

国際物流における海運と航空の代替性と競争の進展*

Substitution and Competition between Maritime Transport and Air Transport in International Freight Transport Market*

石黒一彦**

By Kazuhiko ISHIGURO**

1. はじめに

国際物流市場においては、海運や航空を利用した多様なサービスが提供されるようになってきた。かつては海運と航空の間には輸送時間と運賃において決定的な差が存在していたため、代替性はほとんどないような状況であったが、最近では同じ荷主の同じ商品であっても、ケースバイケースで双方の輸送手段が選択されることが多くなっている。本研究では、荷主の海運と航空の輸送手段選択に与える要因を考察した上で、従来の輸送手段選択モデルや輸送経路選択モデルを概観し、それらが海運と航空の間の輸送手段選択に適用可能かどうかを検討する。さらに、海運と航空を考慮した国際物流モデルの提案を行う。

2. 現状の輸送手段シェアと輸送サービス

重量ベースで日本の貿易を見ると、輸出入ともに航空の占めるシェアは1%に満たないが、金額ベースでは様相が異なる。日本の輸出入における金額ベースでの輸送手段のシェアを図-1,2 に示す。輸出入とも、航空のシェアは約30%である。輸出においては、コンテナ船がシェアを低下させる傾向にある一方で、航空がシェアを上昇させている。コンテナ船は1990年代前半には50%以上のシェアを占めていたが、その一部を航空に奪われたものと推察される。輸入においては、昨今の資源価格上昇の影響を受け、コンテナ船、航空ともにシェアを低下させており、両者の差はここ数年10%弱である。貿易総額が増加しているため、輸送額はコンテナ船、航空ともに増加させている。

フォワーダーへのヒアリング調査等から得られた、輸送手段別の運賃指数および所要日数を表-1 に示す。ここで運賃指数は、仕向地ごとに航空輸送による最も運賃の高いサービス（航空最上級）の運賃を100とした場合の

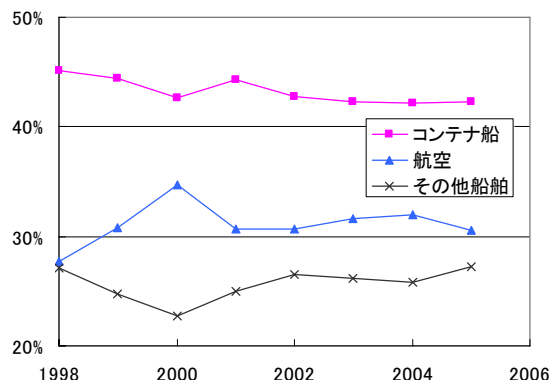


図-1 日本の輸出における輸送手段シェア（金額ベース）

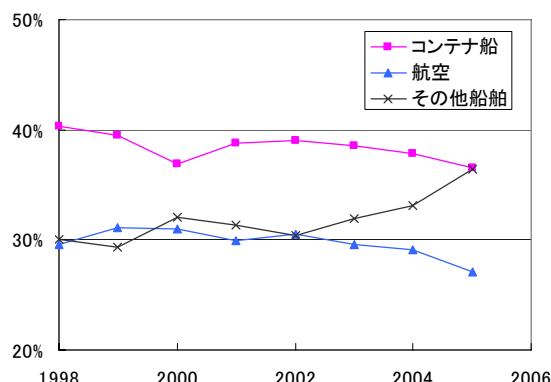


図-2 日本の輸入における輸送手段シェア（金額ベース）

相対的な数値で表現している。欧米向けでは、航空最上級とFCLコンテナ輸送とで4~6倍、マレーシア向けでは約30倍の運賃の差がある。運賃と輸送時間は荷主の最も関心の高い要因であり、これらの継続的な把握が必要である。

