ＳＣＧＥモデルによる
地域間アクセシビリティ変化の経済効果分析

Economic Impact Analysis of the Change in Accessibility with the SCGE model

宮城俊彦*, 岡松明良**
By Toshihiko Miyagi, and Akira OKAMATHU

1. はじめに

本研究は、宮城[1)]およびMiyagi and Sakurai[2)]によって提案された輸送部門を独立した産業部門とみなす空間計量一般均衡 (A Spatial Computable General Equilibrium; SCGE) 分析の特性を明らかにし、実際への適用を通してその妥当性を検証することを目的としている。

SCGEモデルはCGEモデルを地域間交易を内生化するように拡張したモデルであり、宮城・本部[3)]およびBrocker[4)]によってほぼ同時期に提案された。初期のSCGEモデルはCGEモデルとネットワーク均衡分析を統合化することに焦点をおいた、いわゆるNetwork CGEであり、地域間交易フローは所与のものとして扱っていた[5)]。一方、地域間交易係数を所与とする一般均衡モデルについてはNCGEが提案される以前にKanemoto and Mera[6)]によって提案されていた。これらのモデルはいづれも輸送費をiceberg （氷解）モデルによって一般均衡分析の枠組みに組み入れており、運輸部門は明示的には扱われない[7)]。

宮城(2005)は輸送部門を独立した生産部門として扱うと同時に、交通インフラ整備によるアクセシビリティ改善の経済効果を分析する SCGE モデルを提案している。このモデルを以降では M-SCGE と略称する。

*正会員　工博　東北大学教授　大学院情報科学研究科（〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06）
**学生会員　工学修士　東北大学大学院情報科学研究科博士前期課程（同上）

M-SCGE モデルは地域間交易の予測を内包したCGE モデルであり、与えられる基準均衡データの種類によって３タイプのキャリブレーションがあるが、本研究で扱うのは、各都道府県の地域内産業連関表は与えられていることを前提に、地域間産業連関表を予測を含む SCGE で、いわゆる、タイプ II のモデルである。

M-SCGE モデルでは地域間産業連関表は与えられないので、これを推計する必要があるが、この推計作業は周辺分布として所与の各地域ごとの産業連関表と整合的でなければならない。本研究では重力型の地域間相互作用モデルを用いて地域間交易を推定するが、この場合、地域間相互作用モデルはアクセシビリティ指標にかかるパラメータで外生的に与えられるパラメータと需給バランス式を満足するように均衡フレームの中で内生的に決定されるパラメータをもつ。

交通インフラ整備に伴う地域間アクセシビリティ変化は通常、交通ネットワーク上で計測される地域間所要時間である。このとき、重力型モデルを適用するに当たって問題になるのが、１つはデータセットに関わる問題であり、他の１つがアクセシビリティにかかるパラメータ推定問題である。

わが国では地域間産業連関表が整備されており、価値ベースのデータセットであるので望ましいが、全国を 9 ブロックに分割したものであり、アクセシビリティ変化を計測するにはあまりにも荒すぎる。一方、物流センサスは 47 都道府県間のコモデティフローのデータを扱えるので望ましいが、重量ベー

スのデータである。

一方、パラメータ推計に関しては次のような問題が指摘できる。M-SCGE モデルを利用して交通インフラの整備効果を算定する場合、地域あるいはゾーンの自給率の推定精度は整備効果の推定に大きな影響を及ぼす。地域の自給率は地域そして財の種別ごとに大きく変動するため、統計的な手法、たとえば、OLS 等でパラメータ推定すると実際の値は回帰直線から大きく乖離し、そのため、地域間交易量の過大推定あるいは過小推定を招く恐れがある。この問題を解決するため、本研究ではニューラルネットワークを利用した重力モデルのパラメータ推定についても検討する。

