

貨物の異種性を考慮した均衡型貿易モデルの開発*

Development of international trade model based on equilibrium theory concerning with heterogeneous cargo*

小八重晴子** 竹林幹雄*** 黒田勝彦**** 藤田智喜**

By Seiko KOBAE*, Mikio TAKEBAYASHI**, Katsuhiko KURODA*** and Tomoki FUJITA*

1. はじめに

近年、アジア諸国の経済成長が著しい。その成長率の高さは1980年代に顕著に表れている。世界全体のGDP成長率が約3%だったのに対し、アジア圏では約8%と高い伸び率を示してきた。貿易量をみても世界のコンテナ荷動き量は1996年で約3,720万TEUであったが、アジア域内及びアジア発着の貨物は5割を超えており、国際港湾の整備が不可欠になっている。

一方、経済のグローバル化の進展や円高の影響などにより、我が国の産業は、近隣諸国と役割を分担しつつより効率的な生産活動を目指し、アジアを中心に海外展開を進めてきた。貿易構造の水平分業化が進んでおり、半製品や製品の動きが盛んになった。また、日常生活で直接消費される製品の輸入が急増するなど、貿易構造も大きく変わりつつある。

港湾投資の効果は1国にとどまらず周辺諸国にも広く波及すると考えられる。著者らは昨年までに輸送機関の輸送能力の制約を考慮した国際物流モデルを開発し、港湾資本投資の波及効果を明らかにしてきた。しかし、取り扱い貨物が貿易財と非貿易財の2種類であり、国際間で取引される貨物は1種類であった。そこで本研究では、貿易財として属性の異なる複数種類の財を取り上げることで、貨物の航路選択行動の違いをネットワークに組み込んだ。また、シナリオスタディーとして、日本国内および海外の港湾や地域社会資本への投資を行い、輸送能力の変化が経済全体に与える影響を分析する。

2. モデル

本モデルは2つのサブモデルにより構成される。海上物流サブモデルは運賃と港湾料金収入、地域経済サブモデルは港湾整備量と地域間貨物量をアウトプットとする。これらのアウトプットをもう一方のサブモデルのインプットとして取り込んで収束計算を行う。動学における均衡過程としては逐次均衡とし、その期において均衡状態に達すれば資本の蓄積、貯蓄などを考慮し次の期に進むこととする。モデルの概念図を図-1に示す。

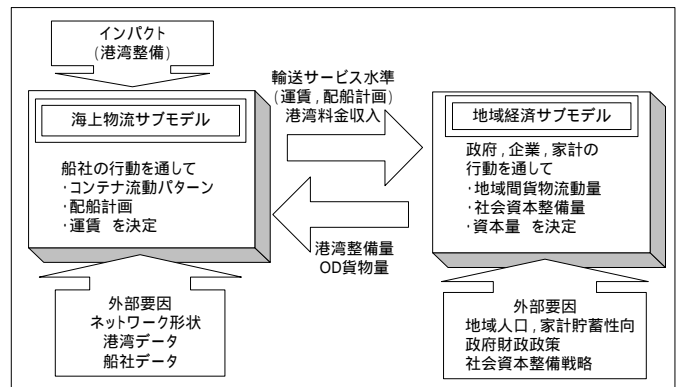


図-1 モデルの概念

3. 地域経済サブモデル

(1)変数の整理

表-1にモデルで用いる変数を示す。

表-1 地域経済サブモデルの変数表

内生変数						
財	生産要素			備前変数		
生産量(個)	q	労働投入量(100万人)	L	生産者価格(億ドル/個)	q	
消費量(個)	x	生産資本投入量(億ドル)	K	消費者価格(億ドル/個)	p	
中間投入量(個)	z	生産資本ストック量(億ドル)	K	資金(億ドル/100万人)	w	
		地域生産資本量(億ドル)	S_K	政府収入(億ドル)	G	
		地域社会資本量(億ドル)	S_C	固定資本ストック量(億ドル)	g	
		港湾資本量(億ドル)	P_K	資本償還率	r	
外生変数						
ラベル	パラメータ			諸元変数		
消費地	i	企業の生産関数	α	社会資本の投資割合	γ	
生産地	j	社会資本の生産力(ラメータ)	σ	関税率	ρ	
消費地の産業種類	m	世帯の効用関数	β	国際海上物流モデルで決定される変数		
生産地の産業種類	n	社会・経済変数				
地域社会資本率	S	地域人口(100万人)	N			
港湾資本	P	行蓄性向	λ			港湾料金収入(億ドル)
期	t	固定資本減耗率	δ	海上運賃率	f	
		生産資本減耗率	δ_k			

