【土木計画学研究・講演集 No.16(1) 1993年12月】

家計の消費を内生化した地域間物流需要予測モデル

An interegional freight demands model with endogenous household consumption

溝上 章志** 林 良嗣*** 佐野 龍弘****

By Shoshi MIZOKAMI, Yoshitugu HAYASHI, Tatsuhiro SANO

ABSTRACT

I already proposed an inter-regional freight demands forecasting model based both on the inter-regional I/O and on the spatial price equilibrium analysis frameworkes . In the previous model, the household consumption was considered as a final demand. In this paper, I improved it to a model in which I get household endogenous and this activity demands land and retail goods and product labor service.This model can forecast inter-regional freight demands, location demands and equilibrium price as well.

1. はじめに

物流に起因する諸問題が近年クローズアップされる中、物流需要の予測手法や物流施設の計画手法の開発は、全国レベル、都市レベルにおいて土地利用計画や交通計画の上で重要な課題となっている。物流の本質は生産活動や消費活動に伴う物資の産業間の空間的移動であるから、従来のパーソントリップ需要の分析フレームでは物流需要の発生機構を分析するのに十分ではない。そこで、溝上は各産業の最適生産・消費活動に伴う物資の産業間の空間的移動を明示的に表すこと、現在実施されている物流に関する調査から得られるデータを有効に利用するという二つの視点から、新たに県程度を１つのゾーンとして、産業や経済構造、立地の変化に対応できる地域間産業連関と価格均衡の分析フレームを用いた物資流動モデルを開発してきた[1)]。そこで、本研究ではその中で最終需要業種として外生的に与えていた家計を中間需要業種として内生化し、家計の土地と一般財に対する消費を考慮した、より一般化された物資流動モデルを開発することを目的とする。さらに、モデルを構成する部分モデルの推定結果について概説する。

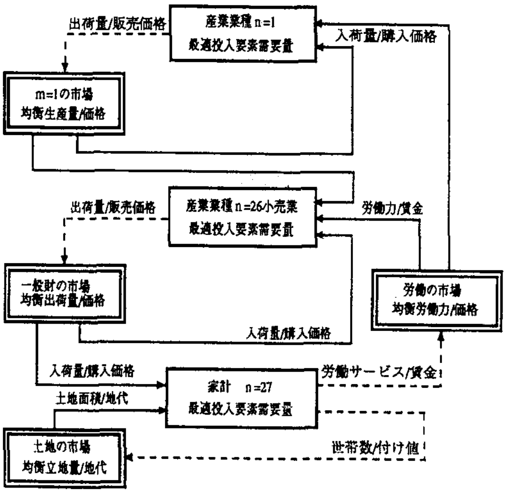
*キーワード： 物流需要、産業連関、空間価格均衡
**正会員 工博 九州東海大学助教授 工学部土木工学科
(〒３６８熊本市渡鹿9丁目1-1)
***正会員 工博 名古屋大学教授 工学部地圏環境工学科
****学生員 名古屋大学大学院博士課程（前期）
地圏環境工学専攻（〒464-01名古屋市千種区不老町）

2. 家計の内生化の方法とモデルの概説

本モデルでは、従来のモデルで地域間産業連関分析フレームの中で最終需要業種として外生的に与えられていた家計を中間需要業種に内生化する。これは、従来のモデルにおいて各産業業種は原材料を投入して利潤最大となる生産行うとしてモデル化していたのと同様に、家計は立地ゾーン内の各産業に対して労働サービスを産出し、その労働サービスの価

