論 I， 九州大学出版会，2006).
3) Bröcker J. : Operational Spatial Computable General Equilibrium Modeling, The Annals of Regional Science, Vol.32, pp.367-387, 1998.

表-3　家計行動モデルの定式化

[1]	最適化問題	$p_H^s U_H^s = \min_{z_{MH}^s, l_{S_Z H}^s} \left[q_{MH}^s z_{MH}^s + w_H^s l_{S_Z H}^s \right]$ s.t. $U_H^s = \gamma_H^s \left[\alpha_{MH}^s \left\{ \beta_{MH}^s z_{MH}^s \right\}^{\frac{\sigma_{MH}^s - 1}{\sigma_{MH}^s}} + \left(1-\alpha_{MH}^s\right) \left\{ \left(1-\beta_{MH}^s\right) l_{S_Z H}^s \right\}^{\frac{\sigma_{MH}^s - 1}{\sigma_{MH}^s}} \right]^{\frac{\sigma_{MH}^s}{\sigma_{MH}^s - 1}}$	
	需要関数	$z_{MH}^s = \frac{1}{\gamma_H^s {\beta_{MH}^s}^{1-\sigma_{MH}^s}} \left(\frac{\alpha_{MH}^s}{q_{MH}^s}\right)^{\sigma_{MH}^s} {\Psi_{MH}^s}^{\frac{\sigma_{MH}^s}{1-\sigma_{MH}^s}} U_H^s$， $l_{S_Z M}^s = \frac{1}{\gamma_H^s \left(1-\beta_{MH}^s\right)^{1-\sigma_{MH}^s}} \left(\frac{1-\alpha_{MH}^s}{w_H^s}\right)^{\sigma_{MH}^s} {\Psi_{MH}^s}^{\frac{\sigma_{MH}^s}{1-\sigma_{MH}^s}} U_H^s$ ただし， $\Psi_{MH}^s = {\alpha_{MH}^s}^{\sigma_{MH}^s} \left(\frac{q_{MH}^s}{\beta_{MH}^s}\right)^{1-\sigma_{MH}^s} + \left(1-\alpha_{MH}^s\right)^{\sigma_{MH}^s} \left(\frac{w_H^s}{1-\beta_{MH}^s}\right)^{1-\sigma_{MH}^s}$	財価格 $p_H^s = \frac{1}{\gamma_H^s} {\Psi_{MH}^s}^{\frac{1}{1-\sigma_{MH}^s}}$
		ただし， $z_{MH}^s, l_{S_Z H}^s$ ： s 地域家計の合成財消費量および合成時間(余暇・通勤交通)消費量， q_{MH}^s, w_H^s ： $z_{MH}^s, l_{S_Z H}^s$ の価格， $\alpha_{MH}^s, \beta_{MH}^s, \gamma_H^s$ ：パラメータ， σ_{MH}^s ：代替弾力性， U_H^s ： s 地域家計の効用水準， p_H^s ： u_H^s の価格.	
[2]	最適化問題	$q_{MH}^s z_{MH}^s = \min_{z_{MH}^{rs}} \sum_r q_{MH}^{rs} z_{MH}^{rs}$ s.t. $z_{MH}^s = \gamma_{MH}^s \left[\sum_r \alpha_{MH}^{rs} \left\{ \beta_{MH}^{rs} z_{MH}^{rs} \right\}^{\frac{\sigma_{MH}^s - 1}{\sigma_{MH}^s}} \right]^{\frac{\sigma_{MH}^s}{\sigma_{MH}^s - 1}}$ (ただし， $\sum_r \alpha_{MH}^{rs} = 1, \sum_r \beta_{MH}^{rs} = 1$)	
	需要関数	$z_{MH}^{rs} = \frac{1}{\gamma_{MH}^s {\beta_{MH}^{rs}}^{1-\sigma_{MH}^s}} \left(\frac{\alpha_{MH}^{rs}}{q_{MH}^{rs}}\right)^{\sigma_{MH}^s} {\Psi_{MH}^s}^{\frac{\sigma_{MH}^s}{1-\sigma_{MH}^s}} z_{MH}^s$ ただし， $\Psi_{MH}^s = \sum_r {\alpha_{MH}^{rs}}^{\sigma_{MH}^s} \left(\frac{q_{MH}^{rs}}{\beta_{MH}^{rs}}\right)^{1-\sigma_{MH}^s}$	財価格 $q_{MH}^s = \frac{1}{\gamma_{MH}^s} {\Psi_{MH}^s}^{\frac{1}{1-\sigma_{MH}^s}}$
		ただし， z_{MH}^{rs} ： s 地域家計の r 地域からの合成財消費量， q_{MH}^{rs} ： z_{MH}^{rs} の価格， $\alpha_{MH}^{rs}, \beta_{MH}^{rs}, \gamma_{MH}^s$ ：パラメータ， σ_{MH}^s ：代替弾力性， z_{MH}^s ： s 地域家計の合成財消費量水準([1]で決定)， q_{MH}^s ： z_{MH}^s の価格.	