* Key words 港湾開発 外貿コンテナ輸送

** 学生会員 神戸大学工学部建設学科

(神戸市灘区六甲台町 1-1, TEL 078-803-6017)

*** 正会員 神戸大学工学部建設学科

**** フェロー会員 神戸大学工学部建設学科

企業

企業の目的は利潤最大化とし、以下の式であらわされる。

$$\max_{L_i^m, K_i^m, z_{ij}^{mn}} F_i^m = q_i^m \cdot y_i^m - w_i \cdot L_i^m - r \cdot K_i^m - \sum_j \sum_n p_{ij}^n \cdot z_{ij}^{mn} - \sum_n 1 \cdot z_{iR}^{mn} \quad (1)$$

生産関数は地域社会資本の集積を考慮した Cobb-Douglass 型とする。

$$y_i^m = (SK_i)^{\alpha_i^m} (L_i^m)^{\alpha_{Li}^m} (K_i^m)^{\alpha_{Ki}^m} \prod_j \prod_n (z_{ij}^{mn})^{\alpha_{ij}^{mn}} \prod_n (z_{iR}^{mn})^{\alpha_{iR}^{mn}} \quad (2)$$

$$\text{ここで } \alpha_{Li}^m + \alpha_{Ki}^m + \sum_j \sum_n \alpha_{ij}^{mn} + \sum_n \alpha_{iR}^{mn} = 1 \quad (3)$$

このとき、各要素の最適投入量は以下のように導出される。

$$L_i^m = \frac{\alpha_{Li}^m}{w_i} q_i^m y_i^m \quad (4), \quad K_i^m = \frac{\alpha_{Ki}^m}{r} q_i^m y_i^m \quad (5)$$

$$z_{ij}^{mn} = \frac{\alpha_{ij}^{mn}}{p_{ij}^n} q_i^m y_i^m \quad (6), \quad z_{iR}^{mn} = \frac{\alpha_{iR}^{mn}}{1} q_i^m y_i^m \quad (7)$$

本研究では、企業の生産においては完全競争を仮定する。このため超過利潤はゼロとなる。ゆえに、式(2)～式(6)より最適生産者価格は以下のように求められる。

$$q_i^m = SK_i^{\sigma} \left(\frac{w_i}{\alpha_{Li}^m} \right)^{\alpha_{Li}^m} \left(\frac{r}{\alpha_{Ki}^m} \right)^{\alpha_{Ki}^m} \prod_j \prod_n \left(\frac{p_{ij}^n}{\alpha_{ij}^{mn}} \right)^{\alpha_{ij}^{mn}} \prod_n \left(\frac{1}{\alpha_{iR}^{mn}} \right)^{\alpha_{iR}^{mn}} \quad (8)$$

$$\text{ここで } \beta_{ij}^n + \beta_{iR}^n = 1 \quad (9)$$

家計

家計は効用の最大化を目的とし、Cobb-Douglass 型効用関数を仮定する。

$$\text{目的: } \max_{x_{ij}^n} U_i(x_{ij}^n) = \prod_j \prod_n (x_{ij}^n)^{\beta_{ij}^n} \cdot \prod_n (x_{iR}^n)^{\beta_{iR}^n} \quad (10)$$

$$\text{Sub.to } \left(1 - l_i \right) \left(r \cdot \frac{\bar{K}_i}{N_i} + w_i \right) = \sum_j \sum_n p_{ij}^n \cdot x_{ij}^n + \sum_n x_{iR}^n \quad (11)$$