格である賃金を予算制約として効用最大となるように立地ゾーン内の土地と小売業からの一般財を投入するようにモデル化することによって可能となる。

家計は立地ゾーンの各産業に労働サービスを産出するが、その市場において労働サービスに対する需要が労働供給制約（たとえば、立地世帯数の倍数など）を超過する場合にはShort-sideルールによりRentが生じると考え、家計の支出との和である賃金が調整される。この経済メカニズムにより、最終的には立地世帯数と一般財の総産出量、および賃金、一般財の価格と地価が均衡解として得られる構造となっている。以上の家計に関するプロセスは産業連関分析フレームの中で他産業業種の産出量と価格の均衡プロセスと同様に取り扱われる。モデルの概念図を図－1に示す。

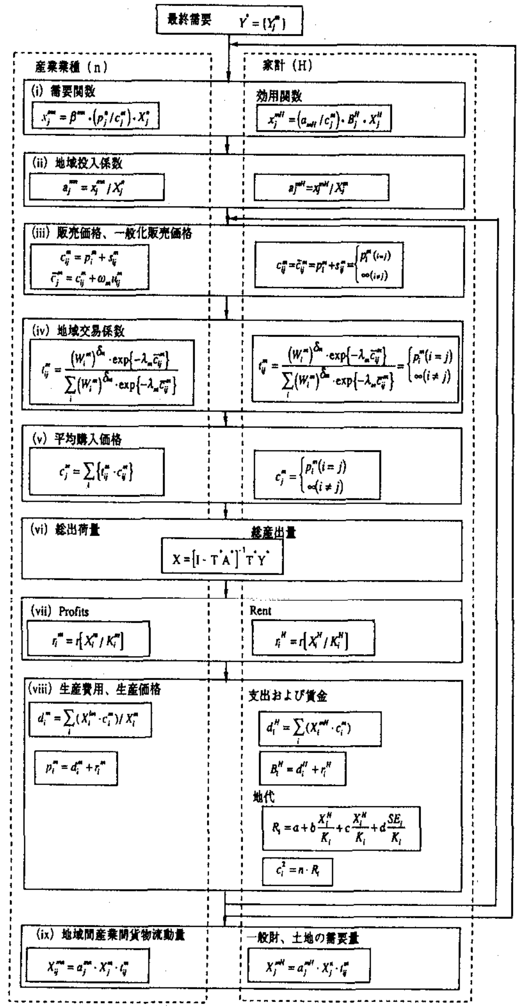


図－1　価格均衡フレームの概念図

3．家計の消費を内生化した地域間物流需要予測モデル

(1) モデルの構成

ここでは、モデルの構成を図－2に沿って説明していく。m, nは投入（供給）、産出（需要）側セクターを、i,jがそれぞれのゾーンを示す。以下では家計の行動を定式化するため特にことわらないかぎり、投入要素mは、一般財 M-1と土地M+1である。また、労働サービスはm=M、産出側の家計はn=Hと表示する。



図－2　モデルの構造（対応表）

(i) 家計の行動と最適投入量

家計は、所与の投入要素m（一般財および土地）の価格 $c=\{c_j^m\}$ が与えられたとき、賃金を一般財と土地の需要にあてるという条件下で効用最大となる最適投入要素需要量 $\mathbf{x}=\{x_j^{mH}\}$ を決定する。この行動は Cobb-Douglas 型効用関数と線形支出関数の仮定の下で以下の最適化問題として与えられる。

$$\text{Max}: \quad u_j^H=\prod_m \left(x_j^{mH}\right)^{a_{mH}} \cdot \left(SE_j\right)^{\gamma} \tag{1}$$

$$s.t. \quad \sum_m c_j^m \cdot x_j^{mH} = B_j^H \cdot X_j^H \tag{2}$$

ここで、 x_j^{mH} はゾーン j における家計の投入要素mに対する需要量、 SE_j はゾーン j の社会経済特性、 α_{mH},γ は効用関数の特定化パラメータ、 c_j^m は一般財

