九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

空間均衡モデルの近年の展開方向について

川口，雅正
九州大学大学院農学研究院

https://doi.org/10.15017/4304

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 57 (2), pp.261-272, 2003-02-01. 九州大学大学院農学研究院
バージョン：
権利関係：

九大農学芸誌（Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.）
第57巻　第2号　261-272（2003）

空間均衡モデルの近年の展開方向について

川　口　雅　正†
九州大学大学院農学研究院農業資源経済学部門農業関連産業組織学講座農業計算学研究室

（2002年10月30日受付，2002年11月7日受理）

On the Direction of Development of Spatial Equilibrium Model in Recent Years

Tsunemasa KAWAGUCHI†
Laboratory of Quantitative Analysis of Agribusiness Organization, Division of Industrial Organization of Agribusiness, Department of Agricultural and Resource Economics, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

1. はじめに

空間均衡モデルは，内容的には国際貿易も含み，空間的（時間的または取引コスト的）に隔離された複数の主体（生産者・取引業者・消費者）間の，一定の市場構造や制度の下での相互作用の結果として成立する，均衡状態を明らかにするためのモデルであり，その応用として種々の実証・政策分析がある．

本稿は，このような空間均衡モデルの近年の展開方向について，私自身のこれまでの研究を振り返りつつ，考察を行ったものである．なお，モデルそのものの展開を主な課題とする本稿では，紙数の節約のため，ほとんどの実証・政策分析への言及は思い切って省略せざるをえなかった．

本稿の内容はおおよそ次のとおりである．第2節で，モデル一般の科学方法論上の性格に言及した．第3節で，空間均衡モデルは規範的なモデルではなく実証的なモデルであること，従ってその均衡条件は実証的にのみ定式化されうること，また実証的に定式化された均衡条件は数学的な形式という視点からみると一般に非線形相補性問題となること，従って最もストレートで一般的な解法はその相補性問題を直接解くという方法であること，そして近年の解法の展開も従来の最適化法からそのような方向に向かっていることを明らかにした．

第4節では以上のような観点から，高山・ジャッジ以後国際貿易空間均衡モデルに至る具体的なモデルの展開を，私自身のこれまでの研究を振り返りつつ明らかにした．最後に第5節で，さらなる発展のための今後の展開方向について考察した．本稿の引用文献は紙数節約のためよく知られた文献を含んでいないが，それらは本稿の引用文献の中で引用されているので参照していただきたい．

2. モデル及び科学的方法とは何か

モデルとは何か，科学的方法とは何か，モデルは科学的方法の中でどのように位置づけられるのか，という問題は以後の空間均衡モデルを始め種々の計量モデル分析とも関係するので，ここで簡単に触れておきたい（川口，1981を参照）．

何らかの法則を人間の意識に反映させる人間の認識活動を科学と考えれば，その認識活動を導いてゆくための論理と種々の操作ないし手段の総体が科学の方法と呼ばれるものであろう．論理としては形式論理と弁証法的論理があり，形式論理ではあるものが他のものになることは許されないが，弁証法的論理ではそれが許される．社会科学では両論理をうまく組合せて利用することが重要だと言われている．

これらの論理によって関連づけられながら二種類の操作ないし手段が利用される．第一は理論的仮説を形成するためのものであり，第二は科学的経験を獲得す

† Corresponding author

るためのものである．第一の種類の操作ないし手段としては次の二つがある

（A）分析的操作．現実の複雑な現象の非本質的側面を捨象し，本質的側面を抽象的で単純な概念へと分析（分解）し，それらの概念の間に見いだされる諸関係に基づき，それらの概念を再び総合（結合）し，その現象の本質的側面を精神的に再生産する操作．これは最も基本的かつ一般的なものであり，種々のモデルの作成も分析的操作の特別の場合と考えられる．

（B）解析的操作．数学的記号を用いる一切の数学的な操作．

第二の種類の操作ないし手段としては次の二つがある．

（C）実験的操作．研究のための材料の収集の一操作．受動的な観察も含む．

（D）統計的操作．研究のための材料の収集の一操作であるが，特に次のような操作をいう．つまり，個々の事象の観察をとおして，それらの事象の集団的構造や変化について研究する時の量的な材料の収集操作．このような材料は個々の事象の観察結果に分類や集計等の操作を施すことによって始めて得られる．

以上要約したように，（理論）モデルとは分析的操作の産物であり，本来抽象的なものである．モデルは決して複雑な現実そのもののコピーではない．現実そのものを思考の対象とすることはあまりにも複雑で不可能である．モデルから演繹される命題は現象の本質的側面に関するものである．その命題に，分析的操作で非本質的なものとして捨象されたことがらを加象することによって，始めて複雑な現実を説明するものとなる．従ってモデルのよしあしはどのように捨象と加象をするかによってきまると言うこともできる．

3. 空間均衡モデルは実証的か規範的か

Takayama and Judge（1964a, 1964b）の空間均衡モデルは2次計画法を利用して展開されており，数学的にかなり複雑である．加えて Samuelson（1952）に由来する独特のモデルの定式化のため，その専門家でない多くの研究者には実証的なモデルではなく規範的なモデルであると誤解されているようである．誤解されるにはそれ相当の理由があったのではないか，またその理由を明らかにし改善することにより空間均衡モデルを飛躍的に発展させることができるのではないかと私は考えている．この点を Enke（1951）までさかのぼり少し詳しく述べてみたい．

Enke（1951）が事例として取り上げたのは次のような3つの地域の空間均衡問題である．空間的に隔離された3つの地域があり，それぞれの地域で同じ生産物が生産され消費され，かつ地域間でなんら制約なく自由に取引されている．生産者も消費者もプライス・テイカーでありその生産物の単位輸送費は輸送量とは無関係で一定である．また各地域ごとのその生産物の供給関数と需要関数は既知である．単位輸送費と供給関数及び需要関数が与えられ，生産者も消費者も利益（便益）を求めて自由に行動するものとすれば，どのような均衡状態に達するであろうか，その均衡状態を明らかにせよ，という問題である．要するに次のような変数の均衡値を求めよという問題である．なお次の変数は非負である．

第 i 地域の産地価格 PS_i（$i=1,2,3$）

第 i 地域の市場価格 PD_i（$i=1,2,3$）

第 i 地域の供給量 S_i（$i=1,2,3$）

第 i 地域の需要量 D_i（$i=1,2,3$）

第 i 地域（産地）から第 j 地域（市場）への出荷量 X_{ij}（$i,j=1,2,3$）

ただし次の数値と関数は既知である．

第 i 地域（産地）から第 j 地域（市場）への単位輸送費 T_{ij}（$i,j=1,2,3$）

第 i 地域（産地）の

供給関数 $S_i=\phi_i(PS_i)$（$i=1,2,3$）

逆供給関数 $PS_i=g_i(S_i)$（$i=1,2,3$）

第 i 地域（市場）の

需要関数 $D_i=\theta_i(PD_i)$（$i=1,2,3$）

逆需要関数 $PD_i=f_i(D_i)$（$i=1,2,3$）

ここで $t_{ii}=0$ なら $PS_i=PD_i$（$i=1,2,3$），また供給関数は連続な右上がりの関数であり需要関数は連続な右下がりの関数であるものとする．Enke の事例では $t_{ii}=0$ と仮定されている．

