

港湾選択行動を考慮した 多地域開放経済モデルの構築

津田 溪太郎¹・石倉 智樹²

¹非会員 首都大学東京 都市環境学部 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

²正会員 首都大学東京准教授 都市環境学部 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: iskr@tmu.ac.jp

輸出入物資の 99 % を港湾経由で貿易している日本では、港湾は重要なインフラ施設である。港湾政策がもたらす背後地域への経済波及効果を分析することは効果的な政策を選択することにつながり、ひいては人々の生活を豊かにするために必要である。しかし、従来の経済分析手法では複数港湾が輸送経路として選択可能であるという物流実態を考慮できないという課題がある。そこで本研究では、港湾政策が国内の地域経済に与える経済波及効果を適切に分析・評価するため、複数の港湾地域を明示的に組み込み、輸出入における港湾選択を考慮した多地域開放経済モデルを構築する。

Key Words: 港湾選択, 多地域開放経済モデル, 港湾政策

1. はじめに

島国である日本は資源に乏しいため、海外との貿易を経て必要な資源を入手している。重量ベースで 99 % 以上の輸出入物資を港湾経由で取引している日本¹⁾では、港湾は国民生活を支える重要なインフラ施設であり日本国民の生活や産業活動の根幹部分を担っている。

ところで、近年世界的に海上輸送手段として利用されるコンテナ船の大型化が進んでいる。コンテナ船の大型化は海上輸送 1 回あたりに輸送できる物資の量を増やすことで財の輸送費を低下させる。それに伴い国内消費者の効用水準が高まったり、所得が向上したりと港湾背後圏地域への経済波及効果を生み出す。日本の港湾も大型コンテナ船を受け入れ可能にするべく港湾政策の実施が必要である。より効果的で効率的な港湾政策を行うためには、政策実施による国内地域への経済波及効果を分析・評価しなければならない。港湾整備の分析・評価に関する研究としてこれまで一般均衡理論に基づいたモデルの構築による数多く行われてきた。特に空間的な経済波及効果の分析には、空間的応用一般均衡 (SCGE: Spatial Computable General Equilibrium) モデルの適用が進められている。しかし従来の一般均衡モデルでは港湾利用者の港湾選択行動を考慮できないという課題がある。

そこで本研究では、従来の一般均衡モデルに港湾を介する国際輸送経路の概念を組み込み、港湾整備の国内地域への経済波及効果を分析・評価可能な多地域開放経済モデルの構築をする。

2. 既往研究と本研究のアプローチ

水谷ら²⁾の研究では、SCGE モデルを用いて港湾政策が輸送市場以外の市場にもたらす波及効果を計測している。このモデルは、港湾政策によって海外貿易にかかる輸送費が低下することで、各市場の需要供給の均衡を変化させ最終的に各地域の家計への経済効果を計測している。しかし、モデル構築の際に波及効果を計測しやすいものにするため、想定されている経済社会が簡易的である。したがって、より細かな社会構造を想定し、再現性を向上させる必要がある。

港湾利用者の港湾選択を考慮した手法として、渡部ら³⁾は、国際コンテナ輸送における船社のネットワークと荷主の港湾・ルート選択をリンクした国際コンテナ流動モデルを構築した。荷主は輸送費が最小になるような港湾・ルートを選択するモデルの構築により、今後の港湾の需要予測に有効となるシステムを作り上げた。しかし、港湾政策が家計にもたらす波及効果を計測できず、あくまで需要予測の域を超えない。

そこで本研究では、空間的一般均衡モデルを基礎とする枠組みに港湾を介する国際輸送概念を明示的に組み込み、貿易における港湾選択を考慮した多地域開放経済モデルを構築する。