と土地のゾーンjにおける購入価格、B_j^Hはゾーンjにおける家計の均衡時の年間賃金、X_i^Hはゾーンjの総世帯数である。この最適化問題を解くことにより、家計の投入要素mに対する最適需要量x_i^{mH}は以下のように表される。

$$x_j^{mH} = \left(a_{mH} / c_j^m\right) \cdot B_j^H \cdot X_j^H \tag{3}$$

(ii) 投入係数

ゾーンjにおける家計が1単位だけ労働サービスを産出するときの投入要素mの投入係数a_j^{mH}は、

$$a_j^{mH} = x_j^{mH} / X_j^H = (\alpha_{mH} / c_j^m) \cdot B_j^H \tag{4}$$

である。この値がチェネリー＝モーゼス型地域間産業連関表でいう地域投入係数となる。

(iii) 販売価格

iゾーンのm産業業種によって産出される生産物の入荷ゾーンにおける販売価格c_{ij}^mは、出荷ゾーンiでの生産価格p_i^mとij間の輸送費s_{ij}^mとの和で表される。ここで想定しているゾーンの大きさは小さくても県単位程度であるから、家計は同一ゾーンの小売業から一般財を購入すると仮定でき、その輸送費$s_{ij}^m = 0$とすることができる。また、土地は同一ゾーン内で借入すると仮定する。土地は移動不可能であるから投入要素の産出ゾーンと需要ゾーンが異なる場合については$s_{ij}^{M+1} = \infty$とできる。すると、jゾーンの一般財の販売価格、および地代、およびそれぞれの一般化販売価格は次のように表される。

$$c_{ij}^m = \bar{c}_{ij}^m = p_i^m + s_{ij}^m = \begin{cases} p_i^m & (i = j) \\ \infty & (i \neq j) \end{cases} \tag{5}$$

(iv) 地域間交易係数

一般の産業業種で考えたように、ゾーンjで入荷する産業業種mの生産物全体の中でiゾーンから入荷するx_{ij}^mの比率t_{ij}^mは、mのij間の一般化販売価格$\bar{c}_{ij}^m$、および出荷ゾーンiに固有のポテンシャルW_i^mなどを効用関数の変数とする以下のロジットモデルで表される。先に仮定したように家計が投入する投入要素はすべて同一ゾーンから需要するので、

$$t_{ij}^m = prob\left[x_{ij}^m\right] = \frac{\left(W_i^m\right)^{\delta m} \cdot \exp\left\{-\lambda_m \bar{c}_{ij}^m\right\}}{\sum_i \left(W_i^m\right)^{\delta m} \cdot \exp\left\{-\lambda_m \bar{c}_{ij}^m\right\}} = \begin{cases} 1 & (i = j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases} \tag{6}$$

と表される。この値がチェネリー＝モーゼス型地域間産業連関表でいう地域間交易係数となる。

(v) 平均購入価格

ゾーンjにおける投入要素mの平均購入価格c_j^mは、地域間交易係数t_{ij}^mを確率とした販売価格c_{ij}^mの期待値

$$c_j^m = \sum_i \left\{prob\left[x_{ij}^m\right] \cdot c_{ij}^m\right\} = \sum_i \left\{t_{ij}^m \cdot c_{ij}^m\right\} = \begin{cases} p_i^m & (i = j) \\ \infty & (i \neq j) \end{cases} \tag{7}$$

で表される。

(vi) 総産出量

家計について以上のような定式化を行うと、ゾーンjにおける一般財(m=M-1)、労働サービス(m=M)、土地(m=M+1)の総産出量についても一般産業業種と同様に取り扱うことができる。入荷ゾーンjの産業業種mの生産物に対する最終需要Y_j^m、ここでは家計消費以外の最終需要（家計外支出）部門の最終需要から成る列ベクトル$\mathbf{Y_j} = \left(Y_j^1, \cdots, Y_j^m, \cdots, Y_j^{M+1}\right)^t$をj行目にもつ入荷ゾーン別産業業種別最終需要列ベクトルを$\mathbf{Y^*} = \left(\mathbf{Y_1}, \cdots, \mathbf{Y_j}, \cdots, \mathbf{Y_J}\right)^t$とする。いま、$\mathbf{X_i} = \left(X_i^1, \cdots, X_i^m, \cdots, X_i^{M+1}\right)^t$としたとき、発ゾーン別発産業業種別総出荷量列ベクトル$\mathbf{X} = \left(\mathbf{X_1}, \cdots, \mathbf{X_i}, \cdots, \mathbf{X_I}\right)^t$は