Enke（1951）はこの問題が簡単な電気回路を利用して物理的に解かれることを示し，そのような解法の重要性を主張した．Samuelson（1952）は消費者余剰概念にヒントを得て，市場取引の状況を示す一指標である Net Social Pay-off（以下 NSP と略記）という尺度を考案し，均衡状態は NSP 尺度を最大にするような状態であることを示した．そして NSP 尺度を最大にするように各変数の値を試行錯誤的に調整するか，または何らかの組織的な方法で NSP 尺度を最大にする変数の値を求めればよいと主張した．しかし Samuelson（1952）は具体的な解法は示さず，当時新たに導入されつつあった線形計画法（特に古典的な

輸送問題）と均衡状態との関係について論じた．

近代経済学ではNSP尺度は市場の効率性（好ましさ）を測る尺度と理解することもできる．従ってNSP尺度を最大にする問題を解くことは，最も効率的な市場状態を求める規範的な問題を解くことであると誤解されがちなのであろう．しかし我々は規範的な問題を解いているのではなく，多数の主体の自由な行動の結果として成立する均衡状態をNSP尺度を利用して求めているだけである．完全競争的な市場ではそのように成立する均衡状態がたまたまNSP尺度を最大にするような好ましい状態であるというだけのことである．

Takayama and Judge（1964a，1964b）は上述のNSP尺度を最大にする問題が，需要関数と供給関数がすべて線形である場合には，2次計画問題として定式化され，従って組織的かつ効率的に解かれることを始めて示した．またモデルの一般化も行い，実用的な計量分析法としての空間均衡分析の地位を確立した．しかし彼らは，あまりにも無批判的にNSP尺度を議論の前面に出しすぎ，本来求むべき均衡状態の定式化と解明に正面から光をあてることなく，数学的な展開の複雑さも手伝って，多くの読者に上述のような誤解の種を播いたのではないか，と私は推察している．

そこで本来求むべき均衡状態の定式化と解明に正面から光をあてるとどのような展望が開けるか述べてみよう．なお均衡状態とは，変化をもたらすいかなる力も働かないような状態を指すので，変化をもたらす何らかの力が働くような状態は均衡状態とは言えない．均衡条件とは均衡状態を規定するための条件である．

（均衡条件1）生産・出荷・産地価格の均衡条件．第1に，第i地域の産地からの総出荷量$X_{i1}+X_{i2}+X_{i3}$はその産地の生産量（供給量）S_iをこえることはない．これは物理的に明らかであり，次式で表わされる．

$$X_{i1}+X_{i2}+X_{i3}\leq S_i \quad i=1,2,3$$

第2に，総出荷量が生産量より小さく，一部の生産物が出荷されずに残っているならば，産地価格PS_iはゼロでなければならない．なぜなら「出荷されずに残った生産物があり産地価格が正」ならば，プライス・テイカーたる生産者は残った生産物を出荷する方が有利であるから，「出荷量を増加させる力が働く」ことになり，そのような状態は均衡状態とは言えないからである．逆に産地価格PS_iが正ならば，生産されたものはすべて出荷されていなければならないことになる．これらのことは次式で表わされる．

$$PS_i(S_i-X_{i1}-X_{i2}-X_{i3})=0 \quad i=1,2,3$$

第3に，産地価格PS_iと生産量（供給量）S_iは，与えられた供給関数または逆供給関数の関数関係をみたしていなければならない．これはモデルの前提条件より明らかであり次式で表わされる．

$$S_i=\phi_i(PS_i) \quad \text{または} \quad PS_i=g_i(S_i) \quad (i=1,2,3)$$

（均衡条件2）入荷・需要・市場価格の均衡条件．第1に，第j地域の市場需要量D_jはその市場の総入荷量$X_{1j}+X_{2j}+X_{3j}$をこえることはない．これは物理的に明らかであり，次式で表わされる．

$$X_{1j}+X_{2j}+X_{3j}\geq D_j \quad j=1,2,3$$

第2に，市場需要量がその市場の総入荷量より小さく，一部の生産物が売れ残っているならば，市場価格PD_jはゼロでなければならない．なぜなら「市場で売れ残りがあり市場価格が正」ならば，プライス・テイカーたる生産者は売れ残りをより低い価格ででも売る方が有利であるから，「市場価格を低下させる力が働く」ことになり，そのような状態は均衡状態とは言えないからである．逆に市場価格PD_jが正ならば入荷したものはすべて需要され売れ残りは無くなっていなければならないことになる．これらのことは次式で表わされる．

$$PD_j(X_{1j}+X_{2j}+X_{3j}-D_j)=0 \quad j=1,2,3$$

第3に，市場価格PD_jと需要量D_jは与えられた需要関数または逆需要関数の関数関係をみたしていなければならない．このことはモデルの前提条件より明らかであり，次式で表わされる．

$$D_j=\theta_j(PD_j) \quad \text{または} \quad PD_j=f_j(D_j) \quad (j=1,2,3)$$

（均衡条件3）産地価格・出荷量・市場価格の均衡条件．第1に，第j地域の市場価格PD_jと第i地域の産地価格PS_jとの価格差（PD_j-PS_i）は，両地域間の単位輸送費t_{ij}をこえることはない．つまり次の関係が成立する．

$$PD_j-PS_i\leq t_{ij} \quad i,j=1,2,3$$

なぜなら「価格差（PD_j-PS_i）が単位輸送費t_{ij}より大きい」ならば，$PD_j>PS_i+t_{ij}$なる関係が成立し，プライス・テイカーたる生産者は出荷量X_{ij}を増加させる方が有利であるから，「X_{ij}を増加させる出荷調整をする力が働く」ことになり，そのような状態は均衡状態とは言えないからである．第2に，価格差（PD_j-PS_i）が単位輸送費t_{ij}より小さいならば，出荷量X_{ij}はゼロでなければならない．なぜなら「価格差（PD_j-PS_i）がt_{ij}より小さく出荷量X_{ij}が正」ならば，$PD_j<PS_i+t_{ij}$なる関係が成立し，プライス・テイカーたる生産者は出荷量X_{ij}を減少させる方が有利であるから，「X_{ij}を減少させる出荷調整をする力が働く」こ

とになり，そのような状態は均衡状態とは言えないからである．逆に X_{ij} が正ならば，価格差（PD_j-PS_i）は単位輸送費 t_{ij} と等しくなければならないことになる．これらのことは次式で表わされる．つまり