２．地域間交易モデル

（１）地域間交易係数の誘導

地域（ゾーン）集合を $R=\{1,\cdots,r,s,\cdots,N\}$ 、企業あるいは生産セクターの集合を $I=\{1,\cdots,i,j,\cdots,n\}$ とおく. コモデティ $i\in I$ の地域間価格 p_i^{rs} $(r,s\in R)$ を次式で与える。

$$p_i^{rs}=p_i^r(1+\eta_i^{rs}) \qquad (1)$$

ここに、 p_i^r はコモデティ i の地域 r での生産価格、 $\{\eta_i^{rs}\}$ は地域間の輸送マージン率である。. 地域 s でのコモデティ i の中間投入量 z_i^s を次のような CES 生産関数で表す。

$$z_i^s=\left[\sum_{r\in R}(\varphi_i^{sr})^{\frac{1}{\sigma_t}}(x_i^{rs})^{\frac{\sigma_t-1}{\sigma_t}}\right]^{\frac{\sigma_t}{\sigma_t-1}}$$

ここに、 φ_i^{rs} はシェアパラメータである。 x_i^{rs} は i を生産するのに必要な地域. r からの投入量である。企業は与えられた投入水準 z_i^s を与件としてコストを最小化すべく、地域間交易量を決定する。すなわち、

$$\min_{\{x_i^{rs}\}}\sum_{r\in R}x_i^{rs}p_i^{rs} \qquad (2a)$$

$$\text{s.t.}\ \left[\sum_{r\in R}(\varphi_i^{rs})^{\frac{1}{\sigma_t}}(x_i^{rs})^{\frac{\sigma_t-1}{\sigma_t}}\right]^{\frac{\sigma_t}{\sigma_t-1}}=z_i^s \qquad (2b)$$

その結果、地域間交易量は次式で与えられる。

$$x_i^{rs}=\frac{\varphi_i^{rs}(p_i^{rs})^{-\sigma_t}}{\left[\sum_{r\in R}\varphi_i^{rs}(p_i^{rs})^{1-\sigma_t}\right]^{\frac{\sigma_t}{\sigma_t-1}}}\cdot z_i^s \qquad (3)$$

また、地域 s の購入価格指数は次式で与えられる。

$$q_i^s=\left[\sum_{r\in R}\varphi_i^{rs}(p_i^{rs})^{1-\sigma_t}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_t}} \qquad (4)$$

すなわち、地域 s では財 i の価格に生産価格と平均購入価格という、２つの価格が存在する点が通常のＣＧＥモデルと異なる点である。単位産出量あたりの交易量 τ_i^{rs} は(3)式より明らかであるが、これを(4)を用いて書き改めると

$$\tau_i^{rs}=\frac{x_i^{rs}}{z_i^s}=\frac{\varphi_i^{rs}(p_i^{rs})^{1-\sigma_t}}{\sum_{r\in R}\varphi_i^{rs}(p_i^{rs})^{1-\sigma_t}}\cdot\frac{q_i^s}{p_i^{rs}} \qquad (5a)$$

さらに、(1)を使って変形すると次式を得る。

$$T_i^{rs}=\tau_i^{rs}(1+\eta_i^{rs})=\frac{\varphi_i^{rs}(p_i^{rs})^{1-\sigma_t}}{\sum_{r\in R}\varphi_i^{rs}(p_i^{rs})^{1-\sigma_t}}\cdot\frac{q_i^s}{p_i^r} \qquad (5b)$$

ただし、

$$\sum_{r\in R}\varphi_i^{rs}=1 \qquad (5c)$$

式(5b)の左辺は、地域間交易量に輸送マージン率に応じた地域間交易量を上乗せしているという意味で氷解モデルの概念を含んでいる。 η_i^{rs} はKanemoto and Mera[6] の輸送係数に相当する。式(5b)より直接的に、あるいは 1 次同次関数に関するオイラーの補題より次の条件が成立する。

$$q_i^s=\sum_{r\in R}p_i^rT_i^{rs} \qquad (6)$$

ところで、Chenery-Moses型の地域間交易係数[8] は次式で定義できる。

$$\tilde{T}_i^{rs}=\frac{\tilde{x}_{i\cdot}^{rs}+\tilde{d}_i^{rs}}{\tilde{X}_i^s+\tilde{D}_i^s}=\frac{p_i^r}{q_i^s}\cdot\frac{(x_{i\cdot}^{rs}+d_i^{rs})}{X_i^s+D_i^s}=\frac{p_i^r}{q_i^s}T_i^{rs}$$