3. モデル

(1) 前提条件

多地域開放経済モデルを構築するにあたり以下の前提条件に則った経済社会を想定する。

- I 地域から構成される国内経済を想定し、各地域に家計、企業、港湾が存在する。
- 海外経済は国や地域によって差別化せず単一の「その他地域」(ROW: Rest Of the World) として集約する。
- 財生産企業は、中間財と生産要素(労働)を投入して、財を生産する。
- 財は生産地(国内の各地域および ROW)によって差別化される。
- 家計は財生産企業と港湾に生産要素を非弾力的に供給し、対価として所得を受け取る。同時に所得制約の下で効用最大化するよう財を消費する。
- 国内地域と海外地域との交易、すなわち輸出入には港湾輸送サービスを介さなければならない。輸送費によって利用者は港湾を選択する。

以上の仮定に基づく本モデルの経済社会構造のイメージを図-1に示す。

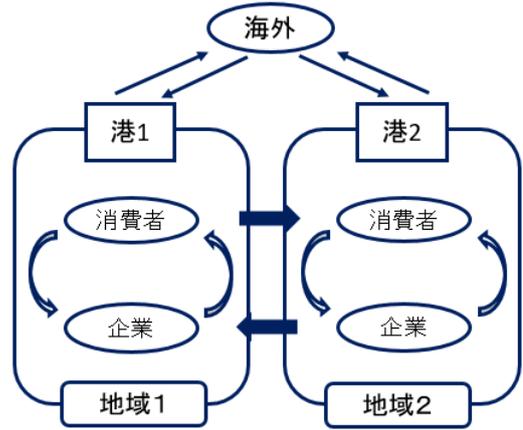


図-1 想定する社会構造

(2) 家計

家計は国内で生産される国内財と海外で生産される海外財を消費するものとする。本研究では国内地域を2地域設定し、それぞれの地域で財を生産している。また海外財に関しても、国内へ輸入される際利用する港湾によって輸入経路が異なる。そのため家計の効用を検討する際には、家計の消費行動を2階層に分けて考える必要がある。下位階層では、各地域産の財や輸入経路の異なる海外財の消費量を定式化する。下位階層で消費された国内財を国内合成財、海外財を海外合成財とみなす。上位階層では、国内合成財と海外合成財を消費することで得られる効用を定式化する。2階層に分けられる家計の消費行動は図-2のように表される。

まず、下位階層の国内財消費に関する支出最小化問題

$$\min_{\{c_{ji}\}} Q_i C_i = \sum_{j \in I} q_j c_{ji} \quad (1)$$

subject to

$$C_i = \delta_A \left(\sum_{j \in I} \alpha_{Aji} c_{ji}^{\frac{\sigma_A - 1}{\sigma_A}} \right)^{\frac{\sigma_A}{\sigma_A - 1}} \quad (2)$$

を解くと、

$$c_{ji} = \left(\frac{\alpha_{Aji}}{q_j} \right)^{\sigma_A} Q_i^{\sigma_A} \delta_A^{\sigma_A - 1} C_i \quad (3)$$

が導出される。ここで、

Q_i : 地域 $i (\in I)$ の国内合成財価格

C_i : 地域 $i (\in I)$ の国内合成財消費量

q_j : 地域 $j (\in I)$ 産財の価格

c_{ji} : 地域 $i (\in I)$ における地域 $j (\in I)$ 産財の消費

δ_A : スケールパラメータ

α_{Aji} : シェアパラメータ

σ_A : 代替弾力性

である。

海外財消費、すなわち輸入財に対する消費に関しては、利用港湾によってラベル付けされた経路ごとに輸送費用が異なり、輸送費に依存して経路選択確率が変化する。本モデルでは、logit 型の経路選択行動を仮定する。地域 i での輸入財消費のうち、地域 $k (\in I)$ の港湾を介する経路を利用する需要量 $c_{mk,i}$ は、

$$c_{mk,i} = \frac{\exp(-\delta_B p_{mk,i})}{\sum_{k \in I} \exp(-\delta_B p_{mk,i})} C_{ROWi} \quad (4)$$