X_{ij}（$t_{ij}+PS_i-PD_j)=0$　$i,j=1,2,3$

（均衡条件４）経済変数の非負条件．価格や数量等の経済変数の値は負の値をとることはない．このことは通常暗黙の前提条件とされているが，念のために均衡条件の１つとして明示しておく．具体的には

$PS_i\geq 0$，$PD_i\geq 0$，$S_i\geq 0$，$D_i\geq 0$，$X_{ij}\geq 0$

$i,j=1,2,3$

なる関係が成立する．

均衡条件の定式化に正面から光をあてると以上のような均衡条件１～４が導かれる．Enke（1951）の上述の空間均衡問題を解くということは，均衡条件１～４をみたす変数の値を求めることに外ならない．論理的にはただそれだけのことである．これは規範的な問題であろうか，それとも実証的な問題であろうか．私は演繹的ではあるが実証的な問題であると考えている．

論理的にはこのように単純明快であるが，具体的かつ数学的にどのようにこの問題を解くかという点では，これまでの数理計画法の発展に大きく左右されてきたと考えられる．たとえばEnke（1951）は数理計画法を利用することなく電気回路を用いた物理的方法で解こうとした．Samuelson（1952）はNSP尺度で均衡状態の性格づけを行い線形計画法との関連づけを行ったが組織的な解法を示すことはなかった．二次計画法（非線形計画法）が開発され電子計算機が進歩した時点でTakayama and Judge（1964a，1964b）は始めて組織的な解法を示した．

しかしその後，均衡状態をNSP尺度で性格づけしえないような重要な空間均衡問題が広く知られるようになり，より広範囲の問題を解くためのNSP尺度に依存しない新たな解法が近年展開されつつある．新たな解法の性格を一言で言えば，上述の均衡条件１～４に正面から直接立ち向かうということであろう．これらの点をNSP尺度との関係にも言及しつつ以下述べることにする．

なお $x\leq y$ なる任意の不等式は $z=(y-x)\geq 0$ なる非負の変数 z を新たに導入すると $x+z=y$ なる等式に変形される．このように不等式を等式に変形するために導入される非負の変数をスラック変数と呼ぶ．スラック変数を導入し不等式を等式に変形することにより，均衡条件を簡潔に表すことができる．

均衡条件１は，第 i 地域の産地で出荷されずに残った生産物の量をスラック変数 SS_i で表わすと（i-th Supply Slack Variable），簡潔に

$X_{i1}+X_{i2}+X_{i3}+SS_i=S_i$，$PS_i\times SS_i=0$

$S_i=\phi_i(PS_i)$ または $PS_i=g_i(S_i)$（$i=1,2,3$）

と表わされる．均衡条件２は，第 j 地域の市場で売れ残った生産物の量を DS_j で表わすと（j-th Demand Slack Variable），簡潔に

$X_{1j}+X_{2j}+X_{3j}-DS_j=D_j$，$PD_j\times DS_j=0$

$D_j=\theta_j(PD_j)$ または $PD_j=f_j(D_j)$（$j=1,2,3$）

と表わされる．均衡条件３は，産地市場間の単位輸送費 t_{ij} から価格差（PD_j-PS_i）を差し引いた差額を CS_{ij} で表わすと（ij-th Cost Slack Variable），簡潔に

$PD_j-PS_i+CS_{ij}=t_{ij}$

$X_{ij}\times CS_{ij}=0$　$i,j=1,2,3$

と表わされる．均衡条件４は，上述のような非負のスラック変数が導入されたので

$PS_i\geq 0$，$PD_i\geq 0$，$S_i\geq 0$，$D_i\geq 0$，$X_{ij}\geq 0$，$SS_i\geq 0$，

$DS_j\geq 0$，$CS_{ij}\geq 0$，$i,j=1,2,3$

と表わされる．

変数や式の順序を見やすいように適当に入れかえて，以上のすべての条件式を一つの図表として表わすと図表１のようになる．ただし変数の非負条件は省略している．

図表１の均衡条件式は次のような形式のものとなっていることが分る．

$y_1=h_1(x_1,x_2,\cdots,x_n)$

$y_2=h_2(x_1,x_2,\cdots,x_n)$

……

$y_n=h_n(x_1,x_2,\cdots,x_n)$

$x_i\geq 0$，$y_i\geq 0$，$x_iy_i=0$　$i=1,2,\cdots,n$

ただし $h_i()$ は x_1，x_2，…，x_n のある連続な実数値関数である．このような形式的条件をみたす実変数 x_i と $y_i(i=1,2,\cdots,n)$ の値を求める問題は非線形相補性問題（Nonlinear Complementarity Problem でNCPと通常略記）と呼ばれており，特に関数 $h_i()$ がすべて線形である場合には線形相補性問題（Linear Complementarity Problem でLCPと通常略記）と呼ばれている．たとえば需要関数 $D_j=\theta_j(PD_j)$ および供給関数 $S_i=\phi_i(PS_i)$ がすべて線形であれば図表１の問題はLCPとなることが分る．

近年LCPやNCPに関する研究が進み，かなり広い範囲の問題を直接解くことができるようになってきた．さらに上述のNCPの解と次の形式の問題の解とは等しいことが知られている．

図表1　Enkeの空間均衡問題の均衡条件

	PD_1	PD_2	PD_3	PS_1	PS_2	PS_3	X_{11}	X_{21}	X_{31}	X_{12}	X_{22}	X_{32}	X_{13}	X_{23}	X_{33}
$DS_1=$	$-\theta_1(PD_1)$						$+X_{11}$	$+X_{21}$	$+X_{31}$						
$DS_2=$		$-\theta_2(PD_2)$								$+X_{12}$	$+X_{22}$	$+X_{32}$			
$DS_3=$			$-\theta_3(PD_3)$										$+X_{13}$	$+X_{23}$	$+X_{33}$
$SS_1=$				$\phi_1(PS_1)$			$-X_{11}$			$-X_{12}$			$-X_{13}$		
$SS_2=$					$\phi_2(PS_2)$			$-X_{21}$			$-X_{22}$			$-X_{23}$	
$SS_3=$						$\phi_3(PS_3)$			$-X_{31}$			$-X_{32}$			$-X_{33}$
$CS_{11}=t_{11}-PD_1$				$+PS_1$											
$CS_{21}=t_{21}-PD_1$					$+PS_2$										
$CS_{31}=t_{31}-PD_1$						$+PS_3$									
$CS_{12}=t_{12}$		$-PD_2$		$+PS_1$											
$CS_{22}=t_{22}$		$-PD_2$			$+PS_2$										
$CS_{32}=t_{32}$		$-PD_2$				$+PS_3$									
$CS_{13}=t_{13}$			$-PD_3$	$+PS_1$											
$CS_{23}=t_{23}$			$-PD_3$		$+PS_2$										
$CS_{33}=t_{33}$			$-PD_3$			$+PS_3$									