式(9)に示す所得制約の元で効用最大化を行うとき各財の最適消費量は以下のように求められる。

$$x_{ij}^n = \frac{\beta_{ij}^n}{p_{ij}^n} \left(1 - l_i \right) \left(w_i + r \cdot \frac{\bar{K}_i}{N_i} \right) \quad (12)$$

$$x_{iR}^n = \frac{\beta_{iR}^n}{1} \left(w_i + r \cdot \frac{\bar{K}_i}{N_i} \right) \quad (13)$$

政府

政府はある期において港湾料金と税を獲得し、次の期の港湾資本と地域社会資本の整備、および新規整備を行うものとする。ある期の均衡においては、両社会資本の維持費の合計が収入と等しくなる。

$$G_i = F_i + \sum_{j \neq i, n} \rho_i \cdot x_{ij}^n + \sum_{m, j \neq i, n} \rho_i \cdot z_{ij}^{mn} \quad (14)$$

ROW との輸出入

ROW(Rest of the World)部門を閉じるために ROW の輸出入を以下のように固定する。

$$E_j^n = \varepsilon_j^n \cdot D \quad (15)$$

E_j^n : ROW が輸入する地域 j の産業 n で生産される財の量

ε_j^n : ROW の総輸出量に対する地域別産業別の ROW の輸入量

D : ROW で生産される財が他地域で消費される量

市場の清算条件

$$\text{労働市場 } \sum_m L_i^m(t) = N_i(t) \quad \forall i \quad (16)$$

$$\text{資本市場 } \sum_i \sum_m K_i^m(t) = \bar{K}(t) \quad (17)$$

$$\text{価格市場 } p_{ij}^{nm} = q_j^m (1 + \rho_i + f_{ij}) \quad (18)$$

財市場

$$y_j^n = \sum_i N_i \cdot x_{ij}^n (1 + \rho_i + f_{ij}) + \sum_i \sum_m z_{ij}^{mn} (1 + \rho_i + f_{ij}) + E_j^n \quad (19)$$

(2)資本の蓄積過程

生産資本の蓄積過程

社会資本の蓄積は、ある期の資本ストック量が t-1 期からの蓄積分と t 期だけのストック量の和からなるものとする。すなわち、t 期の資本投入量は、t 期の投資額から t-1 期までに蓄積された資本ストックの維持費を差し引いた t 期の新設改良費になる。

$$\bar{K}_i(t) = t_i \frac{\bar{K}_i(t)}{N_i(t)} + t_i \frac{w_i}{r} + (1 -)\bar{K}_i(t-1) \quad (20)$$

社会資本の蓄積過程

t 期の資本投入量は t 期の投資額から $t-1$ 期までに蓄積された資本ストックの維持費を差し引いたものとなる。

$$\Delta SK(t) + \Delta PK(t) =$$

$$G(t) - \left\{ (1 - \phi_{SK})SK(t-1) + (1 - \phi_{PK})PK(t-1) \right\} \quad (21)$$

また、港湾資本の増加の割合は外生的に与える。

$$\gamma = \frac{\Delta PK(t)}{\Delta SK(t) + \Delta PK(t)} \quad (22)$$

ここで、 ϕ_{SK} 、 ϕ_{PK} : 資本減耗率 SK : 社会資本ストック投入量 PK : 港湾資本ストック投入量

4. 海上物流サブモデル

本研究で用いる海上物流モデルは既往の研究²⁾³⁾で開発されたモデルを多財型に拡張したものである。

輸送モデルでは、船社は港湾間の輸送サービスの提供を行い、その代償として消費者から運賃を受け取る。また、輸送サービスの生産には輸送される財そのものを用いるものとする。地域間貿易量（港湾間 OD 貨物量に換算される）は企業の間投入計画および家計の消費計画の結果として求められる。