[3]	最適化問題	$q_{MH}^{rs} z_{MH}^{rs} = \min_{x_{MH}^{rs}, x_{TH}^{rs}} \; p_M^r x_{MH}^{rs} + p_T^r \left(E^2 x_{TH}^{rs} \right)$ s.t. $z_{MH}^{rs} = \gamma_{TH}^{rs} \left[\left(1-\alpha_{TH}^{rs}\right) \left\{ \left(1-\beta_{TH}^{rs}\right) x_{MH}^{rs} \right\}^{\frac{\sigma_{TH}^{rs} - 1}{\sigma_{TH}^{rs}}} + \alpha_{TH}^{rs} \left\{ \beta_{TH}^{rs} \cdot E^2 x_{TH}^{rs} \right\}^{\frac{\sigma_{TH}^{rs} - 1}{\sigma_{TH}^{rs}}} \right]^{\frac{\sigma_{TH}^{rs}}{\sigma_{TH}^{rs} - 1}}$	
	需要関数	$x_{MH}^{rs} = \frac{1}{\gamma_{TH}^{rs} \left(1-\beta_{TH}^{rs}\right)^{1-\sigma_{TH}^{rs}}} \left(\frac{1-\alpha_{TH}^{rs}}{p_M^r}\right)^{\sigma_{TH}^{rs}} {\Psi_{TH}^{rs}}^{\frac{\sigma_{TH}^{rs}}{1-\sigma_{TH}^{rs}}} z_{MH}^{rs}$， $x_{MH}^{rs} = \frac{1}{\gamma_{TH}^{rs} \left(\beta_{TH}^{rs} E^2\right)^{1-\sigma_{TH}^{rs}}} \left(\frac{\alpha_{TH}^{rs}}{p_T^r}\right)^{\sigma_{TH}^{rs}} {\Psi_{TH}^{rs}}^{\frac{\sigma_{TH}^{rs}}{1-\sigma_{TH}^{rs}}} z_{MH}^{rs}$ ただし， $\Psi_{TH}^{rs} = \left(1-\alpha_{TH}^{rs}\right)^{\sigma_{TH}^{rs}} \left(\frac{p_M^r}{1-\beta_{TH}^{rs}}\right)^{1-\sigma_{TH}^{rs}} + {\alpha_{TH}^{rs}}^{\sigma_{TH}^{rs}} \left(\frac{p_T^r}{\beta_{TH}^{rs} E^2}\right)^{1-\sigma_{TH}^{rs}}$	財価格 $q_{TH}^{rs} = \frac{1}{\gamma_{TH}^{rs}} {\Psi_{TH}^{rs}}^{\frac{1}{1-\sigma_{TH}^{rs}}}$
		ただし， x_{MH}^{rs}, x_{TH}^{rs} ： s 地域家計の r 地域からの合成財消費量と，その輸送のための貨物サービス投入量， p_M^r, p_T^r ： x_{MH}^{rs}, x_{TH}^{rs} それぞれの価格， $\alpha_{TH}^{rs}, \beta_{TH}^{rs}, \gamma_{TH}^{rs}$ ：パラメータ， σ_{TH}^{rs} ：代替弾力性， z_{MH}^{rs} ： s 地域家計の r 地域からの合成財消費量水準([2]で決定)， q_{MH}^{rs} ： z_{MH}^{rs} の価格.	