(左辺の上から i 番目の変数)×(右辺の左から i 番目の変数)$=0$　　$i=1,2,\cdots,15$

任意の $x_1\geq 0, x_2\geq 0,\cdots,x_n\geq 0$ に対して

$\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x}_i)h_i(\bar{x}_1,\bar{x}_2,\cdots,\bar{x}_n)\geq 0$ なる条件を満たす値

$\bar{x}_1\geq 0,\bar{x}_2\geq 0,\cdots,\bar{x}_n\geq 0$ を求めよ

この形式の問題は後に示す形式の問題，つまり有限次元の変分不等式問題（Finite-Dimensional Variational Inequality Problem で VIP と通常略記）の1つのシンプルな事例であることが分る．

ある一定範囲内の任意の $x_1,x_2,\cdots,x_n$ に対して

$\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x}_i)h_i(\bar{x}_1,\bar{x}_2,\cdots,\bar{x}_n)\geq 0$ なる条件をみたすその範囲内の値 $\bar{x}_1,\bar{x}_2,\cdots,\bar{x}_n$ を求めよ（ある一定範囲とは n 次元ユークリッド空間の空でない閉じたある凸集合のことであり，先の問題では「$x_1\geq 0$, $x_2\geq 0,\cdots,x_n\geq 0$ なる条件をみたすすべての点の集合」となっている）

近年 VIP に関する研究も進み，より広い範囲の空間均衡問題をその均衡条件から直接解くことが可能となりつつある．このような数理計画法の発展，および急速な計算機の発展を背景として，空間均衡分析の飛躍的な発展が期待されている．

ところで図表1の問題と NSP 尺度との関係は次のとおりである．図表2では，Enke の問題の数量変数に関する非線形（凹）計画問題が示されており，価格変数を非負のラグランジュ乗数として利用したその最適条件を導き，最適条件（不等式は上述のようなスラック変数を導入して等式に変形する）をみたす変数及び非負の乗数の値を求めることによってその問題を解くことが求められている．実は図表2の非線形（凹）計画問題は，その最適条件が図表1の均衡条件と通常ちょうど一致するように作られており，目的関数 H が NSP 尺度に外ならないのである．従って図表2の非線形（凹）計画問題を何らかの方法で解くことによって，その最適条件＝図表1の均衡条件，をみたす変数及び乗数の値を求め，そうすることによって Enke (1951) の空間均衡問題を解くことができるのである．なお需要関数と供給関数がすべて線形である場合には，図表2の非線形（凹）計画問題は通常の（凹）二次計画問題となり，Takayama and Judge (1964a, 1964b) によって始めて組織的かつ効率的な解法が示されたのはこの場合であった．

しかしより一般的な空間均衡問題の場合には，Enke (1951) の問題の場合とは異なり，その最適条件がちょうど当面する空間均衡問題の均衡条件に一致するような，かつ NSP 尺度を最大にするような非線形計画問題を構成し作り上げることは不可能なことも多いのである．この点については次節で改めて述べる．

図表3では，Enke の問題の価格変数に関する非線形（凹）計画問題が示されており，数量変数を非負のラグランジュ乗数として利用したその最適条件を導き，最適条件をみたす変数及び非負の乗数の値を求めることによってその問題を解くことが求められている．実は図表3の非線形（凹）計画問題も，その最適条件が図表1の均衡条件とちょうど一致するように作られているのである．しかし目的関数 G はこれまで説明してきた NSP 尺度とは異なるものである．

図表 2　Enke の問題の均衡条件をその最適条件とする凹計画問題（数量版）

制約条件																		(ラグランジュの乗数)
X_{11}	$+X_{12}$	$+X_{13}$									$-S_1$						$\leqq 0$	PS_1
			X_{21}	$+X_{22}$	$+X_{23}$							$-S_2$					$\leqq 0$	PS_2
						X_{31}	$+X_{32}$	$+X_{33}$					$-S_3$				$\leqq 0$	PS_3
$-X_{11}$			$-X_{21}$			$-X_{31}$								$+D_1$			$\leqq 0$	PD_1
	$-X_{12}$			$-X_{22}$			$-X_{32}$								$+D_2$		$\leqq 0$	PD_2
		$-X_{13}$			$-X_{23}$			$-X_{33}$								$+D_3$	$\leqq 0$	PD_3

および変数の非負条件

$X_{ij} \geqq 0,\ S_i \geqq 0,\ D_j \geqq 0,\ i,\ j=1,\ 2,\ 3$

の下で不定積分を用いて表わされる目的関数 H

$$H=\sum_{j=1}^{3}\left(\int f_j(D_j)dD_j\right)-\sum_{i=1}^{3}\left(\int g_i(S_i)dS_i\right)-\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}t_{ij}X_{ij}$$

を最大にする非線形（凹）計画問題を，制約条件式の右側に記した非負のラグランジュ乗数を導入して最適条件を求め，その最適条件（不等式は適当なスラック変数を導入して等式に変形する）をみたす変数及び乗数の値を求めることによって解け

図表 3　Enke の問題の均衡条件をその最適条件とする凹計画問題（価格版）

制約条件									(ラグランジュの乗数)
PD_1			$-PS_1$				$\leqq$	t_{11}	X_{11}
PD_1				$-PS_2$			$\leqq$	t_{21}	X_{21}
PD_1					$-PS_3$		$\leqq$	t_{31}	X_{31}
	PD_2		$-PS_1$				$\leqq$	t_{12}	X_{12}
	PD_2			$-PS_2$			$\leqq$	t_{22}	X_{22}
	PD_2				$-PS_3$		$\leqq$	t_{32}	X_{32}
		PD_3	$-PS_1$				$\leqq$	t_{13}	X_{13}
		PD_3		$-PS_2$			$\leqq$	t_{23}	X_{23}
		PD_3			$-PS_3$		$\leqq$	t_{33}	X_{33}

および変数の非負条件

$PD_j \geqq 0,\ PS_i \geqq 0 \quad i,\ j=1,\ 2,\ 3$

の下で不定積分を用いて表わされる目的関数 G

$$G=\sum_{j=1}^{3}\left(\int \theta_j(PD_j)dPD_j\right)-\sum_{i=1}^{3}\left(\int \phi_i(PS_i)dPS_i\right)$$

を最大にする非線形（凹）計画問題を，制約条件式の右側に記した非負のラグランジュ乗数を導入して最適条件を求め，その最適条件（不等式は適当なスラック変数を導入して等式に変形する）をみたす変数及び乗数の値を求めることによって解け

このように，その最適条件が図表1の均衡条件とちょうど一致するような非線形（凹）計画問題を構成し作り上げることが可能な場合であっても，そのような非線形（凹）計画問題はただ1つとは限らず，通常数量変数に関する問題と価格変数に関する問題の複数個の問題を構成し作り上げることができる．そして価格変数に関する問題は通常 NSP 尺度を最大化するような問題ではない．

