

海上輸送を考慮した国際貿易モデルの動学的分析*

The analysis of dynamic international trade model concerning the maritime transport equilibrium flow

竹林幹雄**・大久保岳史***・藤田智喜****・黒田勝彦*****

By Mikio TAKEBAYASHI**・Takefumi OKUBO***・Tomoki FUJITA****・Katsuhiko KURODA*****

1. はじめに

近年、アジア諸国の発展によりアジア海上市場も拡大しており、日本での国際海上コンテナターミナルの確保が不可欠になっている。これに対し、公共事業の整備効果・手法等が問題視され適切な社会資本投資効果の評価が必要となっている。

港湾投資および整備に関する効果計測方法に関する研究としては、主として港湾とその背後圏の経済構造に注目したアプローチがとられてきたといえる。しかし、主要港湾のサービスの向上はネットワークを通じて他港湾およびその背後圏にも影響を与えるものと考えられる。無論、この変化は即時に生じるとは限らず、徐々に現れると考えられる。このため、短期的な分析枠組みではなく、中期的（10年程度）な変化を捉える必要があり、投資と効果現出の間に存在するタイムラグに着目することで、港湾投資の特性についてより詳細に検討できると考えられる。

そこで本研究では、竹林・武藤によって提案された静的モデル¹⁾を動学に拡張するためのモデルの変更点について検討し、数値計算を通じて中期的な港湾投資の効果についてその特性分析を行うことを目的とする。なお、紙面の都合上、モデルの構成の記述にとどめ、数値計算については講演時に示すこととする。

2. モデルの概要

本モデルは図-1に示すように、2つのサブモデルで構成される。両サブモデルは互いのアウトプット

をインプットとして取り込んで収束計算を行う。

動学化を進めるにあたって、ある期で均衡に達すれば資本蓄積、貯蓄などを考慮して次の期に進む逐次均衡モデルを用いることとする。

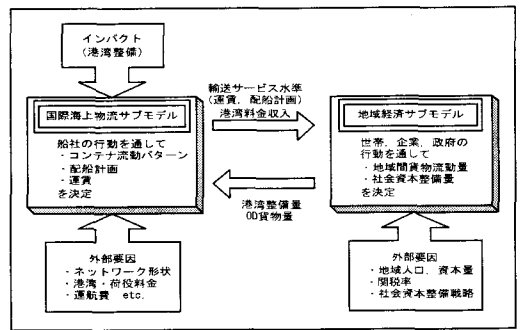


図-1 モデルの概念

3. 地域経済サブモデル

地域経済サブモデルの構築にあたり、主に以下のような仮定をおく。

- 1) 欧州～アジア～北米間のコンテナ貨物輸送を分析対象とし、その他の地域の交易は、ROW(Rest of the World)との交易として一括して取り扱う。ROWで生産される財の消費者価格は1とする。
- 2) 各地域の経済は2種の企業、1種の家計、そして1つの政府からなるものとする。
- 3) 企業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。
- 4) 社会資本は地域社会資本と港湾資本とに区別する。地域社会資本はその地域の家計と企業が利用でき、その地域内で整備効果が波及される。一方、港湾資本は整備されることにより、貿易を通じて間接的にその港湾を利用している各地域にも広く波及効果が反映されるものとした。
- 5) 家計は将来のキャピタルゲインを得るために貯蓄を行うものとする。今回、貯蓄率は外生的に

*Key Words 港湾計画, 整備効果計測法

**正会員 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 (株) 日建設計

****学生員 神戸大学大学院自然科学研究科

*****フェロー会員 神戸大学工学部建設学科

与えるものとする。

(1) 各主体の定式化

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

内生変数			
財	生産要素		価格変数
生産量(個)	労働投入量(100万人)	L	生産者価格(ドル/個)
最終消費量(個)	生産資本ストック量(億円)	K	消費者価格(ドル/個)
中間財投入量(個)	地域生産資本ストック量(億円)		賃金(ドル/100万人)
	地域社会資本投資額(億円)	SK	政府収入(億円)
	港湾資本投資額(億円)	PK	固定資本ストック量(億円)
			資本賃料率
			r
外生変数			
ラベル	パラメータ		政策変数
消費地	企業の生産関数	a	社会資本の投資割合
生産地	社会資本の生産力パラメータ	s	開税率
消費地の産業種類	世帯の効用関数	β	
生産地の産業種類	社会経済変数		国際海上物流モデルで
地域社会資本	地域人口(100万人)	N	決定される変数
港湾資本	貯蓄性向	ε	港域経収入(億円)
期	固定資本減耗率	δ	海上運賃率
	生産資本減耗率	δs	