と表される。国内地域 i における輸入財の価格指数 p_{ROWi} は、logit モデルの期待不効用に相当するログサム変数により、

$$p_{ROWi} = \ln \sum_{k \in I} \exp(-\delta_B p_{mk,i}) \quad (5)$$

と定義される。

ここで、

C_{ROWi} : 海外合成財消費量

$p_{mk,i}$: 地域 k の港湾を経由する海外財の需要地価格

δ_B : 輸送費用感度パラメータ

を表す。

最後に、効用関数の上位階層について効用最大化問題、

$$\max_{C_i, C_{ROWi}} U_i = \delta_C \left(\alpha_C C_i^{\frac{\sigma_C - 1}{\sigma_C}} + \alpha_{CROWi} C_{ROWi}^{\frac{\sigma_C - 1}{\sigma_C}} \right)^{\frac{\sigma_C}{\sigma_C - 1}} \quad (6)$$

subject to

$$I \geq Q_i C_i + p_{ROWi} C_{ROWi} \quad (7)$$

を解くと、国内合成財消費の需要関数

$$C_i = \left(\frac{\alpha_C}{Q_i} \right)^{\sigma_C} \delta_C^{\sigma_C - 1} \left(\alpha_C^{\sigma_C} Q_i^{1 - \sigma_C} + \beta_C^{\sigma_C} p_{ROWi}^{1 - \sigma_C} \right)^{-1} I \quad (8)$$

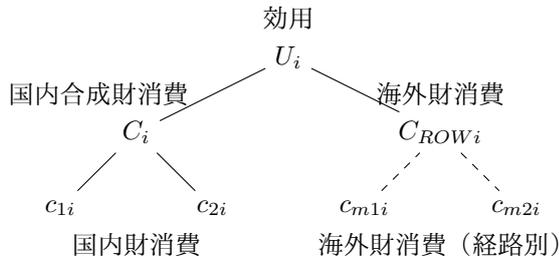


図-2 家計の消費行動 (2 地域の例)

と、海外合成財消費の需要関数

$$C_{ROWi} = \left(\frac{\beta_C}{p_{aROWi}} \right)^{\sigma_C} \cdot \delta_C^{\sigma_C - 1} (\alpha_C^{\sigma_C} Q_i^{1 - \sigma_C} + \beta_C^{\sigma_C} p_{aROWi}^{1 - \sigma_C})^{-1} I(9)$$

が導出される。ここで、

- U_i : 効用
 - I : 家計の所得
 - δ_C : スケールパラメータ
 - α_C, β_C : シェアパラメータ
 - σ_C : 代替弾力性
- を表す。

(3) 企業

企業は国内財生産のために労働力と国内、海外産の中間投入財を投入することとする。企業の財生産活動についても 2 階層の技術を想定する。下位階層では国内地域からの中間投入財を投入することで国内中間合成財を生産すると考える。海外中間投入財についても同様に考える。上位階層では下位階層で生産した国内中間合成財と海外中間合成財、労働力を投入することで国内財を生産する。企業の財生産行動は図-3 のように表される。

まず、下位階層の国内中間投入合成財生産について、費用最小化問題

$$\min_{x_{aji}} Q_{ai} X_{ai} = \sum_{j \in I} q_j x_{aji} \quad (10)$$

subject to

$$X_{ai} = \delta_D \left(\sum_j \alpha_{Dji} x_{aji}^{\frac{\sigma_D - 1}{\sigma_D}} \right)^{\frac{\sigma_D}{\sigma_D - 1}} \quad (11)$$

を解いて、生産地別中間財 x_{aji} の需要関数を導出する。

$$x_{aji} = \left(\frac{\alpha_{Dji}}{q_j} \right)^{\sigma_D} \delta_D^{\sigma_D - 1} Q_{ai}^{\sigma_D} X_{ai} \quad (12)$$

ここで、

- Q_{ai} : 地域 i 企業の国内中間投入合成財の価格指数
- X_{ai} : 地域 i 企業の国内中間投入合成財投入
- δ_D : スケールパラメータ
- α_{Dji} : シェアパラメータ