このあたりで簡単に本節の要約を行い次節に移ることにしよう．空間均衡問題の経済学的な定式化は，その問題の均衡条件の実証的な定式化によってのみ可能である．実証的に定式化された均衡条件は，数学的な形式という視点からみると，一般に非線形相補性問題（NCP）となっている．従って NCP を直接解くという接近法が論理的に最もストレートで分りやすく，かつ最も一般的な接近法である．ただし，最適条件がこの NCP とちょうど一致するような別の数学的問題を構成し作り上げることができるならば，計算の効率化

や何らかの経済理論的な目的のために，その数学的問題を何らかの方法で解き，間接的にこのNCPを解く，という接近法も利用しうる．けれどもその数学的問題は当面する空間均衡問題の経済学的な定式化を示すものではない．以上の点から，空間均衡問題は演繹的ではあるが実証的な問題である，と私は考えている．

次節では，本節で述べたような視点から，これまでの私の空間均衡モデルの研究を要約し，国際貿易空間均衡モデルの展開も含め，今後の展開方向について考察する．

4．空間均衡モデルの展開方向

空間均衡分析を行う際にまづ注意すべき点は，均衡解（均衡条件をみたす全ての変数の値の組）がただ1組しか存在しないか，それとも複数（多くの場合無数）の均衡解が存在するかという点である．通常分析は，均衡解はただ1つであるという暗黙の前提の下で行われている．もしそうでなければ，得られた均衡解に基づいた分析は意味がないか，または何らかの修正をせざるをえないからである．この均衡解の一意性の問題は，その最適条件が均衡条件とちょうど一致する非線形計画問題を解く場合には，非線形計画問題の最適解の一意性の問題に外ならない．

私が空間均衡モデルに始めて韓国からの留学生李鍾相君と共に正面から取り組んだ1992年当時，均衡解の一意性に関する研究はほとんど行われておらず，1つの均衡解を数値的に求めることだけですませていたようであった．

川口・李（1992a）は一般的な非線形（凹）計画問題の最適解としての均衡解の一意性について分析し，均衡解がただ1つとは限らず，無数の均衡解が存在する場合があることを理論的に明らかにした．特に二次計画問題の解法について詳細な検討をし，均衡解の一意性及び比較静学分析に適した効率的な解法を示し（Cottle, et al., 1992, 293-296頁の symmetric PPPM 法と同じ LCP の解法であることに後日気づいた），その解法に基づいてより具体的に，均衡解がただ1つとは限らず無数の均衡解が存在する場合があること，従って均衡解の一意性に関する慎重な検討が必要であることを理論的に明らかにした．このような理論的分析の正当性を示すために，川口・李（1992b）は佐々木（1969, 1970）の実証的な空間均衡分析を事例として取り上げ，無数の均衡解が存在する場合があることを具体的に示した．

Takayama and Judge（1964a, 1964b）に至る伝統的な空間均衡分析は，生産者（またはその組織）が自ら市場へ生産物を出荷し，消費者（またはその組織）が自らその生産物を市場で購入するという，単純な流通ルートを想定している．流通ルートをこのように単純化して考える場合であっても，生産者と消費者の行動パターンが異なれば市場で成立する均衡状態は異なる．伝統的に想定された行動パターンは，生産者も消費者もプライス・テイカーとして行動する完全競争の場合と，消費者はプライス・テイカーとして行動するが，生産者はすべて連合し独占者として行動する独占の場合であった．

完全競争の場合の空間均衡分析は，前節で述べたEnke（1951）の空間均衡問題の分析と同じである．完全競争の場合には，生産者にとって，ある市場での限界収入と市場価格は等しく，産地での産地価格と限界費用も等しいが，このような関係は一般には成立しない．従って完全競争でない場合の分析を行うためには，産地価格と限界費用を明確に区別する必要があり，かつ市場価格と限界収入を明確に区別する必要がある．そして完全競争の場合の4つの均衡条件，つまり（均衡条件1）～（均衡条件4）の内容は，（均衡条件1）生産・出荷・限界費用の均衡条件，（均衡条件2）入荷・需要・市場価格の均衡条件，（均衡条件3）限界費用・出荷量・限界収入の均衡条件，（均衡条件4）経済変数の非負条件，とする必要がある．このような点に注意し，前節と同様の論理で，以下述べるように様々の行動パターンの下で成立する均衡状態を明らかにすることができる．

生産者（またはその組織）は，生産量と出荷量に関する自己の決定が，生産量と出荷量に関する他地域の生産者（またはその組織）の決定に直接的な影響を与えることはない，という前提の下で自己の利潤を最大化するよう生産量と出荷量に関する決定を行う，という行動パターンを Nash 型の行動パターンと呼ぶことにしよう．生産者はプライス・テイカーとして行動することもあれば，単独でまたは他の生産者達と連合して Nash 型の行動をすることもある．そのような連合が複数個できる場合もある．すべての地域の消費者がプライス・テイカーとして行動する場合であっても，生産者達のこのような様々な行動によって様々な寡占市場が形成されることになる．

川口・鈴木（1993, 1994），Kawaguchi, et al.（1997）は，需要関数と限界費用関数（完全競争の場合には逆供給関数と同じ）が線形であり，消費者はプライス・テイカーとして行動するが，生産者は単独で

または任意に連合してNash型の行動をするかまたはプライス・テイカーとして行動する場合の，様々な一生産物の不完全競争空間均衡モデルをHashimoto（1984，1985）の研究を出発点として展開した．またこのような標準的なモデルが，1）価格が一定である市場の導入，2）市場における買入数量の上限の導入，3）供給量が一定である産地の導入，4）産地における供給能力の上限の導入，5）特定地域間の輸送（出荷）量に関する制約の導入，に対応してシャドウプライス（かげの価格）の変数を導入していかに変形されるかを示した．

一般に市場における価格関係以外の何らかの直接的な力によってある有利な経済活動に対する制限が加えられると，その有利な経済活動を行うための権利をめぐる競争によって，その権利のシャドウプライスが形成される．現実にその権利がシャドウプライスで売買されるかどうかは別として，少なくとも計算上はそのようなシャドウプライスを考えることができ，その導入によってモデルを一般化することができる．

生乳のように本来同じ生産物であっても，飲用乳と加工原料乳のように，制度上異なった複数の市場条件の下で取引が行われる生産物の場合には，たとえば東京の「飲用乳」市場と「加工原料乳」市場というふうに，それぞれの市場条件に対応する複数の市場があるものと考えることにより，その生産物の市場分析を容易にすることができる．この場合上述のようなモデルの変形が必要となり，生乳の場合には1）と2）の変形が必要となる．

同じ流通ルートを想定する場合でも，上述のように生産者達の様々な行動パターンに対応して様々な寡占市場が形成される．このことから容易に想像されるように，流通ルートの単純化の程度を少し引き下げ，少し具体化するだけでより広い範囲の寡占市場を分析対象に加えることができる．この点を生乳を事例として考察してみよう．