3. 国際物流における輸送手段選択モデル

従来、物流の輸送手段選択に適用されてきたモデルには、ロジックモデルやプロビットモデルに代表される確率論的モデルと犠牲量モデルに代表される確定論的モデルがある。いずれのモデルにおいても、各荷主が運賃や輸送時間、その他特殊要因等を考慮した輸送の一般化費用を最小化するものとして定式化されることが多い。この考え方自体は否定されるものではないが、適用のため

*キーワード：港湾計画，空港計画，物流計画

**正員，修(情報)，神戸大学海事科学部

(神戸市東灘区深江南町5-1-1, Tel/FAX: 078-431-6314,

E-mail: ishiguro@maritime.kobe-u.ac.jp)

表-1 輸送手段別運賃指数および所要日数

輸送手段 仕向地	航空最上級		航空廉価		コンテナ船 LCL		コンテナ船 FCL	
	運賃指数	所要日数	運賃指数	所要日数	運賃指数	所要日数	運賃指数	所要日数
シカゴ	100	1	70	2	30	13	25	13
フランクフルト	100	2	54	3	25	28	15	28
コペンハーゲン	100	2	62	3	28	29	21	29
マレーシア	100	1	90	2	6	15	3	15

出典：2005年から2006年にかけての大手フォワダーへのヒアリング調査による。

の詳細なデータが得られないことが多く、結果的に精度の高いモデル開発が困難となっている。

岡本¹⁾、花岡ら²⁾、黒田ら³⁾、上野ら⁴⁾、竹林ら⁵⁾は主に全国輸出入コンテナ貨物流動調査等のデータを用いて、荷主の輸送経路選択モデルを構築し適用している。いずれも対象は国際海上コンテナ貨物であり、海運と航空との選択は考慮していないが、モデル中の一般化費用の表現や効用関数は、どのような輸送手段にも適用可能な形式となっており、海運と航空の選択モデルにも拡張可能である。しかしながら、精度の向上は依然として課題として残っている。

物流における輸送手段選択を予測する場合、相対的にデータが少ない場合には確率論的モデルを利用せざるを得ず、相対的にデータが多い場合には確定論的モデルを利用すべきである。物流は経済活動の一部であり、そこに大きな無駄を抱える企業は淘汰されるため、大半の物流活動は合理的に行われている。個別企業の個別商品の輸送においては、それぞれ一定期間に渡って同じ輸送手段が利用されているなど、個々の輸送は確定的に輸送手段が決められている。これは国土交通省東北地方整備局⁶⁾の調査結果から推察可能である。

宮下⁸⁾は各製品のプロダクトサイクルの段階に応じて製品の輸送手段が異なることを、海外直接投資によって最終組み立て拠点を海外に設立する場合を例に挙げて示している。海外に進出する企業は、まず①販売拠点を作るための直接投資を開始し、次に②現地への技術移転と生産業務のマニュアル化を達成した後に、③現地生産のための直接投資へと移行する。①の段階では輸送量が少なく、迅速性が要求されるため、航空が利用される一方で、海運はほとんど利用されない。②の段階になり現地生産が軌道に乗り始めると、運賃の高い航空を利用してまで迅速な輸送を行う必要性が低くなり、コンテナ船の利用が増加する。更に③の段階になり、より合理的生産が実施されるようになると、商品を組み立てる部品や付属品の多様な組み替えを伴った標準化品の差別化が実施される。この段階においては航空の利用が減少する一方でコンテナ船の利用が増加する。これらの段階を経て、プロダクトサイクルの最終段階になると、この製品に関する貿易がなくなることとなる。

プロダクトサイクルの段階ごとに、製品の価格はそれほど大きく異なるわけではないにもかかわらず、輸送手段が異なることは重要な視点である。同じような製品であっても、小ロットで迅速性が要求される場合と、大ロットで安定供給されれば十分である場合とで、利用される輸送手段が異なる。この視点は先に挙げた従来の輸送経路選択モデルでは考慮されていないものであり、今後は貿易されている品目ごと、相手国ごとに、プロダクトサイクルを把握し、考慮することが可能なモデル開発が求められる。