STEP 1

船社が荷主に掲示する運賃および輸送時間は、荷主にとっての「最小費用ルート」に関するものとする。すなわち、船社はコンテナを費用最小費用ルートに all or nothing で輸送するものとする。品目 n の flow を計算する際、他の財の flow は固定して計算するものとする。複数の財は異なるコスト関数を持ち、コスト最小を目的として配分される。また、その際達成される解は正規ナッシュ解とする。

$$\text{目的: } \min Z_{ij}^n = \min(SC_k^n) \quad (22)$$

$$SC_k^n = \sum_l \delta_{ij}^l (TV^n * T_l) + P_k \quad (23)$$

$$\text{Sub.to } \sum_k x_{ij}^{k,n} = X_{ij}^n \quad \text{for } \forall i, j \quad (24)$$

$$\sum_n \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^l x_{ij}^{k,n} \leq f_l CP_l \quad \text{for } \forall l, n \quad (25)$$

$$x_{ij}^{k,n} \geq 0 \quad \text{for } \forall i, j, k \quad (26)$$

ここで、 Z_{ij}^n : ij 間の品目 n の荷主の総輸送コスト SC_k : 荷主の利用するルート k での 1 TEU あたりの輸送コスト TV_n : 品目 n の時間価値換算係数 T_l : 海上リンク l に配便される船の運行時間 P_k : ルート k の運賃 $x_{ij}^{k,n}$: ゾーン ij 間を輸送される荷主の利用するルート k を利用する貨物量 X_{ij}^n : 品目 n の ij 間の OD $ijk^l: x_{ij}^l$ が生の場合 1 をとり、その他は 0 をとる CP_l : 海上リンク l での 1 隻あたりの最大積載量 f_l : リンク l の便数

SC_{ij} が最小となるルートのみを、OD 貨物量は割り付けられる。ゆえに

$$\text{if } x_{ij}^k > 0 \quad \text{then } SC_k = SC_k^* \quad (27)$$

$$\text{otherwise } SC_k > SC_{ij}^* \quad (28)$$

ここで、 SC_{ij}^* : ij 間の最適輸送コスト

STEP 2

船社の行動は自己の運行費用を最小化するように便数、船型を決定する。

$$\text{目的: } \min Z_c = \sum_l C_l (f_l, T_l) \quad (29)$$

$$\text{Sub. to } \sum_{ij} \sum_r \delta_{ij}^{r,l} x_{ij}^r = x_l \quad \text{for } \forall l \quad (30)$$

$$\sum_n x_l^n \leq f_l CP_l \quad \text{for } \forall l \quad (31)$$

$$\sum_l \delta_l^h f_l \leq VC_h \quad \text{for } \forall h \quad (32)$$

$$f_l \geq 0 \quad \text{for } \forall l \quad (33)$$

ここで、 CL_l : 海上リンク l における運行費用 $x_{ij}^{r,n}$: ゾーン ij 間の O.D. 貨物量のうち経路 r をとおる量 $\delta_{ij}^{r,l}$: ij 間の経路 r のコンテナが海上リンク l を流れる場合 1、その他を 0 とする h : h 港に海上リンク l が含まれる場合 1、その他は 0 をとる VC_h : h 港における最大就航可能便数

また、本稿では海上運行費用 C_l を以下のように表した。

$$C_l = F_l (f_l, T_l) + \sum \delta_l^{h,out} x_l CW_h \quad (34)$$

$$F_l = \{T_l (MFO_l + CA_l) + PC_l\} f_l \cdot \psi_h(o_h) \quad (35)$$

$$\phi_h(o_h) = \theta_1 \left(\frac{o_h}{VC_h} \right)^{\theta_2} \quad (36)$$

ここで、 F_l : 海上リンク l における運行費用
 CW_h : 後湾 h の荷役料金 $\delta_l^{h,out}$: 後湾 h がリンク l の船積・船卸港のとき 1, 通過港のとき 0 とする
 MFO_l : 海上リンク l に就航する船の航行時燃料費
 CA_l : 海上リンク l に配便される船の船費 PC_l : 海上リンク l に就航する船の到着港における港費
 $\psi_h(o_h)$: 港湾混雑関数であり, 就航便数が増加すると追加費用が生じことを表している o_h : 港湾 h の取り扱い貨物量 VP_h : 港湾 h の港湾容量