生乳のように，その生産が多数の小規模な生産主体によって完全競争的に行われている生産物の場合には，各生産主体が自ら直接その生産物を販売することは少ない．多くの場合，それらの生産主体は流通面における規模の経済を実現し市場交渉力を獲得するために，何らかの生産者団体を結成し，その生産者団体に生産物の有利な販売を委託する．販売を委託された生産者団体はその構成員の利益のためになるべく有利に生産物の販売を行い，その販売収益を一定の算式に基づいて計算される生産者（受取）価格をとおしてその構成員に還元する．各生産主体はその生産者価格を与件として行動し，その生産物の生産は多数の小規模な生産主体によって完全競争的に行われる．そしてそのような生産者団体が複数（ただし通常少数）存在する場合には，その生産物の市場は独占的ないし寡占的な不完全競争市場となる可能性が強い．

このような生産物の市場，いわば二重構造不完全競争市場に関する空間均衡分析も，上述のようなモデルをうまく変形し応用することにより，容易に行うことができる．つまり，計算の出発点として各産地の過去の供給実績などの適当な量 FS_i を定め，この量 FS_i の販売を第 i 生産者団体（各地域に1つの団体が結成される）に委託する．各生産者団体は上述のような寡占市場で寡占的な競争をし，均衡状態に達するので，その均衡状態を上述のような（変形した）空間均衡モデルで求め，各産地の生産者（受取）価格を計算する．この計算された生産者価格と限界費用関数に基づき，各産地の供給量を計算し，この供給量を FS_i の新たな値とする．以下同様のステップを繰り返し，一定の誤差の範囲内で FS_i の値が変化しなくなるまで計算を続けることにより，二重構造モデルの均衡解を得ることができる．川口・鈴木（1993，1994），Kawaguchi, et al.（1997）は生乳に関するこのような二重構造モデルを展開し，そのモデルを九州地域の生乳市場の分析に適用し，その含意を明らかにした．興味深い含意があるが，モデルの展開を主な課題とする本稿ではその説明は省略する．

ここで流通ルートの具体化という視点から上述の二重構造モデルの性格づけをし，今後の展開に備えることにしよう．同モデルでは，生産者団体は生産者の身代りとして生産者のために有利な販売を行うものとされた．生産者にとっての費用と利益は生産者団体にとっても費用と利益であり，両者の費用と利益がくい違うことはない．従って，生産面ではプライス・テイカーとして行動し，販売面ではNash型の行動をする，いわば2重人格の生産者を想定すれば，生産者（またはその組織）が自ら市場へ生産物を出荷するという伝統的な流通ルートの域を出るものではない．しかし営利を目的とする流通業者（企業）が生産者から生産物を買取り市場で有利に販売する場合には，両者の費用と利益がくい違うようになり，伝統的な流通ルートの域を出るものとなる．このような空間均衡モデルの応用範囲は広大であろう．次節で簡単にこの点に言及する．

現実の複雑な流通ルートをできるだけ単純化し標準的な空間均衡モデルで分析するための工夫についても

ここで若干言及しておきたい．第一は，異なる市場の市場価格の間に，不完全競争のため両市場間の単位輸送費以上の格差がある場合に，両市場間に転送が発生するものと理論的には考えられるが，その転送を標準的なモデルに組み込むための工夫である．川口・林（1997）およびLin and Kawaguchi（1999）はこの工夫を展開している．第二は，単純化のため適当な地域区分を行い，各地区を1人の生産者（または1つの生産者組織）がカバーするものとしてモデルを構成するのが普通であるが，実際には複数の生産者がカバーすると考える方がより現実的である場合に，この複数生産者を標準的なモデルに組み込むための工夫である．川口・庄野（1997）はこの工夫を展開している．

国際貿易の分析のための空間均衡モデルを国際貿易空間均衡モデルと呼んでいる．その例としては，Takayama and Judge（1971）をはじめとし，近年ではNagurney（1993）らによって関税を考慮した空間均衡モデルが展開されていた．

しかし，博士課程の大学院生庄野千鶴君と共に私が国際貿易空間均衡モデルの研究に正面から取り組み始めた1997年当時，従来のどのモデルも実際の関税を導入することができず，実践的な空間均衡モデルとして利用されることはほとんどなかった．というのは，同質の商品であるにもかかわらず，ある一定量（ミニマムアクセス，カレントアクセス量）までの輸入に対しては低水準の第1次税率が，またその量を超えた輸入に対しては高水準の第2次税率が適用される関税割当制度の存在や，従量税だけでなく従価税ないしその組合せである複合税の存在が，空間均衡モデルへの実際の関税の導入を困難ならしめていたからであると考えられる．

庄野・川口（1999a）は，各国を1つの地域とみなし，このような関税割当制度や複合税を導入したより現実的かつ実践的な国際貿易の空間均衡モデルを，次のような基本原理に基づいて展開した．第一に，関税割当制度に対応して，各国の市場を制度上の観点から，第1次税率市場と第2次税率市場に区分して考える．第二に，第1次税率市場で商品を有利に販売する権利のシャドウプライスを導入し，輸入限度枠のある第1次税率市場への輸出を国内供給や輸入限度枠のない第2次税率市場への輸出と同じ限界概念で分析しうるようにする．第三に，関税を導入した国際貿易の空間均衡モデルの均衡条件を，線形相補性問題（LCP）として定式化し均衡解を求めるようにする．というのは，伝統的な空間均衡モデルの場合のように，均衡条件を何らかの最大化問題の最適条件とみなして均衡解を求めることはできないからである．第四に，制度上の観点から各国内の市場を第1次税率市場と第2次税率市場に区分したが，各国の消費者にとっては両市場の商品は全く同じものであり，価格形成に関して何ら区別されることはない．なお単純化のため，各国の需要関数と供給関数（逆限界費用関数）は線形で，生産者も消費者も共にプライス・テイカーであるものとした．

ところで乳製品などの農畜産物の国際貿易においては，少数の輸出国によって全貿易量の相当のシェアが占められ，その市場が不完全競争市場である可能性が大きい．そこで，庄野・川口（1999b）は，各国の消費者はプライス・テイカーであるが，生産者はそれぞれ単独でNash型行動をするものと上述のモデルの想定を修正し，国際市場が寡占市場である場合の関税を考慮した国際貿易空間均衡モデルを展開した．

国際貿易に関するこの外の制度としては，酪農品，小麦，砂糖，スズ，コーヒー，ココアなどの国際商品協定や石油輸出国機構（OPEC）に代表される生産国同盟（カルテル）などが知られている．しかし上述のモデルでは，国際商品協定や生産国同盟における販売数量の調整や輸出価格の調整，特に輸出割当と最低輸出価格制度は考慮されていなかった．そこで庄野・川口（2000）は，上述のモデルをさらに一般化し，輸出割当と最低輸出価格制度を考慮しうる国際貿易空間均衡モデルを展開した．ただし，輸出割当に関しては，単純化のため一国の輸出量の合計がその国への輸出割当量を超えないものとしてモデルを展開し，最低輸出価格制度の導入に関しては，各国の生産者と消費者が共にプライス・テイカーである場合についてだけ展開した．また生産者がそれぞれ単独でNash型行動をする場合には，複数生産者の問題を考慮しうるようモデルを展開した．