4. 多地域応用一般均衡体系によるモデル化

筆者はこれまで海運業の行動を考慮した多地域応用一般均衡モデルを開発してきた。それらを改良し、複数輸送手段を考慮したモデルを以下に提案する。

(1) 仮定

本研究では、輸送業も含めた各産業の生産関数および家計の効用関数として、各財の価格変化による投入構造変化を比較的簡単な手法で考慮可能な一次同次 Cobb-Douglas 型関数を採用する。一般的に、生産関数においては生産要素投入の代替のみを考え、中間投入財間の代替は考慮しないが、本研究では主に輸送業の生産構造変化を通じた財価格の変化の影響分析も行えるモデルを構築するため、中間投入財間の代替も考慮している。生産関数を式(1)に示す。生産者は利潤最大化行動を行い、家計は所得制約下の効用最大化行動を行うものとする。

$$X_j^s = \eta_j^s \prod_i (\prod_r (x_{ij}^{rs})^{\alpha_{ij}^{rs}}) (K_j^s)^{\alpha_{kj}} (L_j^s)^{\alpha_{lj}} \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_r \alpha_{ij}^{rs} + \alpha_{kj} + \alpha_{lj} = 1$$

X_j^s : s 国 j 産業の生産量

x_{ij}^{rs} : s 国 j 産業の r 国産 i 財の投入量

K_j^s : s 国 j 産業の資本投入量

L_j^s : s 国 j 産業の労働投入量

η_j^s : 生産性パラメータ

α : 分配パラメータ

財の輸送主体として、国際海運と国際航空と各国内の国内輸送業を考慮する。国際輸送はすべて国際海運と国際航空が行い、国内輸送はすべて各国の国内輸送業が行うものとする。国際海運と国際航空は各国の資本と労働を固定的に利用して輸送サービス生産を行い、資本のレントと労働の賃金はそれらの帰属国の比率に応じて各国に移転される。

その他、以下の仮定を置く。

- 資本と労働の国際移動は考えない。労働は産業間を自由に移動できるが、資本は産業間の移動もできない。
- 政府は法人税、所得税、間接税を徴収し、それを財源として政府支出を行う。政府も家計と同様に効用最大化行動を行うものとし、効用関数形は Cobb-Douglas 型とする。
- 法人税率および所得税率は各国において外生的に与えられる。間接税額は各国各産業において外生的に与えられる。
- 最終需要項目としては家計消費支出、政府支出、固定資本形成を考慮する。
- 同一財でも生産地が異なれば別の財と見なす。
- ROW 産財の生産者価格は一定とする。
- 各国産各財の ROW への輸出量は一定とする。

(2) 均衡体系

各輸送業は与えられた輸送需要に対して輸送サービスを供給する際に費用最小化行動を行い、結果として運賃が決定されるものとする。他の産業と同様の定式化が可能となる。輸送業、生産者、消費者の行動を定式化することにより、以下の均衡体系が導かれる。

(財生産)

$$X_i^r = \sum_j \sum_s \frac{\alpha_{ij}^{rs} (p_j^s X_j^s - IT_j^s)}{p_i^r + c_{ij}^{rs}} + \sum_k \sum_s \frac{\beta_{ik}^{rs} W_k^s}{p_i^r + c_{ik}^{rs}} + \frac{\alpha_{iT_0} p_{T_0} X_{T_0} + E_i^r}{p_i^r} \quad (2)$$

$$\sum_i X_i^R = \sum_i \left(\sum_j \sum_s \frac{\alpha_{ij}^{Rs} (p_j^s X_j^s - IT_j^s)}{1 + c_{ij}^{Rs}} + \sum_k \sum_s \frac{\beta_{ik}^{Rs} W_k^s}{1 + c_{ik}^{Rs}} \right) \quad (3)$$

$$p_j^s = \frac{1}{\eta_j^s} \prod_i \prod_r \left(\frac{p_i^r + c_{ij}^{rs}}{\alpha_{ij}^{rs}} \right)^{\alpha_{ij}^{rs}} \left(\frac{\rho_j^s}{\alpha_{Kj}^s} \right)^{\alpha_{Kj}^s} \left(\frac{\omega_j^s}{\alpha_{Lj}^s} \right)^{\alpha_{Lj}^s} \quad (4)$$

