

海上輸送を考慮した国際貿易モデルの開発

International trade model concerning the maritime transport equilibrium flow

竹林幹雄^{*}, 黒田勝彦^{**}, 武藤雅浩^{***}, 大久保岳史^{****}

By Mikio TAKEBAYASHI^{*}, Katsuhiko KURODA^{**}, Masahiro MUTO^{***}, and Takefumi OKUBO^{****}

1. はじめに

将来的にアジアの貿易が拡大することにより、港湾投資の効果は一国に留まらず周辺諸国にも広く波及すると考えられる。しかし国際貿易の分析で提案されてきた多くのモデルでは輸送機関を明示的に取り上げることは少なく、特に輸送機関の持つ輸送能力などの物理的制約は考慮されていない。港湾投資による便益波及メカニズムを把握する上でも、輸送機関を明示的に取り扱う必要があると考えられる。

本研究では、港湾投資の便益波及メカニズムを実証的に把握するために、外航コンテナ貨物輸送を内蔵した地域経済モデルの開発を行う。

2. 国際物流モデルの概要

本研究で構築したモデルの概念図を図-1に示す。

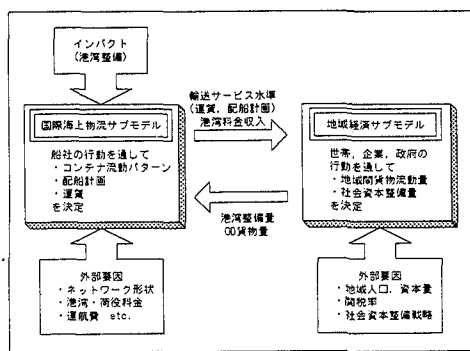


図-1 モデルの概念

Key Words 港湾計画, 国際貿易, 輸送制約

*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)

**フェロー会員 神戸大学工学部建設学科

***正会員 (株) 野村総合研究所

****学生員 神戸大学大学院自然科学研究科

本モデルは、図-1のように地域経済サブモデルと国際物流サブモデルの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計算を行う。

3. 地域経済サブモデル

(1) 社会資本の定義

本研究で取り扱う社会資本は、港湾資本と地域社会資本に区別される。貿易に使用される港湾資本は、その港湾が立地する地域の税と港湾利用料によって整備・運営される。港湾資本が整備されることで船社が受けた直接効果は市場を通じて運賃に反映され、船社と取引を行っている企業や家計へと波及していく。すなわち、港湾整備による効果は、その港湾が属する地域だけでなく、輸送を通じて間接的にその港湾を利用している貿易主体に広く波及していくと考えることとした。

一方、港湾以外の道路・鉄道といった地域内でのみ利用可能な社会資本を地域社会資本と定義した。この地域社会資本が整備されることにより、まず企業の生産性が向上する。その結果、市場を介して財の価格の下落や所得の増加といった間接効果を生じさせる。これらは最終的には家計の効用の増加として帰着する。地域社会資本を直接利用することができるのは、資本が属する地域の企業に限定されるため、効果の波及は当該地域内で閉じることになる。

また、社会資本は政府の整備行動により蓄積されていくが、その蓄積量に応じて維持費が発生する。そして、均衡状態では政府の収入と社会資本の整備費が等しくなると考えられる。

以上のように、港湾資本と地域社会資本とでは維持・整備に必要な財源に大きな違いがない一方で、効果の波及する構造が大きく異なる。効果の波及を図-2に示す。

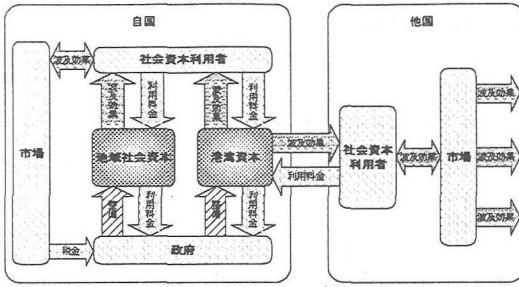


図-2 社会資本の効果の波及

(2) 税

通常、一般均衡モデルで考慮される税には所得税のような租税や財を輸入する際に課税される関税などがあげられる。本研究では貿易パターンの分析を主眼におくため、関税のみを扱うこととする。このとき、輸入財の消費者価格は生産者価格に輸送費(海上運賃)と関税を上乗せしたものになる。