$$\mathbf{X} = \left[\mathbf{I} - \mathbf{T^* A^*}\right]^{-1} \mathbf{T^* Y^*} \tag{8}$$

により求めることができる。ここで$\mathbf{A^*}$は式（4）に示した$\left\{a_j^{mn}\right\}$で構成される小行列

$$\mathbf{A_j} = \begin{bmatrix} \mathbf{a_j^{11}} & \cdots & \mathbf{a_j^{1m}} & \cdots & \mathbf{a_j^{1M}} & \mathbf{0} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \mathbf{a_j^{M+1,1}} & \cdots & \mathbf{a_j^{M+1,m}} & \cdots & \mathbf{a_j^{M+1,M}} & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

をj番目対角ブロックに持つ以下のような地域投入係数行列である。

$$\mathbf{A^*} = \begin{bmatrix} \mathbf{A_1} & & & \mathbf{0} \\ & \ddots & & \\ & & \mathbf{A_j} & \\ & & & \ddots & \\ \mathbf{0} & & & & \mathbf{A_J} \end{bmatrix}$$

$\mathbf{T^*}$は式（6）の$\left\{t_{ij}^m\right\}$で構成される小行列

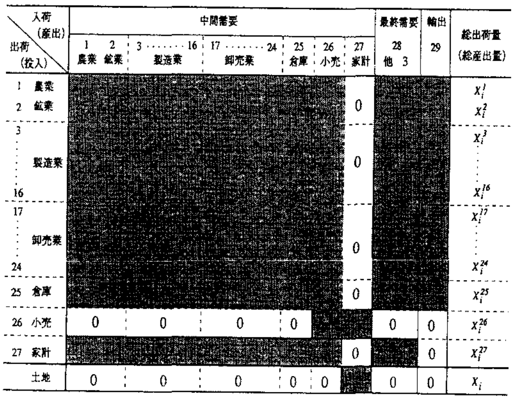
$$\mathbf{T_{ij}} = \begin{bmatrix} \mathbf{t_{ij}^1} & & & \mathbf{0} \\ & \ddots & & \\ & & \mathbf{t_{ij}^m} & \\ & & & \ddots & \\ \mathbf{0} & & & & \mathbf{t_{ij}^{M+1}} \end{bmatrix}$$

を、その(i,j)要素ブロックに持つ

$$\mathbf{T}^{*}=\begin{bmatrix}\mathbf{T}_{11} & \cdots & \mathbf{T}_{1j} & \cdots & \mathbf{T}_{1J}\\ \vdots & \ddots & & & \vdots\\ \vdots & & \mathbf{T}_{ij} & & \vdots\\ \vdots & & & \ddots & \vdots\\ \mathbf{T}_{I1} & \cdots & \mathbf{T}_{Ij} & - & \mathbf{T}_{IJ}\end{bmatrix}$$

のような地域間交易係数行列である。

以上のように家計を内生化した連関表の枠組みは図－3に示すような半クローズドモデルとなる。



図－3　産業連関表の枠組

(vii),(viii) 価格の調整

(a) 賃金の調整

産業業種の生産に必要とされている労働サービスが、それを供給する世帯数（の倍数）を超過する場合には、賃金と家計の支出 d_i^H との差

$$r_i^H = B_i^H - d_i^H = B_i^H - \sum_i \left(c_i^m \cdot x_i^{mH}\right) / X_i^H \qquad (9)$$