(要素)

$$\rho_j^s K_j^s = \alpha_{Kj}^s (p_j^s X_j^s - IT_j^s) \quad (5)$$

$$\omega_j^s \sum_j L_j^s = \sum_j \alpha_{Lj}^s (p_j^s X_j^s - IT_j^s) \quad (6)$$

(財消費)

$$W_1^s = (1 - \sigma^s) \left[(1 - \tau_k^s) \sum_j \rho_j^s K_j^s + (1 - \tau_L^s) \omega^s \sum_j L_j^s + TR^s \right] \quad (7)$$

$$W_2^s = \tau_k^s \sum_j \rho_j^s K_j^s + \tau_L^s \omega^s \sum_j L_j^s + \sum_j IT_j^s \quad (8)$$

$$W_3^s = \sigma^s \left[(1 - \tau_k^s) \sum_j \rho_j^s K_j^s + (1 - \tau_L^s) \omega^s \sum_j L_j^s + TR^s \right] \quad (9)$$

(国際海運)

$$\sum_j \sum_k \sum_s \sum_i \sum_r (c_{ij}^{rs} X_{ij}^{rs} + c_{ik}^{rs} W_{ik}^{rs}) = p_{T_0} X_{T_0} \quad (r \neq s) \quad (10)$$

$$c_{ij}^{rs} = m_i^r d^{rs} p_{T_0} \quad (r \neq s) \quad (11)$$

$$p_{T_0} = \frac{1}{\eta_{T_0}} \prod_i \prod_r \left(\frac{p_i^r}{\alpha_{iT_0}^r} \right)^{\alpha_{iT_0}^r} \left(\frac{\rho_{T_0}}{\alpha_{KT_0}} \right)^{\alpha_{KT_0}} \left(\frac{\omega_{T_0}}{\alpha_{LT_0}} \right)^{\alpha_{LT_0}} \quad (12)$$

(国際航空)

$$\sum_j \sum_k \sum_s \sum_i \sum_r (c_{ij}^{rs} X_{ij}^{rs} + c_{ik}^{rs} W_{ik}^{rs}) = p_{T_a} X_{T_a} \quad (r \neq s) \quad (13)$$

$$c_{ij}^{rs} = m_i^r d^{rs} p_{T_a} \quad (r \neq s) \quad (14)$$

$$p_{T_a} = \frac{1}{\eta_{T_a}} \prod_i \prod_r \left(\frac{p_i^r}{\alpha_{iT_a}^r} \right)^{\alpha_{iT_a}^r} \left(\frac{\rho_{T_a}}{\alpha_{KT_a}} \right)^{\alpha_{KT_a}} \left(\frac{\omega_{T_a}}{\alpha_{LT_a}} \right)^{\alpha_{LT_a}} \quad (15)$$

(国内輸送)

$$\sum_j \sum_k \sum_i (c_{ij}^{ss} X_{ij}^{ss} + c_{ik}^{ss} W_{ik}^{ss}) = p_{T_c} X_{T_c} \quad (16)$$

$$c_{ij}^{ss} = m_i^s d^{ss} p_{T_c} \quad (17)$$

$$p_{T_c} = \frac{1}{\eta_{T_c}} \prod_i \prod_r \left(\frac{p_i^r + c_{ij}^{rs}}{\alpha_{iT_c}^r} \right)^{\alpha_{iT_c}^r} \left(\frac{\rho_{T_c}}{\alpha_{KT_c}} \right)^{\alpha_{KT_c}} \left(\frac{\omega_{T_c}}{\alpha_{LT_c}} \right)^{\alpha_{LT_c}} \quad (18)$$

