空間的均衡を考慮した地域間産業間物資流動モデルに関する基礎的研究[*]

Spatial Computable General Equilibrium Model for Freight Transport including Various Transport Modes[*]

藤原 裕樹[**], 加藤 浩徳[***]

By Hiroki Fujiwara[**] and Hironori KATO[***]

1. はじめに

本研究は，我が国を対象として，空間的な均衡を考慮した地域間産業間物資流動モデルの構築を試みるものである．使用するモデルは溝上ら[1)]をベースとしている．

2. モデルの定式化

(1)基本的な考え方

まず日本全国をI (=11)個の地域（$i=1,2,\cdots,I$）に分割する．各地域には小売も含めた$M-1$種類の産業業種が存在し，各地域に各産業業種を扱う企業が唯一つだけ存在するものとする．また各地域には，家計がひとつだけ存在すると仮定する．各地域の各産業は，別の地域で産出されて輸送されてきた生産物，もしくは同じ地域において産出され地域内輸送された生産物と，同一地域の家計からの労働力を投入し，生産物を産出する．このとき，輸送は交易業者のみによって行われるとする．なお本研究では，交易業者は複数の輸送機関を選択できるものと考える．なお，本モデルにおける財の流れを図で示したものが図-1である．

(2)企業の行動

企業は，市場によって決められた価格，および均衡時の企業の生産する財の生産量のもとで，それを生産するのに必要な中間財の最適投入量を，企業の利潤最大化行動から

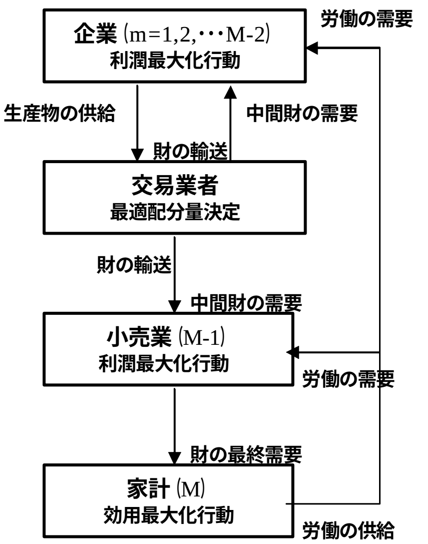

図-1 本研究のモデルにおける財の流れの概念図

決定する．まず地域jの産業業種nは，生産価格$\mathbf{p}=\{p_j^n\}$と投入要素の平均消費地価格 $\mathbf{q}=\{q_j^m\}$が所与のとき，均衡時の総出荷量$\mathbf{X}=\{X_j^n\}$を出荷するという条件の下で，利潤最大となるように，産業業種$m(=1,2,\cdots,M-2)$から中間投入量x_j^{mn}と家計からの労働x_j^{Mn}を決定する．ここで，生産関数を Cobb-Douglass 型と仮定すると，この行動は以下の最適化問題で表現できる．

$$\max : \pi_j^n = p_j^n X_j^n - \sum_{m=1}^{M} x_j^{mn} q_j^m \tag{1}$$

$$s.t. \prod_{m=1}^{M} \left(x_j^{mn}\right)^{\beta_j^{mn}} = X_j^n \tag{2}$$

ただし，$\sum_m \beta_j^{mn}=1$とする．この最適化問題を解くことにより，

投入要素mの最適投入量x_j^{mn}は次のように表される．

$$x_j^{mn} = \beta_j^{mn} \cdot \left(p_j^n / q_j^m\right) \cdot X_j^n \tag{3}$$

なお，地域jにおける企業nが生産物nを 1 単位だけ生産するのに必要な中間財mの投入量（＝投入係数）$a_j^{mn} = x_j^{mn} / X_j^n$は一定値であると仮定する．

(2)交易業者の行動

各地域の産業業種mによって出荷された生産物を，同一または別の地域で入荷するのに，ここでは企業とは区分された交易業者が存在すると仮定する．交易業者は，先に述べた各地域に存在する$M-1$種類の産業には含まれないとする．交易業者は，生産物mを入荷地域jまで輸送するのに，出荷地域iと輸送するのに使用する代表輸送機関kを選択するとする．