で定義されるRent　r_i^H により、賃金 B_i^H は

$$B_i^H = \sum_i \left(c_i^m \cdot x_i^{mH}\right) / X_i^H + r_i^H \qquad (10)$$

のように調整される。ここでは、r_i^H は世帯数 K_i^H と総労働サービス需要量（従業者数）X_i^H との比による連続関数 $r\left[X_i^H / K_i^H\right]$ で与えられるとし、

$$B_i^H - d_i^H = r\left[X_i^H / K_i^H\right] \qquad (11)$$

よりあらかじめ推定しておく便宜な方法を採用する。

(b) 地代の調整

地代については、あらかじめ住宅地の地価を推定しておき、その土地を家計が t 年間で買い取るとして、その年間返済金を借入地代と考える。地価関数の推定、地代の算出方法については森杉ら[2)]の宅地の需供均衡モデルから理論的に導出される地価関数と地代の算出法を採用する。しかし、森杉らのモデルでは労働サービス量が外生的に与えられるために、森杉らの地価関数が［世帯数／総面積］および、［社会経済指標／総面積］だけによる線形関数で与えられるのに対し、本モデルで用いる地価関数は森杉らの地価関数の誘導段階では存在する［［所得・世帯数］／総面積］の項が取り込まれることにより、以下に示すように所得レベルによって地価が変化する、より一般的な地価関数となる。

$$R_i^{M+1} = a + b\frac{X_i^H}{K_i^{M+1}} + c\frac{X_i^H}{K_i^{M+1}}B_i^H + d\frac{SE_i}{K_i^{M+1}} \qquad (12)$$

ここに、R_i^{M+1} は i ゾーンの住宅地地価、K_i^{M+1} は i ゾーンの可住地面積などの供給制約量、X_i^H は i ゾーンの世帯数、SE_i は i ゾーンの社会経済指標である。また、これより借入地代 c_i^{M+1} は、以下のように表すことができる。

$$c_i^{M+1} = \gamma(t) \cdot R_i^{M+1} \qquad (13)$$

$$\gamma(t) = \frac{\mu}{(1+\mu)^t - 1} \qquad (14)$$

ここで、μ は年間賃金および一般消費財の年間購入量の変化率を表す。この変化率 $1+\mu \equiv (1+\rho)/(1+\eta)$ より、年間賃金、一般財購入量の伸び率 ρ と利子率（＝割引率）η によって定義され、たとえば ρ＝0.08, η=0.05,t=20であれば $\gamma(20)=0.04$ の値をとる。今回の部分モデルの推定では,t=30とした $\gamma(30)=0.02$ の値を採用した。

(ix) 地域間交易量

以上より、j ゾーンの家計の一般財と土地の需要量は、

$$x_j^{mH} = a_j^{mH} \cdot X_j^m \cdot t_{ij}^m \qquad (15)$$

で与えられる。

（２）均衡解の求め方

前節では、家計消費行動の定式化は地代の調整以外は他の産業業種と全く同様に取り扱うことが可能であることを説明してきた。均衡解の計算プロセスについても全く同様であるので、ここでは説明を省略する。

4. 部分モデルの推定

(1) モデルの推定方法

本モデルでは、既に行われている一般産業業種の生産関数、地域交易関数、Profit関数などの部分モデルの特定化に加えて、(a) 効用関数、(b) 一般産業業種の労働サービスに対するCobb-Douglas型生産関数のパラメータ、(c) 賃金のRent 関数、(d)地価関数の特定化が必要である。それぞれの推定方法について以下に述べる。