5. 数値計算

(1) モデルの統合

以上 2 つのサブモデル間で交換される変数と単位を表-2 に示す。

表-2 サブモデル間で交換される変数の関係

変数名	地域経済サブモデル			海上物流サブモデル		
	定義	記号	単位	定義	記号	単位
海上運賃	産業連関表の"海上運賃・保険"を元に算出	f	ドル/個	運行コストなどを考慮して内生的に決定	C	円/TEU
港湾料金収入	港湾財務データから推定	F	ドル	入港席数や取り扱い貨物量から算出	PC, d	円
港湾整備量	港湾施設のストック量	g	ドル	最大取扱可能量 最大入港隻数	VP	TEU 隻
OD貨物量	地域間交易量 (モデル内で決定)	X, Z	個	地域間OD(初期値は純流動調査による実データ)	Q	TEU

(2) 適用上の仮定

- 欧州～アジア～北米間のコンテナ貨物輸送を分析対象とする。
- 以外の地域は ROW との交易として一括して扱う。ROW での消費者価格を 1 に固定する。
- 各地域の経済は 3 種の企業, 1 種の家計, 1 つの政府からなる。
- 企業には貿易財を生産する企業と非貿易財を生産する企業を仮定する。貿易財は輸送を行うことができるので, どの地域でも消費することができるが, 非貿易財は生産された地域でしか消費することができない。
- 産業分類は貿易財 $fast$ (016, 003 部門), 貿易財 $slow$ (001, 002, 004 ~ 015, 017 部門) 非貿易財(018 ~ 024 部門)に統合する。表-3 に産業連関表の部門

の分類を示す。

- 地域人口はある期において固定されている。しかし, 人口成長率を外性的に与えることで逐次的には変化する。

(3) シナリオスタディー

日欧米アジア産業連関表, 各国統計を基にパラメータ推計を行い, 基本ケースの数値計算を行った。また, 以下のような感度分析を行い, 政策変更が日本の背後圏や海外の背後圏に与える影響を分析した。データは参考文献 4), 5) などによる。紙面の都合上, モデルの精度および結果の詳細は講演時に発表する。

ケース 1: 港湾諸料金(港湾料金・荷役料金)の変化の影響

ケース 2: 日本の港湾資本への投資額増減の影響

ケース 3: 日本が韓国の港湾へ投資した時の影響

表-3 産業連関表の内生部門分類

分類番号	分類	分類番号	分類	分類番号	分類
001	農林水産	009	鉄鋼・同製品	017	その他製造業
002	鉱業	010	非鉄金属	018	建設
003	食料品	011	金属製品	019	電気・水道・ガス
004	繊維製品	012	一般機械	020	商業
005	パルプ・紙・木製品	013	電気機械	021	運輸
006	化学製品	014	自動車	022	その他のサービス
007	石油製品	015	その他輸送機械	023	政府活動
008	窯業・土石製品	016	精密機械	024	分類不明・その他

【参考文献】

- 大久保岳史, 竹林幹雄, 藤田智喜, 黒田勝彦: 海上輸送を考慮した国際貿易モデルの動学化, 平成 13 年度土木学会年次学術講演会 (CD-ROM), 2001
- 黒田勝彦, 竹林幹雄, 武藤雅浩, 大久保岳史: 外航定期コンテナ流動予測モデルの構築とアジア基幹航路への適用, 土木学会論文集, NO653, IV-48, p. 117-p131, 2000
- 黒田勝彦, 竹林幹雄, 武藤雅浩, 大久保岳史: ポスト・パナマックス級コンテナ船導入が外航コンテナ輸送市場に与える影響分析, 土木学会論文集 NO653, IV-48, p. 117-p131, 2000
- 三井清, 大田清編著: 社会資本の生産性と公的金融, 日本評論社, 1995. 11.
- 経済企画庁経済研究所国民経済計算部: 平成 2 年度基準民間企業資本ストック年報, 1999