σ_D : 代替弾力性

である。

次に海外財中間投入の、利用経路別需要を導出する。消費と同様に、logit 型の経路選択行動を仮定すると、地域 i での輸入財中間投入のうち、地域 $k (k \in I)$ の港湾を介する経路を利用する需要量 $x_{mk,i}$ は、

$$x_{mk,i} = \frac{\exp(-\delta_E p_{mk,i})}{\sum_{k \in I} \exp(-\delta_E p_{mk,i})} X_{ROWi} \quad (13)$$

であり、国内地域 i における海外財中間投入の価格指数 p_{aROWi} は、

$$p_{aROWi} = \ln \sum_{k \in I} \exp(-\delta_E p_{mk,i}) \quad (14)$$

である。ここで、

- $x_{mk,i}$: 地域 i 企業による地域 k の港湾を経由する海外財中間投入
 - δ_E : スケールパラメータ
- である。

最後に、地域 i 企業の国内財生産の上位階層について、以下の費用最小化問題

$$\min_{X_{ai}, X_{ROWi}, L_i} q_i X_i = Q_{ai} X_{ai} + p_{aROWi} X_{ROWi} + w_i L_i \quad (15)$$

subject to

$$X_i = \delta_F \left(\alpha_{Fai} X_{ai}^{\frac{\sigma_F - 1}{\sigma_F}} + \alpha_{FROWi} X_{ROWi}^{\frac{\sigma_F - 1}{\sigma_F}} + \alpha_{FLi} L_i^{\frac{\sigma_F - 1}{\sigma_F}} \right)^{\frac{\sigma_F}{\sigma_F - 1}} \quad (16)$$

を解いて、派生需要関数を導出する。

$$X_{ai} = \left(\frac{\alpha_{Fai}}{Q_{ai}} \right)^{\sigma_F} \delta_F^{\sigma_F - 1} q_i^{\sigma_F} X_i \quad (17)$$

$$X_{ROWi} = \left(\frac{\alpha_{FROWi}}{p_{aROWi}} \right)^{\sigma_F} \delta_F^{\sigma_F - 1} q_i^{\sigma_F} X_i \quad (18)$$

$$L_i = \left(\frac{\alpha_{FLi}}{w_i} \right)^{\sigma_F} \delta_F^{\sigma_F - 1} q_i^{\sigma_F} X_i \quad (19)$$

ここで、

- X_i : 地域 i 企業の国内財生産
 - w_i : 地域 i の労働価格
 - L_i : 地域 i 企業への労働投入
 - δ_F : スケールパラメータ
 - $\alpha_{Fai}, \alpha_{FROWi}, \alpha_{FLi}$: シェアパラメータ
 - σ_F : 代替弾力性
- を表す。

(4) 港湾

港湾による港湾サービス生産についても家計、企業と同様に、最適化行動として定式化する。本研究では港湾サービス生産に必要なのは港湾立地地域からの労働と国内からの中間投入のみとする。港湾サービス生産活動も、合成中間投入財と労働を投入する上位階層

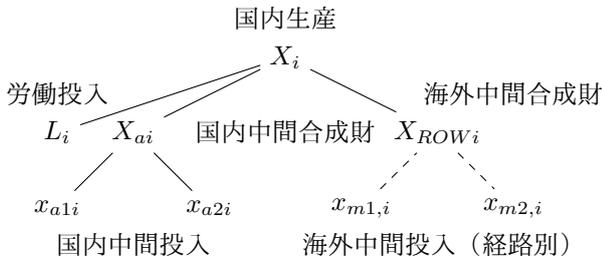


図-3 企業の生産ツリー (2 地域の例)

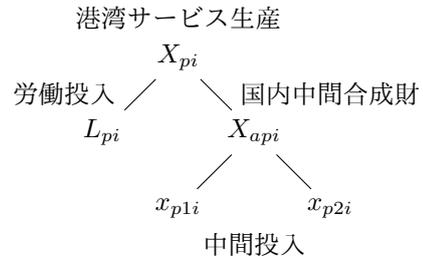


図-4 港湾サービス生産の技術 (2 地域の例)