(a) 効用関数

直接的に効用の測定は不可能であることから、ここでは投入要素需要関数式(3)により α_{mH} を推定している。前述したように、本モデルでは家計の投入要素である一般財はすべて小売業から購入すると仮定し、小売業の出荷量が家計の購入量と等しいとしている。しかし、純流動調査では小売業の出荷量を把握していないため、第1に小売業は同一地域の家計へ物資の出荷を行うだけで、地域間の小売業と家計間の貨物移動はない、第2に小売業から家計への年間出荷量は、小売業の年間出荷量のうち、(総出荷額)/(総出荷額+商品保有額)の割合であるという仮定のもとに、家計による一般財の購入量を推計した。家計による土地の投入量(面積)については各ゾーンにおける住宅地面積を採用している。実際のパラメータ推定の段階においては式 (3)は, 一般財の購入額と土地の宅地面積を被説明変数、年間賃金と(年間賃金)/(借入地代)をそれぞれ説明変数とした関数に変形できる。これらのパラメータは全国47都道府県のデータを用いて切片0の単回帰分析により推定できる。

(b)労働サービスに対する Cobb-Douglas 型生産関数のパラメータ

従来の一般産業業種の生産関数には、家計によって産出される労働サービス(各産業は賃金を支払い投入)が投入要素として含まれていなかった。そこで、新たに一般産業業種の労働サービスに対する生産関数のパラメータ β^{Hm} を推定する。この値は、一般産業業種の投入要素需要関数式(図-2参照)に対して、全国47都道府県の各産業業種の出荷量と労働サービス量(従業者数)をデータとする切片0の単回帰分析を行うことによって得られる。

(c)賃金のRent関数

この関数式は式(11)に示すように X_i^H / K_i^H を説明変数の一つとする関数とする。一方、被説明変数であるRentの実績値を市場のデータから入手することは難しい。そこで、家計の年間賃金より支出(一般財の年間小売-家計販売額と住宅地平均地価より推定した地代との和)を差し引いた値を用いて式(11)の左辺を計算して、これを実績値の代わりとする。

(d) 地価関数

式(12)に関して左辺に全国47県の公示地価を基礎データとした住宅地平均地価のデータを用い、さらに、右辺の説明変数には地価の決定要因と思われるもののうち統計資料等より収集可能なものをすべて取り上げて重回帰分析を適用し、step-wise法により各要因の統計的有用性の検討に基づいた説明変数の選択を行う。

(2) モデルの推定結果と考察

Cobb-Douglas型効用関数の推定結果は以下の表-1に示すとおりである。

表-1 効用関数のパラメータ推定例

	パラメータ	相関係数
一般財: $a_{M-1,H}$	0.6131	0.9674
土 地: $a_{M+1,H}$	0.2695	0.8448
Σ	0.8826	

相関係数は各々0.9程度であり、$\sum_m \alpha_{mH}$ の値も 1.0 近傍の値をとっており、ほぼ良好なモデルを得ることができた。

次に、表-2 に労働サービスに対するCobb-Douglas型生産関数のパラメータ β^{Hm} の推定例を示す。ここでは、一部の産業業種についての β^{Hm} と各産業業種ごとのパラメータの和である $\sum_m \beta_{mn}$ について示す。

表-2 労働に対する生産関数パラメータ推定例

産出産業業種(m)		生産関数パラメータ β^{Hm}	相関係数	$\sum_m \beta_{mn}$
1農業		0.156E+01	-0.076	2.40
2鉱業		0.160E+00	0.904	0.88
製造業	3食・飲・飼料	0.144E+00	0.895	1.26
	10鉄鋼業	0.873E-01	0.950	0.91
	11非金属	0.109E+00	0.896	1.08
卸売業	17繊維品	0.249E-01	0.778	0.97
	18化学製品	0.292E-01	0.976	0.25
	23家具・建具	0.891E-01	0.966	0.82
25倉庫業		0.251E+02	0.567	27.78
26小売業		0.540E-02	0.652	6.12