地域iの産業業種mによって生産地価格p_i^mで産出される 1 単位の生産物を，代表輸送機関kを使って輸送し，地域jで入荷するときの消費地価格$q_{ij,k}^m$は，地域iでの生産地価格に$i \to j$の単位輸送費用$s_{ij,k}^m$を加えた次式で表す．

$$q_{ij,k}^m = p_i^m + s_{ij,k}^m \tag{4}$$

生産物mを輸送機関kで運んだときの地域jでの消費

地価格$q_{ij,k}^{m}$に，代表輸送機関kを使用したときの地$i \to j$の輸送時間$u_{ij,k}^{m}$を含む一般化消費地価格$c_{ij,k}^{m}$を次の式で表す．

$$c_{ij,k}^{m} = q_{ij,k}^{m} + \omega_{ij}^{m} u_{ij,k}^{m} = p_i^{m} + s_{ij.k}^{m} + \omega_{ij}^{m} u_{ij,k}^{m} \tag{5}$$

ここで，ω_{ij}^{m}は輸送時間を価格換算するパラメータ（時間価値）である．

交易業者が，生産物mを入荷地域jまで輸送するのに，出荷地域iから代表輸送機関kを使って入荷する量$x_{ij,k}^{m}$の比率を$t_{ij,k}^{m}\left(= x_{ij,k}^{m} \Big/ \sum_i \sum_k x_{ij,k}^{m} \right)$とすると，地域$j$での財$m$の平均消費地価格$q_j^{m}$は

$$q_j^{m} = \sum_i \sum_k t_{ij,k}^{m} \cdot q_{ij,k}^{m} \tag{6}$$

で表される．このとき交易業者が 1 単位の生産物mを代表輸送機関kにより$i \to j$へ運ぶときの単位重量当たりの利潤は

$$\pi_{ij,k}^{m} \big/ x_{ij,k}^{m} = q_j^{m} - c_{ij,k}^{m} = q_j^{m} - \left(p_i^{m} + s_{ij,k}^{m} + \omega_{ij}^{m} \cdot u_{ij,k}^{m} \right) \tag{7}$$

で表される．

ここで，交易業者は，単位重量当たりの利潤が最大となるように代表輸送機関kと出荷地域iを同時かつ離散的に選択するものと仮定する．単位重量当たりの利潤に対して，i.i.d.ガンベルに従う誤差項を導入することにより，輸送機関の選択確率が求められるものとする．この選択確率を，本研究では，出荷地選択と代表輸送機関選択からなる 2 段階の Nested Logit Model によって表現する．

まず，出荷地域iが決定されているときの代表輸送機関の選択行動において，輸送比率$tk_{ij,k}^{m}$は以下のように表される．

$$tk_{ij,k}^{m} = \frac{\exp\left[\lambda_{ij}^{m}\left(- s_{ij,k}^{m} + \omega_{ij}^{m} \cdot \pi_{ij,k}^{m} \big/ x_{ij,k}^{m} \right)\right]}{\sum_k \exp\left[\lambda_{ij}^{m}\left(- s_{ij,k}^{m} + \omega_{ij}^{m} \cdot \pi_{ij,k}^{m} \big/ x_{ij,k}^{m} \right)\right]} \tag{8}$$

ここで，$\lambda_{j,k}^{m}$とω_{ij}^{m}はパラメータである．

一方，出荷地域iの選択行動において，輸送比率tt_{ij}^{m}は次のように表せる．

$$tt_{ij}^{m} = \frac{\exp\left[\zeta_j^{m}\left(q_j^{m} - p_i^{m} + \Lambda_{ij}^{m} + \phi_i^{m} \right)\right]}{\sum_k \exp\left[\zeta_j^{m}\left(q_j^{m} - p_i^{m} + \Lambda_{ij}^{m} + \phi_i^{m} \right)\right]} \tag{9}$$