と、地域別中間財から合成中間投入財を構成する下位階層に分かれた階層構造 (図-4) を想定する。

下位階層については、

$$\min_j Q_{pi} X_{pi} = \sum_j q_j x_{pji} \quad (20)$$

subject to

$$X_{api} = \delta_G \left(\sum_j \alpha_{Gj} x_{pji}^{\frac{\sigma_G-1}{\sigma_G}} \right)^{\frac{\sigma_G}{\sigma_G-1}} \quad (21)$$

より、

$$x_{pji} = \left(\frac{\alpha_{Gj}}{q_j} \right)^{\sigma_G} \delta_G^{\sigma_G-1} Q_{pi}^{\sigma_G} X_{api} \quad (22)$$

が導出される。ここで、

- Q_{pi} : 地域 i の港湾による中間投入合成財価格
- X_{api} : 地域 i の港湾による中間投入合成財投入
- x_{pji} : 地域 i の港湾による地域 j 産の中間財投入
- δ_G : スケールパラメータ
- α_{Gj} : シェアパラメータ
- σ_G : 代替弾力性

を表す。

次に上位階層の港湾サービス生産を費用最小化問題として導出する。

$$\min P_{pi} X_{pi} = Q_{pi} X_{api} + w_i L_{pi} \quad (23)$$

subject to

$$X_{pi} = \delta_H \left(\alpha_{HX} X_{api}^{\frac{\sigma_H-1}{\sigma_H}} + \alpha_{HL} L_{pi}^{\frac{\sigma_H-1}{\sigma_H}} \right)^{\frac{\sigma_H}{\sigma_H-1}} \quad (24)$$

より、

$$X_{api} = \left(\frac{\alpha_{HX}}{q_i} \right)^{\sigma_H} \delta_H^{\sigma_H-1} P_{pi}^{\sigma_H} X_{pi} \quad (25)$$

$$L_{pi} = \left(\frac{\alpha_{HL}}{w_i} \right)^{\sigma_H} \delta_H^{\sigma_H-1} P_{pi}^{\sigma_H} X_{pi} \quad (26)$$

の 2 式が導出される。ここで、

- P_{pi} : 港 i の港湾サービスの価格
- X_{pi} : 港 i の提供する港湾サービス
- L_{pi} : 港 i への労働投入
- δ_H : 港湾サービス効率性パラメータ
- α_{HX}, α_{HL} : シェアパラメータ
- σ_H : 代替弾力性

を表す。

(5) 輸出入の港湾サービス

輸出入を経て国内外に取引される財は生産国での価格と需要地での価格は異なる。貿易財は取引される際に港湾を経由するため、港湾サービスを必要とする必要があり、需要者はその費用を負担しなければならない。本モデルでは需要地価格を、財生産地価格と港湾輸送サービス費用の和として定義する。

海外産の輸入財を国内で需要する際に、經由港湾が提供する港湾サービスを消費しなければならない。本モデルでは、輸入量に対して一定割合の港湾サービス消費が必要と考える。地域 j の港湾を経由する海外財の単位輸入量あたりに必要とされる港湾サービス需要を μ_{Mj} とする。したがって、輸入に伴う地域 j の港湾サービス需要 D_{Mj} は、

$$D_{Mj} = \mu_{Mj} \left\{ \sum_i (c_{mj,i} + x_{mj,i}) \right\} \quad (27)$$

となる。

海外財の世界価格 (外生) を p_W とおくと、国内地域 i において 1 単位の輸入財を需要するためには、世界価格に加えて港湾サービス需要への対価を支払わなければならない。地域 k の港湾を利用する経路の場合、1 単位の財需要に対し $P_{pk} \mu_{Mj}$ の港湾サービス需要額が必要となり、これは実質的には需要地価格 $p_{mk,i}$ が、

$$p_{mk,i} = p_W + \mu_{Mj} P_{pk} \quad (28)$$

となることを意味する。

国内財の輸出においても、經由港湾が提供する港湾サービスを消費しなければならない。本モデルでは、輸出量に対して一定割合の港湾サービス消費が必要と考える。地域 k の港湾を経由して輸出される国内財の単位輸出量あたりに必要とされる港湾サービス需要を μ_{Ek} とする。輸入と同様に、国内地域 i で生産された 1 単位の財を輸出するためには、生産地価格 q_i に加えて港湾サービス需要への対価を支払わなければならない。地域 i 産の財が地域 k の港湾を利用する経路で輸出される場合、ROW 経済にとっては、1 単位の財需要に対し $P_{pk} \mu_{Ej}$ の港湾サービス需要額が必要となる。すなわち、