任意の産業業種n についての $\sum_m \beta_{mn}$ の値は規模弾力性を示し、通常、1.0の近傍の値をとるといわれているが、倉庫業や小売業のようにかなり大きな値をとる産業業種も見られる。倉庫業については、統計の上では倉庫業と運輸業が運輸通信業として一つの業種にまとめられており、運輸通信業の総生産額をそれぞれの従業者数比で配分したものを総生産額として用いているためと考えられる。このように入手可能なデータの欠損により推定値の信頼性が疑問視される業種がいくつかあるものの、全体としては、良好なモデルを得ることができた。

賃金のRent関数の推定結果は以下のようである。ただし、ここで（　）内はt値を示す。

$$r_i^H = -14.78 + 0.0534\left(X_i^H / K_i^H\right) + 1.155\ln\left(K_i^H\right) \qquad (16)$$
$$(0.008) \qquad\qquad (59.42) \qquad R=0.810$$

ここでは式(11)の右辺の $\left[X_i^H / K_i^H\right]$ がすべてのiに対して1.0の近傍の値となってしまうため、その結果、符号条件、R値とも良好ではあるものの、$\left[X_i^H / K_i^H\right]$ のパラメータが統計的には有効とはいえないモデルとなっている。

地価関数のパラメータの推定例を以下に示す。ただし、（　）内はt値を示す。

$$R_i^{M+1} = 26.098 + 115.278\frac{X_i^H}{K_i^{M+1}} - 56.696\frac{X_i^H}{K_i^{M+1}}B_i^H + 1366.760\frac{SE_i}{K_i^{M+1}}$$
$$(37.54) \qquad (12.74) \qquad (12.95)$$
$$R=0.810 \qquad\qquad \cdot\cdot\cdot\ (17)$$

ここで、SE_i / K_i^{M+1} として採用された説明変数は大学数と短大数の合計した値である。重相関係数、t値は良好なものの、［［所得・世帯数］／総面積］のパラメータが負となり、符号条件に合わない結果となっている。これは、［世帯数／総面積］の項との相関が強いために重共線性が生じたためと考えられる。

個々の部分モデルの中には論理性や精度の面で問題を含むものがいくつかあるものの、その原因と解決法はほぼ明確である。今後、産業業種の再分類、ゾーンの細分化、利用可能データの整備、1次同次となる生産関数と効用関数の推定などにより、これらの問題は解決できると考えられる。

5. おわりに

本モデルでは地域間産業連関と価格均衡の分析フレームを用いた地域間物流需要予測モデルの構築において、従来、最終需要業種として外生的に与えていた家計の消費活動を中間需要業種として内生化した。これにより、一般産業業種の総出荷量と生産価格の均衡値、および地域間産業業種間物資流動量を得るのに加え、立地世帯数と一般財の総産出量、および年間賃金、一般財の価格と地価を均衡値として得ることができる新たな物流需要予測モデルに改良された。これは応用一般均衡分析 (Applied general equilibrium analysis)の地域間産業業種間物流需要分析への適応研究といえよう。今後に残された課題を以下に挙げると、(1) ゾーン間の人口移動を地域間産業連関の分析フレームの中で考慮できる合理的な方法を見いだすこと、(2)政策評価のための便益計測法の提案とその実証的検討を行うこと、などが挙げられる。また、(3)産業業種やゾーンの再分類、個々の部分モデルの精度の精緻化などにより、実用可能性をさらに高める必要があろう。ということができる。

また、今回は部分モデルの推定結果についてのみ考察するのにとどまったが、今後はTotal テストによる本モデルの現況再現性の検討を行う予定である。

最後に、本研究を進めるにあたり有益な討議とコメントを頂いた森杉壽芳岐阜大学教授を代表とする均衡分析研究会の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 溝上　章志：地域間産業連関と価格均衡の分析フレームを用いた物資流動モデル，土木計画学研究・講演集 No.15，pp.629-636, 1992.
2) 森杉　壽芳、大野　栄治、松浦　郁雄：地価を内生化した住宅立地モデル，地域学研究,第18巻，pp.205- 225, 1988.