庄野・川口（1999a，1999b，2000）の関税を導入した国際貿易空間均衡モデルの均衡条件はすべて線形相補性問題（LCP）として定式化された．そしてそれぞれの論文の中で，数多くの具体的な事例を示し均衡解が得られることを示してきた．しかしそのLCPに必ず解が存在するという一般的かつ数学的な証明は行っていなかった．そこで川口・庄野（2000）は，そのLCPに解が存在することを証明し，またそのアルゴリズムに関する考察を行った．その中で，これまでのLCPの計算では，例外なくsymmetric PPPM法（Cottle, et al., 1992, pp.293-296および川口・李，1992a，177-198頁，特に192-195頁を参照）で容

易に解が得られたこと，しかしより大規模で複雑な計算に適した繰り返し法（変分不等式問題に変形して解く方法も含む）に関する分析が今後の課題として残されていることを述べた．

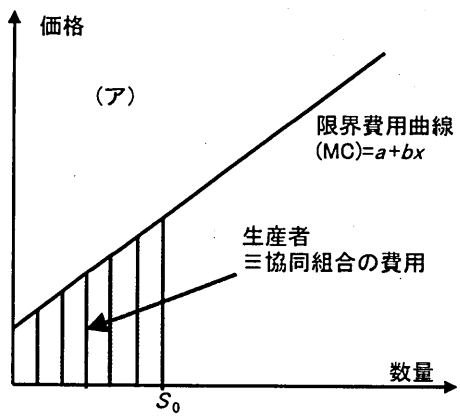
以上のように，我々は複雑な関税システムを導入した国際貿易空間均衡モデルをOECD等の多くの国際機関に先がけて展開した．庄野（2000）はそのモデルを始めて本格的に応用して，国際乳製品市場の計量分析を行った．庄野ら（2001），川口・庄野（2001）はさらにそのモデルへの輸出補助金導入の基本的な考え方と具体的な方法を示し，主要な乳製品である脱脂粉乳，バター及びチーズの国際市場におけるEU輸出補助金削減効果の本格的なシミュレーション分析を行った．

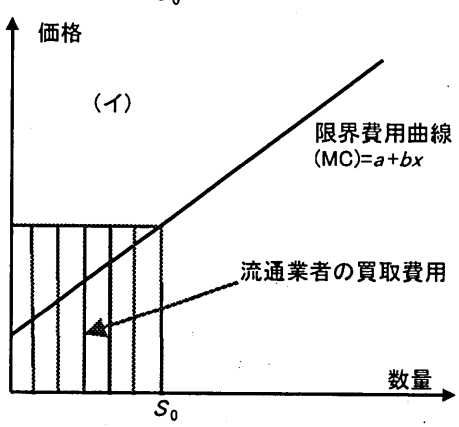
なお前田（2001）は国際貿易空間均衡モデルをさらに展開し，国際小麦貿易の政策シミュレーション分析を始めて行ったが，そのモデルは上述の多くのモデルと同様に，巨大商社のような営利的流通業者が流通を担うようなモデル（穀物市場の場合これが特に必要とされる）にはなっておらず，混合相補性問題としてのモデルの定式化も経済学的な定式化としては理解しがたい．また自国の生産物だけでなく輸入されたものもすべて自国の下限価格で支持されるという非現実的なモデルとなっている．

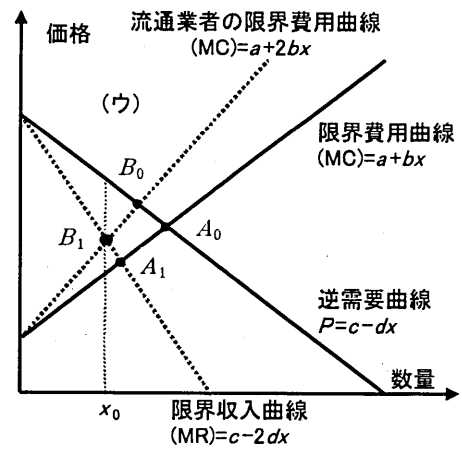
モデルの応用範囲は今後いっそう拡大するものと期待される．しかし飛躍的な今後の発展のためには解決しなければならない課題も多い．特に次節で述べるように，流通ルートの具体化という点で，残された課題が多い．

5. 今後の課題

第2節で述べたように，モデルは本来抽象的なものであり，複雑な現実そのもののコピーではない．従っていかに抽象化するかが最も重要であるが，現実の社会経済で重要な意義をもつことが多い次の2つの側面を，本質的なものとして簡潔に空間均衡モデルに導入







流通業者の限界（買取　）費用

$$=\frac{d}{dx}((a+bx)x)$$

$$=a+2bx$$

限界収入 $=\frac{d}{dx}((c-dx)x)=c-2dx$

B_1点のx座標の値はx_0である

図表4　流通ルートの具体化の意義

することができれば，そのモデルの応用範囲は飛躍的に拡大するものと期待される．つまり，第1の側面はより具体的な流通ルートであり，第2の側面はリスクである．第2の側面への言及は別稿に譲ることにし，以下本稿では第1の側面に簡単に言及しておきたい．なお均衡解を求める計算のアルゴリズムとプログラミングも重要であるが，本稿はモデルの展開を主な課題としているので，その説明は省略する．

ところで，現在のベトナム農業に目を向けると，自発的な協同組合の導入が一つの重要な課題となっている．そこで生産者がその生産物を自己の協同組合をとおして市場へ出荷する場合と，営利を目的とした流通業者がその生産物を自己の希望価格で生産者より買い取り市場で有利に販売する場合の均衡状態を比較することにより，流通ルートの具体化の意義を明らかにしてみよう．本来なら複数地域の空間均衡モデルを利用してその意義を明らかにすべきであろうが（実際そのことは可能であるが），紙数節約のため1つの産地及び市場しかない場合を事例としてその意義を明らかにする．このことによって問題の本質が変わることはない．

生産者の利益を目的として協同組合が活動するものとすれば，生産者の費用と協同組合の費用は一致する．しかし図表4パネル（ア）及び（イ）に示すように，生産者と流通業者の費用は一致せず，流通業者の費用の一部分は生産者の利潤で構成されている．そして流通業者の限界費用は，図表4パネル（ウ）に示すように，生産者の限界費用よりずっと大きい．従ってパネル（ウ）に示すように，流通ルートによってその均衡状態は大きく異なる．つまり生産者≡協同組合が出荷する場合の均衡状態は，プライス・テイカーとして行動する場合には A_0 点となり，Nash 型行動をする場合（ここでは独占の場合）には A_1 点となる．