ここでϕ_i^{m}は地域iに固有の地域ポテンシャルを表す項である．また，Λ_{ij}^{m}は，交易業者が1単位の生産物mを出荷地域iから入荷地域jまで輸送するときの単位重量当たり最大利潤の期待値として以下のように求められる．

$$\Lambda_{ij}^{m} = \frac{1}{\lambda_{ij}^{m}} \ln \sum_k \exp\left[\lambda_{ij}^{m}\left(- s_{ij,k}^{m} + \omega_{ij}^{m} \cdot \pi_{ij,k}^{m} \big/ x_{ij,k}^{m} \right)\right] \tag{10}$$

したがって，最終的に

$$t_{ij,k}^{m} = tt_{ij}^{m} \cdot tk_{ij,k}^{m} \tag{11}$$

によって代表輸送機関kによる生産物mの$i \to j$への輸送比率$t_{ij,k}^{m}$を計算することができる．

(3)家計の行動

地域jの家計は，価格q_j^{M}で各産業（$n = 1,2,\cdots,M-1$）に対してx_j^{Mn}だけの労働力を供給する．本モデルにおいて，家計は地域にただ1つなので，供給する労働力の総量$\sum_n x_j^{Mn}$は，地域jの家計の生産量にあたる．ここで，地域jの家計は，小売業の生産する財（$m = M-1$）のみを消費するものとする．このとき，所得$q_j^{M} \sum_n x_j^{Mn}$を制約とした効用最大化行動を仮定すると，家計の効用が最大となるのは，予算制約の下で小売業の購入量が最大となるときである．最適な小売業の生産物の購入量をx_j^{M-1M}とすると，次式が成り立つ．

$$q_j^{M-1} \cdot x_j^{M-1\ M} = q_j^{M} \cdot \left(\sum_n x_j^{Mn} \right) \tag{12}$$

q_j^{M-1}は小売業の生産物の平均消費地価格であり，小売業の生産物は輸送されずに，同一地域jにおいて消費されると仮定しているので，生産地価格p_j^{M-1}と等しくなる．

(4)均衡条件

1)物量ベースの均衡条件

(m,n)要素にa_j^{mn}を構成要素として持つ行列をA_jとし，これをj番目対角ブロックに持つ以下のような地域間投入係数行列A^*とする．

$$A^* = \begin{bmatrix} A_1 & & & O \\ & A_2 & & \\ & & \ddots & \\ O & & & A_J \end{bmatrix} \tag{13}$$

また，生産物mの$i \to j$への輸送比率tt_{ij}^{m}を対角要素に持つ以下の小行列

$$T_{ij}=\begin{bmatrix} tt_{ij}^{1} & & & O \\ & tt_{ij}^{2} & & \\ & & \ddots & \\ O & & & tt_{ij}^{M} \end{bmatrix} \tag{14}$$

を(i,j)要素ブロックに持つ以下のような地域間交易係数行列をT^*とする.

$$T^*=\begin{bmatrix} T_{11} & \cdots & T_{1j} & \cdots & T_{1J} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \iddots & \vdots \\ T_{i1} & \cdots & T_{ij} & \cdots & T_{iJ} \\ \vdots & \iddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{I1} & \cdots & T_{Ij} & \cdots & T_{IJ} \end{bmatrix} \tag{15}$$

入荷地域jの産業業種mの生産物に対する最終需要Y_j^mからなる列ベクトル$Y_j=(Y_j^1,\cdots,Y_j^m,\cdots,Y_j^M)^t$を$j$行目にもつ入荷地域別産業業種別最終需要量ベクトルを$Y^*=(Y_1,\cdots,Y_j,\cdots,Y_J)^t$とする.同様に,出荷量について$X_i=(X_i^1,\cdots,X_i^m,\cdots,X_i^M)^t$としたとき,出荷地域別産業業種別総出荷量列ベクトルを$X^*=(X_1,\cdots,X_i,\cdots,X_I)^t$とする.

このとき,

$$X^*=\left[I-T^*A^*\right]^{-1}T^*Y^* \tag{16}$$

は生産量と需要量に関する均衡条件を満たしているときの生産量を表す.

