

# 東アジア圏との国際貨物輸送機関分担に関する一考察

正員 山 田 忠 史\*      正員 濱 田 邦 裕\*\*  
正員 北 村 充\*\*      飯 田 誠\*\*\*

Development of a mode split model in international freight transport between Japan and East Asian countries

by Tadashi Yamada, *Member*      Kunihiro Hamada, *Member*  
Mitsuru Kitamura, *Member*      Makoto Iida

## Summary

It is crucial for the shipbuilding industry to develop the new types of ships that can enlarge the share of ships in the freight transport market. In order to address this problem, it would be useful to develop computer-based decision making models including the decision making of cargo owners, shipping companies and the shipbuilding industries.

In this paper, the decision making of cargo owners is modeled using an aggregate logit model within the framework of freight transport mode choice problem between Japan and East Asian countries. The model is then validated using an international logistics database which deals with the mode share between ships and airplanes, and sensitivity analyses are also undertaken in freight charge and travel speed. Results indicate that the model developed can offer the good performance with its parameter values being appropriately estimated as well as that the mode share of ships are influenced by their freight charges and speeds.

## 1. 結 言

現在, 日本の造船業をとりまく環境は大きく変化している。これまで, 日本の造船業は高度な生産技術により, 品質, 工期, コストの全ての面で優位性を保ってきた。しかし, 東南アジアや中国・韓国の追い上げは, 安い人件費がそのベースにあり, コスト面での優位性は失われつつある。このために, 単なるコスト競争は造船・舶用工業の将来に禍根を残し, また低収益では事業者にとっても, 技術の発展にとっても, 泥沼に陥り込む恐れがあると指摘されている<sup>1)</sup>。

このような状況においては, 日本に蓄積されている高度技術の利用が有効であると考えられる。船舶のみを建造するコストは不利であっても, 荷主や船社にトータルで効率の良い提案が示せば, 船舶の建造のみではなく, その後 10~20 年のメンテナンスまで, 長期の収益を望める有望な市場が生まれる。その際, 輸送需要を考慮した船舶設計が行われれば, 船社に船型を提示することができ, 造船業のみではなく船社にとっても有益である。

今後日本の造船業が継続的に発展するためには, コスト競

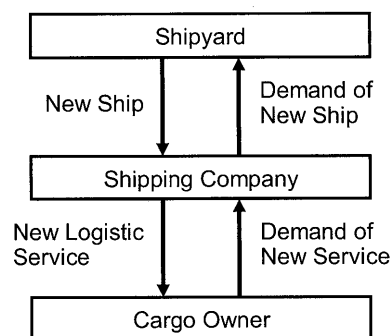


Fig.1 Relations between decision makings

争のみではなく, 船価が高くともそれに見合ったメリットを持つもの, すなわち船社のロジスティクス計画を視野に入れた高付加価値な船舶の開発・実用化を精力的に推進する必要があるものと思われる。

このような船舶の開発を実現するためには, 荷主, 船社および造船業の意思決定を総合的に考慮し, 開発する船舶の需要推定に基づく船舶の仕様決定を支援することが重要と考えられる。その際, 造船業・船社・荷主の意思決定問題をシステム工学的手法によって計算機内部にモデル化することが有効である。モデルの構造として, 例えば, Fig.1 のようなものが考えられる。

本研究では, Fig.1 における荷主の意思決定に注目し, 荷主の意思決定を輸送機関分担の枠組みで表現することによ

\* 京都大学大学院工学研究科

\*\* 広島大学大学院工学研究科

\*\*\* 広島大学大学院工学研究科 (研究当時)

原稿受理 平成 18 年 12 月 18 日

り、船舶と航空機の貨物輸送需要推定手法について検討する。具体的には、わが国と東アジア地域の貨物輸送に関するデータを使用して、集計ロジットモデルに基づく輸送機関分担モデルを構築し、その現状再現性を確認する。