企業の行動

企業の目的は利潤最大化とし、以下の式のもとに行動する。

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

生産関数は地域社会資本の集積を考慮したコブダグラス型と仮定する。

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

$$subto \quad a_{Li}^m + a_{Ki}^m + \sum_j \sum_n a_{ij}^{mn} + \sum_n a_{iR}^{mn} = 1$$

このとき、各要素の最適投入量は以下ようになる。

$$L_i^m = \frac{a_{Li}^m}{w_i} q_i^m y_i^m, \quad K_i^m = \frac{a_{Ki}^m}{r} q_i^m y_i^m \quad (3), (4)$$

$$z_{ij}^{mn} = \frac{a_{ij}^{mn}}{p_{ij}^n} q_i^m y_i^m, \quad z_{iR}^{mn} = \frac{a_{iR}^{mn}}{1} q_i^m y_i^m \quad (5), (6)$$

完全競争を仮定しているので企業の利潤はゼロになる。このことから、式(2)～式(6)より

$$q = SK^{-s} \left(\frac{w_i}{a_{Li}} \right)^{\alpha_{Li}} \left(\frac{r}{a_{Ki}} \right)^{\alpha_{Ki}} \prod_j \prod_n \left(\frac{p_{ij}^n}{a_{ij}^{mn}} \right)^{\alpha_{ij}^{mn}} \prod_n \left(\frac{1}{a_{iR}^{mn}} \right)^{\alpha_{iR}^{mn}} \quad (7)$$

家計の行動

家計は効用の最大化を目的とし、効用関数としてコブダグラス型を仮定する。

$$obj \quad \max_{x_{ij}^n} U_i(x_{ij}^n) = \prod_j \prod_n (x_{ij}^n)^{\beta_{ij}^n} \cdot \prod_n (x_{iR}^n)^{\beta_{iR}^n} \quad (8)$$

$$subto \quad (1 - \xi_i) \left(r \cdot \frac{\bar{K}_i}{N_i} + w_i \right) = \sum_j \sum_n p_{ij}^n \cdot x_{ij}^n + \sum_n x_{iR}^n \quad (9)$$

式(9)に示す所得制約のもとで効用最大化を行うときの各財の消費量は以下ようになる。

$$x_{ij}^n = \frac{\beta_{ij}^n}{p_{ij}^n} \left(w_i + r \cdot \frac{\bar{K}_i}{N_i} \right) \quad (10)$$

$$x_{iR}^n = \frac{\beta_{iR}^n}{1} \left(w_i + r \cdot \frac{\bar{K}_i}{N_i} \right) \quad (11)$$

政府の行動

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。ここで社会資本投資の割合は外生的に与える。

$$G_i = F_i + \sum_{j \neq i} \sum_n \rho_i \cdot x_{ij}^n + \sum_m \sum_{j \neq n} \sum_n \rho_i \cdot z_{ij}^{mn} \quad (12)$$

$$G_i(t) = SK_i(t+1) + PK_i(t+1) \quad (13)$$

ROW との輸出入

ROW 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。

$$E_j^n = e_j^n \cdot D \quad (14)$$

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

e : R.O.W.の総輸出量に対する地域別産業別のROWの輸入量

D : R.O.W.で生産される財が他地域で消費される量

均衡条件

$$\text{労働市場} \quad \sum_i \sum_m K_i^m(t) = \bar{K}(t) \quad \forall i \quad (15)$$

$$\text{資本市場} \quad \sum_i \sum_m K_i^m(t) = \bar{K}(t) \quad (16)$$

$$\text{価格市場} \quad P_{ij}^{nm} = q_j^m (1 + \rho + f_{ij}) \quad (17)$$

財市場

$$y_j^n = \sum_i N_i \cdot x_{ij}^n (1 + \rho + f_{ij}) + \sum_{i,m} z_{ij}^m (1 + \rho + f_{ij}) + E_j^n \quad (18)$$