2)価格ベースの均衡条件

地域jの企業は生産物nを価格p_j^nで生産量X_j^nだけ生産し,その生産に必要な財($m=1,2,\cdots,M-1$)を価格q_j^mで投入量x_j^{mn}だけ投入する.そのときの総生産額は$p_j^nX_j^n$であり,総費用は$\sum_m q_j^m x_j^{mn}$であるから,そのときの利潤は

$$\pi_j^n=p_j^nX_j^n-\sum_m q_j^m x_j^{mn} \tag{17}$$

で表される.すると,市場が均衡しているとき,$\pi_j^n=0$となるはずである.だが,実データを見ると必ずしもそうはなっていない.そこで,本研究では,

$$p_j^nX_j^n=\sum_m q_j^m x_j^{mn}+V_j^n \tag{18}$$

となる地域jの産業業種nごとに一定の付加価値項V_j^nを導入する.この付加価値にあたる固定の中間投入財が存在し,

$$\beta_j^{M+1,n}=\frac{V_j^n}{p_j^nX_j^n} \tag{19}$$

と仮定し,その上で

$$\sum_{m=1}^{M+1}\beta_j^{mn}=1 \tag{20}$$

が成立するものと考える.

そして,$m=1,\cdots,M$については,

$$\beta_j^{mn}=\frac{q_j^m x_j^{mn}}{p_j^nX_j^n} \tag{21}$$

によって生産関数のパラメータを求めることとする.

3.均衡解の計算プロセス

モデルに含まれる未知パラメータの推定と,モデルの均衡条件を満たす財の量と価格を求めることを目的として,キャリブレーションを行う.本研究では,以下のような手順で計算を行った.

手順 1:初期値として生産地価格$\mathbf{p}=\{p_j^n\}$の実績値を与える.

手順 2:生産地価格$\mathbf{p}=\{p_j^n\}$と輸送費に関して,特定の地域j,産業業種nの生産地価格を1に基準化する.

手順 3:手順 2 の基準化された生産地価格をもとに,式(4)と(5)を用いて,消費地価格$q_{ij,k}^m$と一般化消費地価格$c_{ij,k}^m$を求める.

手順 4:消費地価格$q_{ij,k}^m$と一般化消費地価格$c_{ij,k}^m$,一期前の輸送比率の推計値を用いて,式(8),(9)の未知パラメータをそれぞれ重回帰分析によって推定する.

手順 5:手順 4 で推定されたパラメータを用いて,式(8),(9)の輸送比率の推計値を更新する.

手順 6:手順 5 で求められた輸送比率tt_{ij}^mを式(14),(15)に代入して,地域間交易係数行列T^*を求める.

手順 7:別途あらかじめ計算しておいた投入係数a_j^{mn}を用いて,式(13)により地域間投入係数行列A^*を求める.

手順 8:地域間交易係数行列T^*,地域間投入係数行列A^*と外生変数である入荷地域別産業業種別最終需要量ベクトルY^*を用いて,式(16)より出荷地域別産業業種別総出荷量列ベクトルX^*を求める.

手順 9:式(11)によって代表輸送機関kによる生産物mの$i\rightarrow j$への輸送比率$t_{ij,k}^m$を求め,これと消費地価格

$q^m_{ij,k}$ とから，式(6)により平均消費地価格 q^m_j を求める．

手順 10：式(19)と(21)により生産関数のパラメータ β^{mn}_j をあらかじめ求めておく．このパラメータを用いて，以下の式により，生産地価格 p^n_j を求める．

$$p^n_j = \frac{\sum_m q^m_j x^{mn}_j}{\beta^{mn}_j X^n_j} \tag{22}$$

ただし，β^{mn}_j に応じて，m 種類の p^n_j が求められるので，それらの平均値をもって生産地価格 p^n_j とする．

手順 11：手順 10 で求められた生産地価格 p^n_j により，生産地価格を更新する．ここで，適当な収束条件値を設定し，更新前と更新後の生産地価格の差の絶対値が収束条件値未満になったら計算を終了する．この収束条件を満たさない場合には手順2 に戻る．