## 2. 輸送機関分担モデル

### 2.1 既往研究

物流においては、品類・品目によって、商品価値や流動ロットサイズが大きく異なり、これらの要素は輸送機関選択に大きな影響を与える。したがって、輸送機関選択に関する既往の研究では、国内の詳細な物流データを基にして、機関分担とロットサイズの同時決定手法<sup>2)~4)</sup>や、品類ごとの時間価値分布に基づく機関分担モデル<sup>5)</sup>が提案されている。

本研究では船舶の仕様決定問題 (Fig.1) を見据えて荷主の輸送機関選択問題を取り扱うため、該当する船舶が運搬する貨物の種類と量を明確化することは重要である。しかし、これらの要素を直接モデルに取り込むことは、膨大かつ詳細なデータが必要になる。国内物流の詳細なデータを基にした上述の既存研究とは異なり、国際物流においては、詳細で多量なデータの取得は、実用上困難であることが多い。データ取得に関しては、仮想的な選好データの活用<sup>6)</sup>も一案であるが、意思決定の実現性などの問題が残されている。

船舶の需要推定に着目すれば、大局的な海上荷動き量に基づく手法の代表例として、小山らによるSDモデル<sup>7)</sup>や造船基盤整備事業協会の需要予測モデル<sup>8)</sup>が挙げられる。これらの研究では、品目別の海上輸送需要を推定し、これと現有船舶腹量・廃船量を考慮することにより、船種・船型毎の需要を求めている。これらの研究は、造船産業の需給のバランスの検討や造船界と海運界の相互関係における構造問題を理解する上で有用であるが、その対象は実績のある船種・船型に限られている。

一方、貨物輸送ネットワーク上の経路選択に基づく手法の代表例として、久保らの研究<sup>9,10)</sup>が挙げられる。久保らの研究では、国内物流をネットワークモデルとして表現し、犠牲量を用いて重みつき最短経路探索問題に帰着させることにより、各航路の需要推定を行っている<sup>9)</sup>。さらに、求めた需要量に基づいて、検討対象となる航路の最適な船舶主要目と航路の採算性を見積る手法を提案している<sup>10)</sup>。この研究は、需要予測と船舶の基本計画を融合した新たな研究と捉えられるが、こちらもフェリー・RORO船等の実績のある船舶を対象としている。

つまり、これまでの需要推定と需要推定に基づく船舶の仕様決定に関する研究は、実績のある船種・船型を対象としたものが多い。新規開発船舶の需要推定に関する研究は、大和

らによる研究<sup>11)</sup>があるものの、現状では研究蓄積は不十分であると考えられる。

### 2.2 モデルの概要

荷主は、商品価値、運賃、所要時間等を考慮し、提供されている他の輸送サービスも含めて、自分にとって最も有利な輸送手段を選択するものと仮定する。したがって、荷主の意思決定は、輸送機関分担問題に帰着する。

本研究では、集計ロジットモデル<sup>12)</sup>を利用して、荷主の意思決定をモデル化する。集計ロジットモデルは、機関選択をマクロに捉えたものであり、個々の荷主の輸送手段選択メカニズムを精緻に反映した手法ではない。しかし、需要予測は精度が最も確保しにくい分野であり、需要推定シミュレーションには、現実への合わせこみの容易さを確保することが重要である。このことと、国際物流に関する詳細で多量なデータ取得の困難さが、集計ロジットモデルを使用する主たる理由である。なお、本研究では、貨物輸送量の増大が著しい日本と東アジア諸国とのコンテナ物流を検討対象とする。ただし、中国のように端末輸送、すなわち、港湾・空港から国内貨物需要地までの輸送の影響が極めて強い諸国は除外する。