X_j^s : s 国 j 産業の生産量

X_{T_0} : 国際海運サービス生産量

X_{T_a} : 国際航空サービス生産量

$X_{T_c}^s$: 国内輸送サービス生産量

x_{ij}^{rs} : s 国 j 産業の r 国産 i 財の投入量

K_j^s : s 国 j 産業の資本投入量

L_j^s : s 国 j 産業の労働投入量

p_j^s : s 国産 j 財の生産者価格

c_{ij}^{rs} : s 国 j 産業における r 国産 i 財の投入に要する輸送費

p_{T_0} : 国際海運の単位重量距離あたり運賃

p_{T_a} : 国際航空の単位重量距離あたり運賃

$p_{T_c}^s$: 国内輸送の単位重量距離あたり運賃

ρ_j^s : s 国 j 産業の資本の賃貸料

ω^s : s 国の労働者の賃金

y_{ik}^{rs} : r 国産 i 財の s 国最終需要項目 k の消費量
 W_k^s : s 国最終需要項目 k の消費可能額
 (k= 1 : 家計消費支出, 2 : 政府消費支出,
 3 : 固定資本形成)
 τ_k^s : 資本所得に対する税率 (法人税)
 τ_L^s : 賃金に対する税率 (所得税)
 Π_j^s : s 国 j 産業に対する間接税額
 σ^s : s 国の家計の貯蓄率
 TR^s : s 国の純移転所得
 E_i^r : r 国 i 産業の R.O.W. への輸出量
 m_i^r : r 国産 i 財の単位量あたりの重さ
 d^{rs} : rs 間の距離
 α, β, η : パラメータ

(3) 輸送手段選択行動

前節で提案したモデルでは、荷主の輸送手段選択行動は表現されていない。品目ごとに、単価とプロダクトサイクルに関する情報を与えることにより、確定論的に各輸送手段の輸送量が求まる。一方の輸送手段の運賃や所要時間が短縮した場合、輸送手段選択行動の結果としてその輸送手段の輸送量が増加するが、全体の貿易量の増加をももたらす。双方の輸送手段が同程度の運賃低下を実現した場合には、全体の貿易量は増加するが、輸送シェアは変化しないこともあり得る。

(4) 適用例

適用例については講演会において示す。

5. まとめ

本研究では、従来の輸送経路選択モデルを海運と航空の輸送手段選択に応用する場合の問題点を示した上で、多地域応用一般均衡モデルによる海運と航空の輸送手段分担の考え方を整理した。しかし、現段階では複数輸送手段の代替性を考慮するまでには至っていないため、今後引き続きモデルの改良を進める。

参考文献

- 1) 岡本直久：中核国際港湾整備の効果と今後の方向，運輸政策研究，Vol.2, No.3, pp.2-8, 1999.
- 2) 花岡伸也，石黒一彦，菊地竜也，稲村肇：業種別の貨物流動からみた国際コンテナ貨物取扱荷主の港湾選択行動分析，土木計画学研究・論文集，No.17, pp.835-840, 2000.
- 3) 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，No.667/IV-50, pp.123-136, 2001.
- 4) 上野潤，岡本直久：時系列データを用いた国際コンテナ荷主の行動と貨物流動予測分析，交通学研究 2002 年研究年報，pp.61-70, 2003.
- 5) 竹林幹雄，黒田勝彦，金井仁志，原進悟：グローバル・アライアンス間の競争を考慮した国際コンテナ貨物輸送市場モデルの開発とその適用，土木学会論文集，No.800/VI-69, pp.51-66, 2005.
- 6) 国土交通省東北地方整備局：港湾利用者意識調査報告書，2006.
- 7) 運輸省第一港湾建設局秋田港湾工事事務所：秋田港外貿コンテナ利用者動向意識調査報告書，2000.
- 8) 宮下國生：日本物流業のグローバル競争，千倉書房，2002.
- 9) 宮下國生：グローバル・ロジスティクスにおける競争優位性，海運経済研究，No.38, pp.1-10, 2004.