[4]	最適化問題	$w_H^s l_{S_Z H}^s = \min_{l_{S_Z H}^s} \sum_r w_H^{rs} l_{S_Z H}^{rs}$ s.t. $l_{S_Z H}^{rs} = \gamma_{SH}^s \left[\sum_r \alpha_{SH}^{rs} \left\{ \beta_{SH}^{rs} l_{S_Z H}^{rs} \right\}^{\frac{\sigma_{SH}^s - 1}{\sigma_{SH}^s}} \right]^{\frac{\sigma_{SH}^s}{\sigma_{SH}^s - 1}}$ (ただし， $\sum_r \alpha_{SH}^{rs} = 1, \sum_r \beta_{SH}^{rs} = 1$)	
	需要関数	$l_{S_Z H}^{rs} = \frac{1}{\gamma_{SH}^s {\beta_{SH}^{rs}}^{1-\sigma_{SH}^s}} \left(\frac{\alpha_{SH}^{rs}}{w_H^{rs}}\right)^{\sigma_{SH}^s} {\Psi_{SH}^s}^{\frac{\sigma_{SH}^s}{1-\sigma_{SH}^s}} l_{S_Z H}^s$ ただし， $\Psi_{SH}^s = \sum_r {\alpha_{SH}^{rs}}^{\sigma_{SH}^s} \left(\frac{w_H^{rs}}{\beta_{SH}^{rs}}\right)^{1-\sigma_{SH}^s}$	財価格 $w_H^s = \frac{1}{\gamma_{SH}^s} {\Psi_{SH}^s}^{\frac{1}{1-\sigma_{SH}^s}}$

		ただし，$l^{rs}_{S_Z H}$ ：r 地域勤務の s 地域家計の合成時間消費量，w^s_H ：$l^{rs}_{S_Z H}$ の価格，$\alpha^{rs}_{SH}, \beta^{rs}_{SH}, \gamma^{rs}_{SH}$ ：パラメータ，σ^{rs}_{SH} ：代替弾力性，$l^s_{S_Z H}$ ：s 地域家計の合成時間消費量水準([1]で決定)，w^s_H ：$l^s_{S_Z H}$ の価格.
[5]	最適化問題	$w^{rs}_H l^{rs}_{S_Z H} = \min_{l^{rs}_{SH}, z^{rs}_{T_C H}} \; w^{rs} l^{rs}_{SH} + q^{rs}_{T_C H} z^{rs}_{T_C H}$ s.t. $l^{rs}_{S_Z H} = \gamma^{rs}_{SH}\left[\alpha^{rs}_{SH}\left\{\beta^{rs}_{SH} l^{rs}_{SH}\right\}^{\frac{\sigma^s_{SH}-1}{\sigma^s_{SH}}} + \left(1-\alpha^{rs}_{SH}\right)\left\{\left(1-\beta^{rs}_{SH}\right) z^{rs}_{T_C H}\right\}^{\frac{\sigma^s_{SH}-1}{\sigma^s_{SH}}}\right]^{\frac{\sigma^s_{SH}}{\sigma^s_{SH}-1}}$
	需要関数	$l^{rs}_{SH} = \frac{1}{\gamma^{rs}_{SH}\beta^{rs\;1-\sigma^s_{SH}}_{SH}}\left(\frac{\alpha^{rs}_{SH}}{w^{rs}}\right)^{\sigma^{rs}_{SH}} \Psi^{rs\;\frac{\sigma^{rs}_{SH}}{1-\sigma^{rs}_{SH}}}_{SH} l^{rs}_{S_Z H}$ ， $z^{rs}_{T_C H} = \frac{1}{\gamma^{rs}_{SH}\left(1-\beta^{rs}_{SH}\right)^{1-\sigma^s_{SH}}}\left(\frac{1-\alpha^{rs}_{SH}}{q^{rs}_{T_C H}}\right)^{\sigma^{rs}_{SH}} \Psi^{rs\;\frac{\sigma^{rs}_{SH}}{1-\sigma^{rs}_{SH}}}_{SH} l^{rs}_{S_Z H}$ ただし， $\Psi^{rs}_{SH} = \alpha^{rs\;\sigma^{rs}_{SH}}_{SH}\left(\frac{w^{rs}}{\beta^{rs}_{SH}}\right)^{1-\sigma^{rs}_{SH}} + \left(1-\alpha^{rs}_{SH}\right)^{\sigma^{rs}_{SH}}\left(\frac{q^{rs}_{T_C H}}{1-\beta^{rs}_{SH}}\right)^{1-\sigma^{rs}_{SH}}$ 財価格： $w^{rs}_H = \frac{1}{\gamma^{rs}_{SH}}\Psi^{rs\;\frac{1}{1-\sigma^{rs}_{SH}}}_{SH}$