(2) 資本の蓄積過程

生産資本の蓄積過程

生産資本は家計が企業に貸し出すものとする。ある t 期の生産資本ストック量は、 $t-1$ 期の貯蓄分から資本減耗分を差し引いたものと、その t 期の貯蓄分を差し引いた生産資本投入量の合計から成る。蓄積過程は図-2 のようになる。

$$\bar{K}_i(t) = \varepsilon_i \frac{\bar{K}_i(t)}{N_i(t)} + \varepsilon_i \frac{w_i}{r} + (1 - \delta_s) \bar{K}_i(t-1) \quad (19)$$

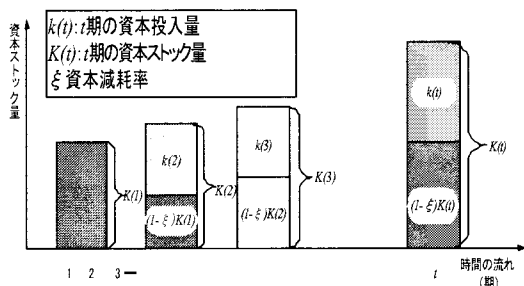


図-2 生産資本の蓄積過程

社会資本の蓄積過程

社会資本蓄積は、ある t 期の資本ストック量が $t-1$ 期からの蓄積分と t 期のみストック量の和から成るものとする。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 期の新設改良費用になる。蓄積過程は図-3 のようになる。

$$g_i(t) = g_i(t-1) + \{G_i(t) - g_i(t-1)\phi\} \quad (20)$$

ここに、 ϕ : 資本維持パラメータ

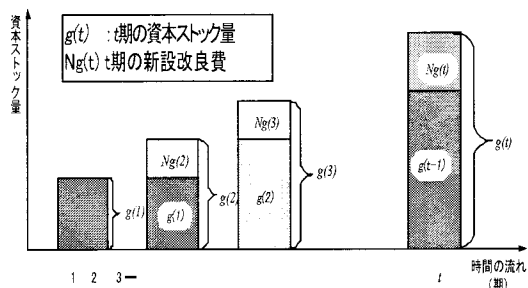


図-3 社会資本の蓄積過程

4. 国際海上物流サブモデル

本研究で用いる国際海上物流サブモデルは黒田らの研究²⁾によるものを基にしている。国際海上サブモデルは完全競争市場を仮定し、その上で船社がコスト最小を目的に輸送ルート・運行パターンを決定し、港湾間の輸送サービスを行う。以下に定式化を示す。

目的関数は次のように定義する。

$$\min C_l = \sum_k d_{l,k}^1 \cdot C_k + \sum_{l,u} \delta_{l,u}^2 \cdot a_{l,u} \cdot C_u \quad (21)$$

C_l : 経路 l の一般化費用

C_k : 航行リンクコスト

$d_{l,k}^1$: 経路 l がリンク k を使用しているとき 1
そうでないとき 0

C_u : 港湾ノードコスト

$\delta_{l,u}^2$: 経路 l が港湾 u を使用しているとき 1,
そうでないとき 0

$a_{l,u}$: 経路 l において港湾 u が船積・船卸港の
とき 1, 通過港の時 0

船社が負担すべきコストは (22) ~ (24) で表される。

$$C_k = \frac{\{T_k \cdot (MFO_k + CA_k) + PC_k\} \cdot d_k \cdot \Psi(o_u)}{g_k} \quad (22)$$

g_k : リンク k の貨物量

d_k : リンク k の運行便数

MFO_k : リンク k に就航する船の航行時燃料費

CA_k : リンク k に就航する船の船費

T_k : リンク k の航行時間

PC_k : リンク k に就航する船の到着港湾における港費

o_u : 港湾 u の取扱貨物量

$\Psi(o_u)$: 港湾混雑関数

$$\Psi(o_u) = p \left(\frac{o_u}{VP_u} \right) \quad (23)$$

π, τ : パラメータ

VP_u : 港湾 u の港湾容量

ここで、港湾混雑関数とは、入港する港湾に空きバースの余裕がない場合に、沖合で入港待ちが生じるなどの追加的費用を表す。

$$C_u = HC_u \quad (24)$$

HC_u : 港湾 u の荷役料金

ここで、OD 貨物に関しては利用者均衡配分を仮定しているため式(21)で表される船社の目的関数において、運行便数を与件とし、OD 貨物を利用者均衡配分する問題となる。この問題における制約条件は OD 保存式(25)、フローの保存式(26)、非負条件式(27)である。