本研究で構築する貨物輸送機関分担モデルの特徴は以下の3点に集約される。

- 全ての品目を、財務省の貿易統計<sup>13)</sup>の内、特殊取扱品等を除く八品類に分類する。
- 集計ロジットモデルを用いて、品類および輸送相手国ごとに重量ベースの輸送機関分担率（選択率）を推定する。現行の船舶および航空機以外の輸送機関分担率、例えば、新規開発船舶の分担率は、船舶からの転換分と航空機からの転換分の和として求めることができる。
- 集計ロジットモデルの説明変数、すなわち、荷主の意思決定基準として、費用項・時間項のパラメータを有する効用関数を利用する。このパラメータを品類別に調整することによって、現状再現性を確保する。

このモデルを用いると、貯蔵性や荷姿特性などの、現実には品目ごとに違う性質も品類ごとに一定であると考えられることになるが、商品の時間による価値損失は、各品目の商品価値に比例するものとするにより、各品目の違いを取り扱うことができる。また、集計ロジットモデルを用いることにより、容易に入手可能なデータをモデルに取り込むのみで、輸送機関分担の推定が可能になる。

### 2.3 集計ロジットモデル

集計ロジットモデルは、集計化された選択結果のデータについて、ロジット型の関数を用いて説明するものである。

ロジットモデル<sup>12)</sup>は、ランダム効用理論に基づく離散選択分析の代表的なモデルであり、経済学や社会科学の分野などで広く用いられている。ランダム効用理論では、選択肢に対する選好は各選択肢の効用に依存し、最大の効用を与える選択肢が選ばれるものとする。しかし、効用は直接観測できず、かつ、効用に影響を与える各種属性を完全に観測することは困難であるため、効用は確率変数であるとする。したがって、どの選択肢が選ばれるかは、決定論的ではなく確率論的に、すなわち、各選択肢の選択確率が推定される。

本研究では、貨物輸送手段が二種類の場合の離散的選択（二項選択）を取り扱う。したがって、以下では、二項選択の場合を例にして、ロジット型選択確率の導出について簡潔に説明する。

選択肢  $j$  の効用を  $U_j$  とし、観測可能な要因による確定項を  $S_j$ 、観測不可能な要因により確率的に変動する誤差項を  $\varepsilon_j$  とする。線形性を仮定すると、選択肢  $j$  の効用  $U_j$  は以下のように表される。

$$U_j = S_j + \varepsilon_j \quad (1)$$

このとき、選択肢 1 が選ばれる確率  $P_1$  は、式(1)を用いて展開すると、以下ようになる。

$$\begin{aligned} P_1 &= \Pr[U_1 > U_2] = \Pr[S_1 + \varepsilon_1 > S_2 + \varepsilon_2] = \Pr[\varepsilon_1 + S_1 - S_2 > \varepsilon_2] \\ &= \Pr[\varepsilon_1 = \eta, \varepsilon_2 < \eta + S_1 - S_2] \quad (-\infty < \eta < \infty) \quad (2) \end{aligned}$$

したがって、 $P_1$  の式形は、誤差項の分布形に依存する。誤差項に特定の分布を仮定することによって、様々なモデルを導出できる。誤差項  $\varepsilon_j$  がすべて互いに独立で同一のガンベル分布、すなわち、

$$\psi(\eta) = \Pr[\varepsilon_j \leq \eta] = \exp[-\exp(-\eta)] \quad (3)$$

に従うと仮定した場合に導かれるモデルがロジットモデルである。誤差項は、観測不可能な要因の同時分布であることから、一般的には正規分布を仮定すべきであるが、ガンベル分布を適用する理由は、モデルの解析的取り扱いが容易で、かつ、正規分布の近似とみなせることにある。

ここで、選択肢間での誤差項の独立性を適用すると、

$$\begin{aligned} P_1 &= \Pr[\varepsilon_1 = \eta] \Pr[\varepsilon_2 < \eta + S_1 - S_2] \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi'(\eta) \psi(\eta + S_1 - S_2) d\eta \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\eta) \psi(\eta) \psi(\eta + S_1 - S_2) d\eta \quad (4) \end{aligned}$$