実質的には海外での需要地価格 $p_{ek,i}$ が,

$$p_{ek,i} = q_i + \mu E_j P_{pk} \quad (29)$$

となる。

輸出港湾選択においても輸入と同様に logit 型の経路選択を仮定する。地域 i で生産された国内財が、地域 $k(k \in I)$ の港湾を介する経路を利用して輸出される需要量 $x_{ek,i}$ は、

$$x_{ek,i} = \frac{\exp(-\delta_Z p_{ek,i})}{\sum_{k \in I} \exp(-\delta_Z p_{ek,i})} E_i \quad (30)$$

と表される。なお、 E_i は、海外 (ROW) による地域 i 産財に対する輸出需要である。したがって、輸出に伴う地域 j の港湾サービス需要 D_{Ej} は、

$$D_{Ej} = \mu E_j \sum_i (x_{ej,i}) \quad (31)$$

となる。

(6) 市場均衡

本モデルにおいて需給均衡を考慮すべき市場は、労働 (生産要素) 市場、国内財市場、港湾サービス市場の 3 つである。

労働市場について、各地域における労働需要は財生産への労働投入需要と港湾サービス生産への労働投入需要の和であり、地域の労働力賦存量 \tilde{L}_i との均衡状態は、

$$L_i + L_{pi} = \tilde{L}_i \quad \forall i \quad (32)$$

と表される。

国内財市場について、地域 j で生産される財は国内各地域の家計、企業、港湾および、ROW によって需要される。したがって、財市場均衡は、

$$X_j = \sum_i (c_{ji} + x_{aji} + x_{pji}) + E_j \quad \forall j \quad (33)$$

となる。

港湾サービスは、輸入と輸出において財が当該港湾を経由する際に需要される。

$$X_{pi} = D_{Ei} + D_{Mi} \quad \forall i \quad (34)$$

海外 (ROW) 経済が国内地域 i で生産された財を需要するにあたり、複数の輸出経路があり、経路選択が logit モデルで表されているので、輸出財の海外における価格指数 r_{ROWi} は、輸入と同様に logit モデルの期待不効用に相当するログサム変数により、

$$r_{ROWi} = \ln \sum_{k \in I} \exp(-\delta_Z p_{ek,i}) \quad (35)$$

と表される。前述の ROW による国内地域財に対する需要は、この価格指数 r_{ROWi} に依存する需要関数として表す。

$$E_i = f(r_{ROWi}) \quad (36)$$

4. 今後の展望

本研究は、従来の一般均衡モデルに明示的に港湾ネットワークを組み込むことで、輸送費の変化に伴う港湾選択を考慮した多地域開放経済モデルを構築した。本稿では、モデルの理論的な枠組みと定式化のみを示したが、数値シミュレーションを通じた港湾整備による地域経済への影響についての考察は、講演時に示す。

参考文献

- 1) 日本船主協会：日本の海運 SHIPPING NOW 2020-2021, <https://www.jsanet.or.jp/data/pdf/shippingnow2020-2021.pdf>, 2020 年 9 月 30 日閲覧
- 2) 水谷誠, 太田隆史：政策効果の分析システムに関する研究 2 -港湾投資の効果計測に関する分析-, 国土交通政策研究, 第 40 号, 2004.
- 3) 渡部富博, 樋口直人, 森川雅行：国際コンテナ輸送における荷主の港湾・ルート選択モデル ～日本ー北米西岸貨物について～, 土木計画学研究・論文集, No.17, 2000.

(2020. 10. 2 受付)