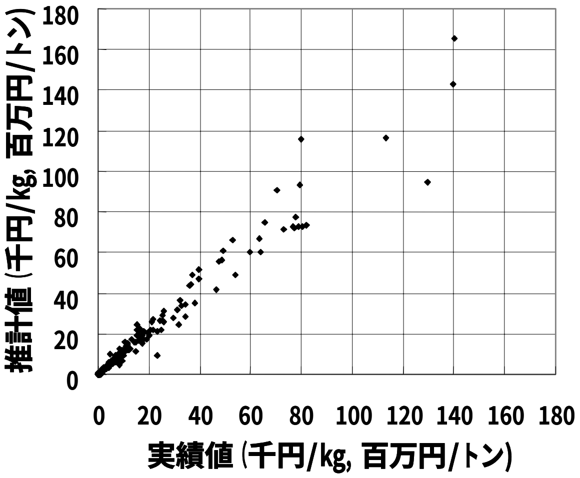

図-1 地域別生産地価格の推定結果

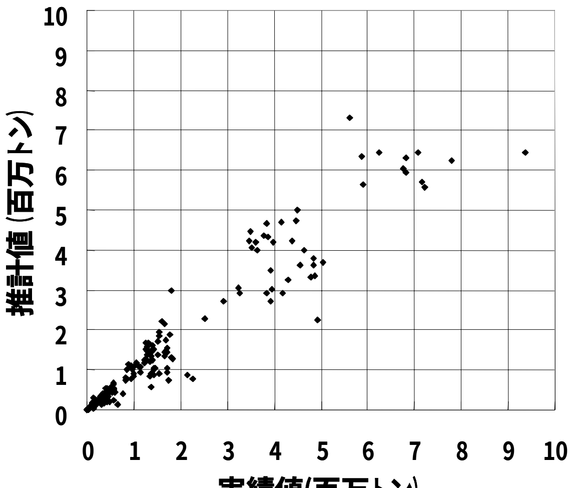

図-2 地域別産業別生産量の推定結果

4. 使用した分析データの概略

本研究では，流動量のデータとして，1995 年の全国貨物純流動調査の年間調査（品類別・代表輸送機関別データ）と，3 日間調査（オーダーメイド）を用いた．

まず，年間調査（品類別・代表輸送機関別データ）では，各業種の生産物の出荷量（重量単位）を集計し，年間発地域別発産業業種別代表輸送機関別出荷量として用いた．

次に，3 日間流動調査（オーダーメイド）では，発・着産業業種，発・着都道府県，代表輸送機関別に，各業種の生産物の出荷量（重量，件数），貨物 1 件当たり輸送費用，および貨物一件当たり輸送時間のデータをもとに，発地域別発産業業種別の着地域別着産業業種別の代表輸送機関別移動量 を求めた．この際，移動量の単位は件数ではなく，重量を用いた．なお，3 日間の貨物移動量データを年間データに換算する際，地域間の移動量と，産業業種間の移動量にそれぞれ個別にフレーター法を適用した．

また，輸送費用と輸送時間については，全国貨物純流動調査の 3 日間調査から，平均的な輸送費用と輸送時間を算定した．生産地価格の初期値は，商業統計表，鉱業統計表より得られる総生産額を，総生産量で除すことにより，一単位あたりの価格を求めることにより設定した．

式(9)で用いられる地域別産業業種別ポテンシャル指標については，商業統計表，鉱業統計表の各種経済指標の事業所数を用いて求めた．

5. 未知パラメータの推定結果

以上のデータを用いて，キャリブレーションを行った結果の一部を示したものが，図-1 および図-2 である．地域別生産地価格の実績値と推定値との決定係数は 0.931，地域別産業別生産量では 0.965 となり，かなり適合度の高い結果が得られた．

6. おわりに

本研究では，我が国を対象として，空間的な均衡を考慮した地域間産業間物資流動モデルの構築を試み，適合度の高い結果を得ることができた．本研究のモデルは，交易業者の行動を複数の輸送手段を考慮した期待利潤最大化問題として定式化している点に特徴がある．モデルの改良およびモデルを用いた流動量の分析は今後の課題としたい．

【参考文献】

1) 溝上章志，柿本竜治，竹林秀基：輸送コストの変化に伴う地域間産業間物流需要の分析モデル，土木学会論文集 No.744／IV-61, pp.11-111, 2003.