ここにおいて、チルダーは価値ベースの量であり、量表示の変数とは区別している。また、 d_i^{rs} は最終需要の地域間交易量であり、 $D_i^s=\sum_r d_i^{rs}$ である。同様に、 $X_i^s=\sum_r x_i^{rs}$ とおいている。すなわち、Chenery-Moses モデルでは中間投入と最終需要は同

じ交易係数で表わされる仮定している。式(5b)を上式に代入することによって価値ベースの交易係数では $\sum_{r\in R}\tilde{T}_i^{rs}=1$ が成立することがわかる。一方、量ベースの交易係数は基準化されず、 $\sum_r T_i^{rs}\neq 1$ であることに注意が必要である。財の需給バランス式より、

$$\tilde{X}_i^r=\sum_{s\in S}(\sum_{j\in C}\tilde{x}_{ij}^{rs}+\tilde{d}_i^{rs})=\sum_{s\in S}\tilde{T}_i^{rs}(\sum_{j\in C}\tilde{x}_{ij}^{s}+\tilde{D}_i^{s})$$

$$=\sum_{s\in S}T_i^{rs}\frac{p_i^r}{q_i^s}\left\{\sum_{j\in C}\left(\frac{q_i^s}{p_j^s}a_{ij}^s\right)p_j^sX_j^s+q_i^sD_i^s\right\},$$

が成立する。したがって、次の量表示の需給バランス式を得ることができる。

$$X_i^r=\sum_{s\in S}T_i^{rs}(\sum_{j\in C}a_{ij}^sX_j^s+D_i^s) \qquad (7)$$

（２）空間相互作用モデルと地域間交易係数

М－ＳＣＧＥモデルでは生産価格ベースの基準均衡データを用い、運輸部門は独立した経済主体として扱うので輸送マージン率を想定する必要は無く、$\eta_i^{rs}=0,\forall i\in\mathbf{I},\forall r,s\in\mathbf{R}$ である。したがって、$T_i^{rs}=\tau_i^{rs},\forall i\in\mathbf{I},\forall r,s\in\mathbf{R}$。このとき、輸送コストは以下の式の右辺第２項ような形で各セクターの価格に加えられる。

$$p_j^s=\sum_{r\in\mathbf{R}}(\sum_{i\notin T}p_i^rT_i^{rs}a_{ij}^s+p_T^rT_T^{rs}a_{Tj}^s)+\sum_{k\in\mathbf{K}}w_k^sb_{kj}^s$$

ここに、p_T^r ：地域 r における運輸部門のサービス生産価格、w_k^s ：地域 s での本源的投入要素 k の価格、b_{kj}^s ：地域 s における j セクターの付加価値係数。

さて、シェア・パラメータ $\{\varphi_i^{rs}\}$ に着目する。シェア・パラメータ $\{\varphi_i^{rs}\}$ は現在の均衡交易パターンを表現している。もし、財ごとの地域間交易パターンのデータが得られるならば、$\{\varphi_i^{rs}\}$ を決定できるが、我々はこうした交易データが得られていないことを前提にしている。$\{\varphi_i^{rs}\}$ をキャリブレーションするために次のように空間次元の縮小を考える。すなわち、今、キャリブレーションのためにすべての生産価格を単位価格に設定したときを考える。すなわち、$p_i^r=1\ for\ all\ i\in C\ and\ r\in R$ とおく。このとき、次の関係を得る。

$$T_i^{rs}=\varphi_i^{rs}$$

したがって、φ_i^{rs} は価格と独立に地域間交易の差別化を表わす特性を含む必要がある。宮城(2005) は φ_i^{rs} が地理的要因あるいは交通インフラの整備水準で定まる地域の相対的なポテンシャルを表わし、地域の比較優位性を表わす尺度であると考えた。そして、次のような発地制約型の重力モデルで φ_i^{rs} を表わすことを提案している。

$$\varphi_i^{rs}=\frac{\theta_i^r(X_i^r)^{\kappa_i}(c^{rs})^{-\mu_i}}{\sum_{r\in R}\theta_i^r(X_i^r)^{\kappa_i}(c^{rs})^{-\mu_i}} \qquad (8a)$$