(3) 仮定

モデルの構築にあたり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する。
- 2) 1)以外の地域間の交易は、ROW(Rest of the World)との交易として一括して扱う。また、ROW で生産される財の消費者価格を1に固定する。
- 3) 各地域の経済は2類の企業、1種類の家計、1つの政府からなる。
- 4) 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の消費に限定される。また、双方向貿易を実現するために、Armingtonの仮定をおく。
- 5) 企業と家計は、船社が提供する輸送サービスを利用して貿易を行い、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。船社は輸送サービスで消費された財に見合う分を生産者価格に上乗せして消費者に販売する。
- 6) 地域人口は固定されており、地域間を移動することができない。

- 7) 生産資本の量は各地域で異なり、地域内の家計が均等に所有している。家計は地域を問わず自由に資本を貸し出すことができ、その結果資本の賃貸料は全ての地域で等しくなる。
- 8) 社会資本は地域社会資本と港湾資本とに区別される。前者は企業が生産を行う際に無償で利用でき、生産性の向上に寄与する。後者は貿易を行う際の輸送施設として機能する。

(4) 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

財	内生変数			
	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)	q
消費量(個)	生産資本投入量(億ドル)	K	消費者価格(ドル/個)	p
中間投入量(個)	地域社会資本量(億ドル)	SK	賃金(ドル/100万人)	w
	港湾資本量(億ドル)	PK	資本賃貸料率	r

ラベル	外生変数			
	パラメータ		政策変数	
消費地	企業の生産関数	α	社会資本の投資割合	γ
生産地	社会資本の生産力パラメータ	σ	関税率	p
消費地の産業種類	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	社会・経済変数			
地域社会資本	地域人口(100万人)	N	港湾料金収入(億ドル)	F
港湾資本	地域生産資本量(億ドル)		海上運賃率	f

企業の行動

生産関数を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¹⁾。

$$y_i^m = (SK_i)^{\alpha_i} (L_i^m)^{\beta_i} (K_i^m)^{\sigma_i} \prod_j \prod_n (z_{ij}^{mn})^{\alpha_{ij}^{mn}} \prod_n (z_{iR}^{mn})^{\alpha_{iR}^{mn}} \quad (1)$$

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

企業の利潤は以下の式で表される。

$$\max_{L_i^m, K_i^m, z_{ij}^{mn}} F_i^m = q_i^m \cdot y_i^m - w_i \cdot L_i^m - r \cdot K_i^m - \sum_j \sum_n p_{ij}^m \cdot z_{ij}^{mn} - \sum_n 1 \cdot z_{iR}^{mn} \quad (2)$$

1 次の最適性条件は、以下のようになる。

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

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

完全競争の仮定から、企業の長期利潤はゼロになる。ゆえに、式(2)～式(6)より生産者価格 q は

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

家計の行動

家計の効用関数もコブダグラス型を仮定する。

$$\max_{x_y^n} U_i(x_y^n) = \prod_j \prod_n (x_{jy}^n)^{\beta_{jy}^n} \cdot \prod_n (x_{ir}^n)^{\alpha_{ir}^n} \quad (8)$$

$$\text{sub.to. } r \cdot \frac{\bar{K}_i}{N_i} + w_i = \sum_j \sum_n p_{jy}^n \cdot x_{jy}^n + \sum_n x_{ir}^n \quad (9)$$

各財の最適消費量は以下ようになる。

$$x_{jy}^n = \frac{\beta_{jy}^n}{p_{jy}^n} \left(w_i + r \cdot \frac{\bar{K}_i}{N_i} \right), \quad x_{ir}^n = \frac{\beta_{ir}^n}{1} \left(w_i + r \cdot \frac{\bar{K}_i}{N_i} \right) \quad (10), (11)$$

政府の行動

政府は地域社会資本と港湾資本の整備を行う。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。

$$F_i + \sum_{j \neq i} \sum_n \rho_i \cdot x_{jy}^n + \sum_m \sum_{j \neq i} \sum_n \rho_i \cdot z_{jy}^{mn} = C_i^s(SK_i) + C_i^p(PK_i) \quad (12)$$

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。

$$E_j^n = \varepsilon_j^n \cdot D \quad (13)$$

E_j^n : ROWが輸入する地域の産業 n で生産される財の量
 ε : 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