$$\sum_{l \in V} h_l = Q_v \quad \forall v \in V \quad (25)$$

$$g_k = \sum_{v \in V} \sum_{l \in L_v} \delta_{l,k}^1 \cdot h_k \quad \forall k \quad (26)$$

$$h_l \geq 0 \quad \forall l \in L_v, v \in V \quad (27)$$

v : 港湾間 OD ペアのインデックス $v \in V$

Q_v : 港湾間 OD ペア v の貨物量

l : 経路のインデックス

L_v : OD ペア v の利用可能経路集合 $l \in L_v$

h_l : 経路 l の貨物量

g_k : リンク k の貨物量

またリンク貨物量 g_k に対して最適便数 d_k を決定する。

$$d_k \geq \frac{g_k}{\lambda_k \cdot VV_k^s} \quad (d_k \text{ は整数}) \quad (28)$$

λ_k : リンク k に就航する船の許容積載率の上限

VV_k^s : リンク k の船形 s の積載能力

ここで、許容積載率とは 1 隻あたりの最適な積載率を示すものである。

また、往復便数が一致する必要があるため、リンク k に往復で対応するリンクを k' とすると、最適便数は次式で与えられる。

$$d_k \geq d_{k'} \quad \text{ならば} \quad d_k = d_{k'} \quad (29a)$$

$$d_k < d_{k'} \quad \text{ならば} \quad d_k = d_{k'} \quad (29b)$$

5. モデルの適用とケーススタディ

以上のようなモデルを構築し、日米欧アジア産業

連関表、各国統計³⁾を基にパラメータ推計を行い、基本モデルとして数値計算を行った。対象地域として、日本、北米、EU、中国、台湾、韓国、そしてシンガポールを適用した。対象期間としては 1975 年から 2010 年の 25 年間とした。

ケーススタディとして、2010 年時の港湾資本ストック量、家計の効用などのパラメータを基本ケースと比較する分析と、各期の推移を基本ケースと比較する分析を行っている。

Case1 では、現在高額といわれている日本の港湾料金、荷役料金を変化させた場合の港湾・経済への影響を分析した。

Case2 では、地域社会資本と港湾資本への政府の投資比率を変化させることにより、それぞれの社会資本の時間的な経済波及効果の違いを分析した。

また、近年安価な港湾諸料金を背景に釜山、高雄港などアジア諸港が急速に発展し、日本の港湾はそのハブ機能を維持することが今後困難であると考えられる。そこで Case3 では、日本がハブ機能をもつことを断念し、近隣のアジア主要港湾へ投資することによってハブとして利用する場合の影響を分析した。

なお、計算結果については講演時に示す。

6. おわりに

本研究では、空間一般均衡に基づいた地域経済モデルと、規模の経済性を考慮した海上コンテナネットワークモデルを同時に組み込んだ国際貿易モデルを構築した。これにより、資本の蓄積を考慮し、動学化を図ることで中・長期的な社会資本整備効果、特に港湾投資の便益波及メカニズムを実証的に把握することが可能となった。社会資本整備効果を考える上ではこのような動学的モデルが必要ではないかと考える。

[参考文献]

- 1) 黒田勝彦 竹林幹雄 他 海上輸送を考慮した国際貿易モデルの開発, 土木計画学研究講演集 23(2), pp.641-644, 2000.11
- 2) 黒田勝彦 竹林幹雄 他 アジア-太平洋航路を対象とした外貨コンテナ貨物輸送モデルの構築, 土木計画学研究講演集, No.22(2), pp.749-752, 1999.10.
- 3) ILO : *Year Book of Labour Statistics 1998*, International Labour Office, 1998 など