		ただし，$l^{rs}_{SH}, z^{rs}_{T_C H}$ ：r 地域勤務の s 地域家計の余暇消費量，合成通勤交通消費量，$w^{rs}, q^{rs}_{T_C H}$ ：$l^{rs}_{SH}, z^{rs}_{T_C H}$ のそれぞれの価格，$\alpha^{rs}_{SH}, \beta^{rs}_{SH}, \gamma^{rs}_{SH}$ ：パラメータ，σ^{rs}_{SH} ：代替弾力性，$l^{rs}_{S_Z H}$ ：r 地域勤務の s 地域家計の合成時間消費量水準([4]で決定)，w^{rs}_H ：$l^{rs}_{S_Z H}$ の価格.
[6]	最適化問題	$q^{rs}_{T_C H} z^{rs}_{T_C H} = \min_{x^{rs}_{T_C H}, l^{rs}_{T_C H}} \; p^r_T\left(E^3 x^{rs}_{T_C H}\right) + w^{rs}\left(E^4 l^{rs}_{T_C H}\right)$ s.t. $z^{rs}_{T_C H} = \gamma^{rs}_{T_C H}\left[\alpha^{rs}_{T_C H}\left\{\beta^{rs}_{T_C H} E^3 x^{rs}_{T_C H}\right\}^{\frac{\sigma^{rs}_{T_C H}-1}{\sigma^{rs}_{T_C H}}} + \left(1-\alpha^{rs}_{T_C H}\right)\left\{\left(1-\beta^{rs}_{T_C H}\right) E^4 l^{rs}_{T_C H}\right\}^{\frac{\sigma^{rs}_{T_C H}-1}{\sigma^{rs}_{T_C H}}}\right]^{\frac{\sigma^{rs}_{T_C H}}{\sigma^{rs}_{T_C H}-1}}$
		$x^{rs}_{T_C H} = \frac{1}{\gamma^{rs}_{T_C H}\left\{\beta^{rs}_{T_C H} E^3\right\}^{1-\sigma^{rs}_{T_C H}}}\left(\frac{\alpha^{rs}_{T_C H}}{p^r_T}\right)^{\sigma^{rs}_{T_C H}} \Psi^{rs\;\frac{\sigma^{rs}_{T_C H}}{1-\sigma^{rs}_{T_C H}}}_{T_C H} z^{rs}_{T_C H}$, $l^{rs}_{T_C H} = \frac{1}{\gamma^{rs}_{T_C H}\left\{\left(1-\beta^{rs}_{T_C H}\right) E^4\right\}^{1-\sigma^{rs}_{T_C H}}}\left(\frac{1-\alpha^{rs}_{T_C H}}{w^{rs}}\right)^{\sigma^{rs}_{T_C H}} \Psi^{rs\;\frac{\sigma^{rs}_{T_C H}}{1-\sigma^{rs}_{T_C H}}}_{T_C H} z^{rs}_{T_C H}$ ただし， $\Psi^{rs}_{T_C H} = \alpha^{rs\;\sigma^{rs}_{TM}}_{TM}\left(\frac{p^r_T}{\beta^{rs}_{T_C H}}\right)^{1-\sigma^{rs}_{T_C H}} + \left(1-\alpha^{rs}_{TM}\right)^{\sigma^{rs}_{TM}}\left(\frac{w^{rs}}{1-\beta^{rs}_{T_C H}}\right)^{1-\sigma^{rs}_{T_C H}}$ 財価格： $q^{rs}_{T_C H} = \frac{1}{\gamma^{rs}_{T_C H}}\Psi^{rs\;\frac{1}{1-\sigma^{rs}_{T_C H}}}_{T_C H}$
		ただし，$x^{rs}_{T_C H}, l^{rs}_{T_C H}$ ：r 地域勤務の s 地域家計の通勤交通に係わる旅客運輸サービス消費量，通勤時間投入量，p^r_T, w^{rs} ：$x^{rs}_{T_C H}, l^{rs}_{T_C H}$ の価格，$\alpha^{rs}_{T_C H}, \beta^{rs}_{T_C H}, \gamma^s_{T_C H}$ ：パラメータ，$\sigma^{rs}_{T_C H}$ ：代替弾力性，$z^{rs}_{T_C H}$ ：r 地域勤務の s 地域家計の合成通勤交通消費量水準([5]で決定)，$q^{rs}_{T_C H}$ ：$z^{rs}_{T_C H}$ の価格.