$$\sum_{\mathrm{r}}\theta_i^r=1 \qquad (8b)$$

ここに、$\{c^{rs}\}$ ：地域間輸送時間（コスト）、$\{\theta_i^r\}$ ：新たに導入されたシェア・パラメータ、$\{\mu_i\}$ 統計的に決定される輸送時間の影響係数。(10)を(6) に代入して得られる交易係数は空間的に１次元のシェア・パラメータ $\{\theta_i^r\}$ なので、(7)を利用したキャリブレーションが行える。また、このモデルでは輸送部門を含む産業連関表を基準均衡データに利用するため、交通インフラ整備に伴う所要時間短縮が地域経済に与え影響のみならず、輸送部門に与える影響等も分析できる枠組みを与える。

（３）地域間交易係数変化の乗数効果

需給バランス式の行列表現は次式で与えられる。

$$\mathbf{X}=\mathbf{T}[\mathbf{AX}+\mathbf{D}]\ or$$

$$\mathbf{X}=[\mathbf{I}-\mathbf{TA}]^{-1}\mathbf{TD}=\mathbf{BTD}$$

変化前を $\mathbf{X}_0$、変化後を $\mathbf{X}_t$ とおき、変分を $\Delta\mathbf{X}$ であらわすと、

$$\begin{aligned}\Delta\mathbf{X}&=\mathbf{X_t}-\mathbf{X_0}=\mathbf{B_0}(\mathbf{B_0^{-1}}\mathbf{T_t}(\mathbf{A_tX_t}+\mathbf{D_t})-\mathbf{T_0D_0})\\&=\mathbf{B_0}([\mathbf{I}-\mathbf{T_0A_0}]\mathbf{T_t}(\mathbf{A_tX_t}+\mathbf{D_t})-\mathbf{T_0D_0})\\&=\mathbf{B_0}(\mathbf{T_t}(\mathbf{A_tX_t}+\mathbf{D_t})-\mathbf{T_0}(\mathbf{A_tX_t}+\mathbf{D_t})+\mathbf{T_0}(\mathbf{A_tX_t}+\mathbf{D_t})\\&\quad-\mathbf{T_0A_0}(\mathbf{A_tX_t}+\mathbf{D_t})-\mathbf{T_0D_0})\\&=\mathbf{B_0}\{(\mathbf{T_t}-\mathbf{T_0})(\mathbf{A_tX_t}+\mathbf{D_t})+\mathbf{T_0}(\mathbf{A_t}-\mathbf{A_0})\mathbf{X_t}+\mathbf{T_0}(\mathbf{D_t}-\mathbf{D_0})\}\end{aligned}$$

すなわち、産出量の変化分は交易係数の変化、技術係数の変化そして最終需要の変化に分解できる。今、技術係数は変化しないものと仮定し、$\mathbf{A_t}=\mathbf{A_0}$ とおくとき、上記の関係式より

$$\mathbf{X_t}=[\mathbf{I}-\mathbf{B_0}\Delta\mathbf{TA_0}]^{-1}\mathbf{B_0T_tD_t}$$

すなわち、乗数行列は $[\mathbf{I}-\mathbf{B_0}\Delta\mathbf{TA_0}]^{-1}\mathbf{B_0}$ で与えられる。

３．地域間相互作用モデルのパラメータ推定

（１）統計的推定法

(8a)で与えられる制約条件付きの重力モデルのパラメータ推定のために，OLS 及び最尤法を用いた詳細は紙面の都合上，割愛する.

（２）ニューラル・ネット・モデル

以下ではフィードフォワード型と呼ばれる、入力層、中間層、出力層からなる階層型のニューラルネットワークを考える。入力層は J 個の節点、中間層は H 個のニューロンそして出力層は１個のニューロンで構成される。コモデティ・フローの起終点ペア集合を $\mathbf{U}$ 、 $\mathbf{y}^u$ をＯＤペア $u\in\mathbf{U}$ の交易係数、そして、a_h^u を起終点ペア u の H 個のアクセシビリティ尺度のうちの h 番目指標と定義する。交易係数 $\mathbf{y}^u$ はこれらのアクセシビリティ尺度と定数項の線形関数として次式で定義する。

$$y^u=\sum_{h=0}^{H}\theta_h a_h^u,\forall u\in\mathbf{U} \tag{11}$$

ここに、$\theta_i, i=0,1,\cdots,H$ は第 i 中間層ニューロンと出力層間の結合係数である。各々のアクセシビリティ尺度は、説明変数ベクトル $\mathbf{x}^u$ によって説明される。

$$a_h^u=\frac{1}{1+e^{-z_h^u}},\quad ただし、z_h^u=\sum_{j=0}^{J}\beta_{hj}x_j^u \tag{12}$$