これに対して流通業者が出荷する場合には均衡点は，流通業者が市場でプライス・テイカーとして行動すれば B_0 点となり，Nash 型行動をすれば B_1 点となる．いずれにしても，生産者からの低い限界費用での買取りと，市場での高い価格での販売が，少量だけ行われることになろう．なお均衡点が B_1 点であることはパネル（ウ）で，流通業者が生産者より x_0 だけの生産物を限界費用に等しい価格 $a+bx_0$ で買取り，市場で $c-dx_0$ なる市場価格で販売し，$[(c-dx_0)-(a+bx_0)]x_0$ だけの利潤を得るということである．このように流通ルートの具体化は大きな意義をもつ．

文　　献

Cottle, R. W., J.-S. Pang and R. E. Stone 1992 *The Linear Complementarity Problem*, Academic Press, Inc., Boston

Enke, S. 1951 Equilibrium Among Spatially Separated Markets: Solution by Electric Analogue. *Econometrica*, **19**(1): 40-47

Hashimoto, H. 1984 *A Spatial Nash Equilibrium Model* (*Division Working Paper No.* 1984-2). Commodity Studies and Projections Division, The World Bank, Washington, D.C.

Hashimoto, H. 1985 A Spatial Nash Equilibrium Model. *In* "Spatial Price Equilibrium: Advances in Theory, Computation and Application (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 249)". ed. by P. T. Harker, Springer-Verlag, New York, pp.20-40

川口雅正 1981 統計学の学問的性質について．九大農学芸誌，**36**(1): 25-46

川口雅正・李鍾相 1992a 空間均衡分析における均衡解の一意性について—Ⅰ．理論的考察．九大農学芸誌，**46**(3·4): 177-198

川口雅正・李鍾相 1992b 空間均衡分析における均衡解の一意性について—Ⅱ．事例分析．九大農学芸誌，**46**(3·4): 199-210

川口雅正・鈴木宣弘 1993 一生産物の二重構造不完全競争空間均衡モデルとその生乳市場分析への適用について．九大農学芸誌，**48**(1·2): 71-101

川口雅正・鈴木宣弘 1994 一生産物の二重構造不完全競争空間均衡モデルとその生乳市場分析への適用について．農業経済研究，**66**(1): 22-34

Kawaguchi, T., Suzuki, N. and H. M. Kaiser 1997 A Spatial Equilibrium Model for Imperfectly Competitive Milk Markets. *Amer. J. Agr. Econ.*, **79**: 851-859

川口雅正・林莉莉 1997 市場開放下における生乳需給調整システムの再構築—第1部 生乳の市場間転送問題について—．川口雅正・濱砂敬郎編：現代経済システムの諸問題．九州大学出版会，福岡，85-100頁

川口雅正・庄野千鶴 1997 市場開放下における生乳需給調整システムの再構築—第2部 地域区分の複数指定団体地区問題について—．川口雅正・濱砂敬郎編：現代経済システムの諸問題．九州大学出版会，福岡，101-113頁

川口雅正・庄野千鶴 2000 国際貿易空間均衡モデルにおける線形相補性問題の解の存在とそのアルゴリズムについて．九大農学芸誌，**55**(1): 77-81

川口雅正・庄野千鶴 2001 WTO 体制下の国際脱脂粉乳市場における輸出補助金削減効果について—国際貿易空間均衡モデルによる一接近—．矢田俊文他編：グローバル経済下の地域構造．九州大学

出版会，福岡，287-314頁
Lin, L. and T. Kawaguchi 1999 On the Problem of Introducing the Transfer of Products into the Spatial Equilibrium Model of An Imperfectly Competitive Market. *J. Fac.agr., Kyushu Univ.,* **44** (1·2) : 235-248
前田幸嗣 2001 不完全競争下における国際貿易の政策シミュレーションモデル—混合相補性問題による国際小麦貿易の空間均衡分析—. 農業経済研究, **73**(3) : 119-132
Nagurney, A. 1993 Network Economics: *A Variational Inequality Approach*, Kluwer Academic Publishers, Boston
Samuelson, P. A. 1952 Spatial Price Equilibrium and Linear Programming. *The American Economic Review,* **42** : 283-303
佐々木康三 1969 東日本の生乳市場に関する地域間均衡. 農業経済研究, **41**(3) : 106-116
佐々木康三 1970 東日本養豚の地域間均衡. 農業経済研究, **42**(1) : 11-19
庄野千鶴・川口雅正 1999a 関税を導入した国際貿易空間均衡モデルの展開—完全競争市場の場合—. 九大農学芸誌, **53**(1～4) : 79-88
庄野千鶴・川口雅正 1999b 関税を導入した国際貿易空間均衡モデルの展開—寡占市場の場合—. 九大農学芸誌, **54**(1·2) : 85-96
庄野千鶴・川口雅正 2000 関税を導入した国際貿易空間均衡モデルへの輸出割当と最低輸出価格の導入—完全競争市場及び寡占市場の場合—. 九大農学芸誌, **54**(3·4) : 157-170
庄野千鶴 2000 国際貿易空間均衡モデルの展開とWTO体制下の国際乳製品市場の計量分析への適用, 九州大学大学院学位請求論文(この学位論文の内容は若干の加筆訂正の後, 庄野千鶴『WTOと国際乳製品貿易』農林統計協会, 2001年7月として公刊された)
庄野千鶴・川口雅正・鈴木宣弘 2001 関税を導入した国際貿易空間均衡モデルへの輸出補助金の導入と国際乳製品市場へのその適用—完全競争市場の場合—. 九大農学芸誌, **55**(2) : 259-296
Takayama, T. and G. G. Judge 1964a Equilibrium Among Spatially Separated Markets: A Reformulation. *Econometrica,* **32**(4) : 510-524
Takayama, T. and G. G. Judge 1964b Spatial Equilibrium and Quadratic Programming. *Journal of Farm Economics,* **46** : 67-93
Takayama, T. and G. G. Judge 1971 *Spatial and Temporal Price and Allocation Models*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, pp.197-207 (Some Extensions of the Price Equilibrium Models)

Summary

Following Takayama and Judge (1964a, 1964b), spatial equilibrium model has been used to find equilibrium situation effected as a necessary consequence of interactions among spatially (temporally or in transaction cost aspect) separated persons such as producers, traders and consumers under some fixed market system including international trade, and the model has been applied to various empirical policy analyses.

In this paper, I try to make clear the direction of development of spatial equilibrium model in recent years, reviewing our own related papers, and also I try to make clear the direction in the future. I demonstrate that spatial equilibrium model is an empirical model and the equilibrium condition of the model is usually specified only empirically as Non-linear Complementarity Problem (NCP). I also demonstrate that we need to introduce more concrete marketing route and economic risk into spatial equilibrium model to get more wide area of model application. In the future, I suggest, researchers will specify the model empirically as NCP (or similar mathematical problem), taking more concrete marketing route and economic risk into consideration, and will solve the NCP directly to get useful information.