4) Schneekloth N., Bröcker J., Korzhenevych A. : Assessment of the Contribution of the TEN and Other Transport Policy Measures to the Midterm Implementation of the White Paper on the European Transport Policy for 2010, Annex VIII CGE Modeling of The White Paper Measures, Final Report, European Commission, 2005.
5) Oosterhaven, J. and Knaap, T. : Spatial Economic Impacts of Transport Infrastructure Investments, in: Pearman, A., Mackie, P. and Nellthorp, J. (eds) Transport Projects, Programmes and Policies: Evaluation Needs and Capabilities, Ashgate, Aldershot, pp. 87-105, 2003.
6) Vold, A and Jean-Hansen, V. : PINGO - A Model for Prediction of Regional and Interregional Freight Transport in Norway, TØI report 899/2007, Institute of Transport Economics, Oslo, 2007.
7) Ivanova, O. : The Influence of Market Imperfections On The Evaluation of Investments - a SCGE Model Approach, paper at the EcoMod Conference on Input-Output and General Equilibrium : Data, Modeling and Policy Analysis, Brussels, 2004.
8) Williams, I., Tavasszy, L. and Muskens, J. : Feasibility Study of SCGE Models of Goods Flows in Sweden, Report prepared for the Swedish Institute for Transport and Communications Analysis, 2002.
9) Schmid, C., Steininger, K.W. and Braumann, A. : New Road Transport Infrastructure and Sectoral Regional Growth : A SCGE Analysis for the A4 Extension to the Austrian-Hungarian Border, paper at the EcoMod Conference on Regional and Urban Modeling 2007, Brussels, 2007.
10)Gunn, H. : SCGE Models: Relevance and Accessibility for Use in the UK, with emphasis on Implications for Evaluation of Transport Investments, Final Report, RAND Europe Cambridge, 2004.
11)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.
12)宮城俊彦：独立した輸送部門を前提にした地域間交易モデル，地域学研究，Vol.34，No.3，pp.137-152，2004.

13)孟渤，安藤朝夫：SCGE モデルにおける財輸送の考慮とワルラス法則：中国基準均衡解による検証，応用地域学研究，No.9(1)，pp.49-60，2004.
14)Mizokami, S. and Itose, M. : Application to the Developing Country of SCGE Model Based on 2-Regional SAM, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp.3985-4000, 2005.
15)小池淳司，上田孝行：大規模地震による経済的被害の空間的把握：空間的応用一般均衡モデルによる計量厚生分析，多々納裕一，高木朗義編著，防災の経済分析，勁草書房，第 8 章，pp.136-150，2005.
16)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.
17)太田和博，加藤一誠，小島克巳：交通の産業連関分析，日本評論社，2006.
18)小池淳司，上田孝行，宮下光弘：旅客トリップを考慮した SCGE モデルの構築とその応用，土木計画学研究・論文集，Vol.17，pp.237-245，2000.
19)西村和雄：ミクロ経済学，東洋経済新報社，1990.
20)Tavasszy, L., Thissen, M., Muskens, J. and Oosterhaven, J. : Pitfalls and Solutions in the Application of Spatial Computable General Equilibrium Models for Transport Appraisal, paper presented at the 42nd congress of the ERSA, Dortmund, CD-ROM, No.452, 2002.