ここで、 $x_j^u, j=0,1,2,\cdots J$ は OD ペア u におけるアクセシビリティを説明する j 番目変数である。ただし、$x_0^u\equiv 1$ と定義している。また、$\{\beta_{hj}\}$ は第 j 入力節点と第 h 中間層ニューロン間の結合係数である。(11),(12)は次のように簡潔に表すことができる。

$$Z(\mathbf{x},\mathbf{w})=\sum_{h=0}^{H}\theta_h\left(1+\exp(-\sum_{j=0}^{J}\beta_{hj}x_j^u)\right)^{-1}$$

ここに、 $\mathbf{x}=(\mathbf{x}_0,\mathbf{x}_1,\cdots,\mathbf{x}_J)$ は $(J+1)\times U$ 次元の入力信号ベクトル、$\mathbf{w}=(\boldsymbol{\theta},\boldsymbol{\beta})$ は $((J+2)H+1)$ の要素からなる結合係数ベクトルである。今、 $\hat{y}=[\hat{y}^1,\cdots,\hat{y}^w,\cdots,\hat{y}^U]$ を目標値と置くと、結合係数は次の最小化問題の解として与えられる。

$$\min_{\mathbf{w}\in\mathbf{W}} SSE=E\left[\tfrac{1}{2}(\hat{\mathbf{y}}-Z(\mathbf{x},\mathbf{w}))^2\right]$$

この問題の解法には、通常、誤差逆伝播法が使われる。いま、教師データ $(\mathbf{x}^u,\mathbf{y}^u),(u=1,\cdots,U)$ が与えられているものとする。このとき、誤差逆伝播法は、ランダムな初期値 $\mathbf{w}(0)$ からスタートして次のような更新式で解を改善していく。

$$\begin{aligned}\mathbf{w}(n+1)&=\mathbf{w}(n)\\&\quad+\alpha\nabla_w Z(\mathbf{x}^u,\mathbf{w}(n))(\mathbf{y}^u-Z(\mathbf{x}^u,\mathbf{w}(n))),\ u\in\mathbf{T}\end{aligned}$$

ここに、α は学習パラメータ（あるいはステップ幅）、∇Z は勾配ベクトルである。また、$\mathbf{T}$ は教師データのうち訓練用に使われるデータ番号の集合。

参考文献

1） 宮城俊彦(2005)：「全国県間産業連関表をデータベースとしたＳＣＧＥモデルの応用可能性に関する研究」、平成１５年度・１６年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(C)(1)）研究成果報告書、平成１７年５月.

2） Miyagi, T. and T. Sakurai (2005): Calibration and Validation of a SCGE Model, CD-ROM proceedings of the 19th Pacific Regional Science Conference, Tokyo.

3） 宮城俊彦、本部賢一(1996)：一般応用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.

4） Bröcker, J.(1998): Operational spatial computable general equilibrium modeling, *Ann. Reg. Sci. 32*, pp.367-387.

5） Roson, R.(1993): Computable Spatial Economic Equilibria and Freight Network Modelling, IJTE XX No.1.

6） Kanemoto, Y., and K. Mera (1985), General equilibrium analysis of the benefits of large transportation improvements’, Regional Science and Urban Economics 15,343-363.

7） 宮城俊彦(2003) 氷解モデルを基礎とした地域間交易モデルの基本構造:応用一般均衡モデルによるアプローチ”､応用地域学研究､8(2), pp. 15-31.

8） Hewings, G.J.D. and Jensen, R.C. (1986): Regional, interregional and multiregional input-output analysis, In *Handbook of Regional and Urban Economics*, Vol. I, P. Nijkamp edit., North-Holland, Amsterdam.