市場均衡条件

$$\text{労働市場} \quad \sum_m L_i^m = N_i \quad \forall i \quad (14)$$

$$\text{資本市場} \quad \sum_i \sum_m K_i^m = \bar{K} \quad (15)$$

$$\text{価格市場} \quad p_{jy}^{mn} = q_j^n (1 + \rho_i + f_{jy}) \quad (16)$$

価格市場

$$y_j^n = \sum_i N_i \cdot x_{jy}^n (1 + \rho_i + f_{jy}) + \sum_i \sum_m z_{jy}^{mn} (1 + \rho_i + f_{jy}) + E_j^n \quad (17)$$

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文献2)で提案されたモデルを基にしている。ここで、国際海上物流モデルでの主体となる船社は、完全競争市場を仮定し以下に定式化を示す。

船社の目的関数を以下のように定義する。

$$\min C_i = \sum_k \delta_{i,k}^1 \cdot C_k + \sum_u \delta_{i,u}^2 \cdot a_{i,u} \cdot C_u \quad (18)$$

- C_l : 経路 l の一般化費用
- C_k : 航行リンクコスト
- $\delta_{i,k}^1$: 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
- $\delta_{i,u}^2$: 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
- $a_{i,u}$: 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(19)～(21)で表される。

$$C_k = \frac{\{ T_k \cdot (MFO_k + CA_k) + PC_k \} \cdot d_k}{g_k} \cdot \psi(o_u) \quad (19)$$

- 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
- $\psi(o_u) = \pi \left(\frac{o_u}{VP_u} \right)^\tau$ (20)
- 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。

$$C_u = HC_u \quad (21)$$

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(18)で表される船社の目的関数に

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(22)、フローの保存式(23)、非負条件式(24)である。

$$\sum_{l \in V} h_l = Q_v \quad \forall v \in V \quad (22)$$

$$g_k = \sum_{v \in V} \sum_{l \in L_v} \delta_{l,k}^1 \cdot h_l \quad \forall k \quad (23)$$

$$h_l \geq 0 \quad \forall l \in L_v, v \in V \quad (24)$$

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。

$$d_k \geq \frac{g_k}{\lambda_k \cdot W_k^s} \quad (d_k \text{ は整数}) \quad (25)$$

λ_k : リンク k に就航する船の許容積載率の上限

W_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。

$$d_k \geq d_{k'} \quad \text{ならば} \quad d_k = d_{k'} \quad (26a)$$

$$d_k < d_{k'} \quad \text{ならば} \quad d_k = d_{k'} \quad (26b)$$

5. サブモデルの統合

これまでに構築した2つのサブモデルの間でやりとりされる変数には、海上運賃、港湾料金収入、港湾整備量(港湾容量)、地域間交易量(OD貨物量)の4つがある。実際にはこれらの変数の値が直接やりとりされるわけではなく、値の変化率を通して関係づけられる。すなわち、一方のモデルのアウトプ

ットとなる変数の変化率をもう一方のインプットになる変数に乗ずることで、両サブモデルの統合を行う。

6. 数値計算

日米欧アジア産業連関表、各国統計など³⁾⁴⁾を基にパラメータ推計を行い、数値計算を行った。詳細は講演時に発表する。

7. 終わりに

本研究では、一般均衡理論に基づく貿易モデルと海上物流ネットワークモデルを組み合わせた国際海上物流モデルの構築を行い、数値計算を通して港湾資本の整備が貿易全体に与える影響について検討を行った。

しかし、社会資本の集積を考慮した一般均衡モデルを用いる場合、そのパラメータ値が与える影響は非常に大きいと考えられる。また、地域社会資本の生産力効果に関しても本研究で挙げた参考値はGDPに対する社会資本の生産力効果であり本研究で構築したような貿易モデルに適用可能なパラメータ値の推計は行われていない。これらは社会資本の整備効果を検討する際に重要な役割を果たすと考えられるため、今後の研究において精緻化が望まれる点である。

また、社会資本整備効果の分析においては、空間的な波及構造とともに資本蓄積による時間的波及構造を明らかにすることも重要である。このような資本の蓄積過程を考慮するために、動学モデルへの拡張が不可欠であると考えている。

【参考文献】

- 1) 文世一：地域間交通システムの整備が産業立地と人口分布に及ぼす影響，土木計画学研究・講演集，No.18(2)，pp.665-668，1995.
- 2) 黒田勝彦他：アジア太平洋航路を対象とした外貿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) 三井清，太田清編著：社会資本の生産性と公的金融，日本評論社，1995.11.
- 4) 例えばILO：Year Book of Labour Statistics 1998，International Labour Office，1998など.