となる。ここで、 $\psi(\eta) \psi(\eta + S_1 - S_2)$  を  $y$  とすると、

$$\begin{aligned} P_1 &= \int_{-\infty}^{\infty} y \cdot \exp(-\eta) d\eta = \int_{y=0}^{\infty} \frac{y \cdot \exp(-\eta) dy}{y \cdot \exp(-\eta) (1 + \exp(S_1 - S_2))} \\ &= \left[ \frac{y}{1 + \exp(S_1 - S_2)} \right]_{y=0}^1 = \frac{\exp(S_1)}{\exp(S_1) + \exp(S_2)} \quad (5) \end{aligned}$$

となる。すなわち、ロジットモデルでは、選択確率が効用の絶対値ではなく、相対的な差( $S_1 - S_2$ )で決まることになる。

本研究では、運賃と商品の価値損失に基づく効用を確定項とし、輸送相手国  $i$  によって選択肢（輸送機関） $j$  の効用が相違するものとする。具体的には、以下のような効用関数を仮定する。

$$U_{ij} = \theta_1 C_{ij} + \theta_2 \{ (I + r) (T_{ij}^o + T_{ij}^w (V_{ij})) / 365 \} \cdot p + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

ここに、

- $C_{ij}$  : 輸送相手国  $i$  に輸送機関  $j$  を利用した場合の運賃 (円/kg)
- $I$  : 年利
- $r$  : 貨物の減価償却率
- $T_{ij}^o$  : 輸送相手国  $i$  に輸送機関  $j$  を利用した場合の貨物の在庫日数 (日)
- $T_{ij}^w$  : 輸送相手国  $i$  に輸送機関  $j$  を利用した場合の貨物の輸送日数 (日)
- $V_{ij}$  : 輸送相手国  $i$  に輸送機関  $j$  を利用した場合の走行速度 (km/h)
- $p$  : 貨物の商品価値 (円/kg)
- $\theta_1, \theta_2$  : パラメータ

このとき、 $\theta_2(I+r)$  をあらためて  $\theta_2$  とおくと、効用関数は以下のように簡略化される。

$$U_{ij} = \theta_1 \cdot C_{ij} + \theta_2 \cdot \{ (T_{ij}^o + T_{ij}^w) / 365 \} \cdot p + \varepsilon_{ij} \quad (7)$$

集計ロジットモデルの場合、式(7)の効用関数を用いて、式(5)の選択確率へと展開し、 $P_{1i}$  と  $P_{2i}$  の対数をとって、その差を求めると、最小二乗法を用いて未知のパラメータ  $\theta_1$  と  $\theta_2$  が容易に推定できる。

### 3. モデルのパフォーマンス

上述のモデルを、わが国と東アジア地域間の国際物流に適

用し、パラメータ ( $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ) と輸送機関分担の推定結果の妥当性を検討する。さらに、運賃と走行速度の変化に伴う輸送機関分担の変化についても考察する。まず、問題設定の概要を示した後に、パラメータ推定結果、および、その考察を行い、輸送機関分担率の実測値と推定値の一致性について検証する。

### 3.1 問題設定

2001年の財務省貿易統計における東京発着の輸出入データを利用して、貿易統計上の八品類について、輸出入別にパラメータ ( $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ) を推定する。輸送相手国として、東アジアの四つの国・地域（韓国、台湾、香港、シンガポール）を取り上げる。これらの国・地域を対象とした理由は、輸送距離の多様性を考慮すること、および、輸送距離の特定が比較的容易なためである。なお、より多くのサンプル数を確保して安定したパラメータ値を推定するために、輸送相手国別ではなく、四つの対象国・地域をまとめて、パラメータ推定を行う。

在庫日数は船舶および航空機ともに一日、走行速度については船舶を 40(km/h)、航空機を 670(km/h) とする。また、輸送日数については、各輸送機関の走行速度と輸送距離から輸送相手国別に算定する。輸送距離については、東京港および成田空港から輸送相手国の主要港湾および空港までの距離を用いる。

船舶および航空機の運賃は日本・北米間のデータを参考にして、輸送相手国別に設定した。具体的には、船舶の運賃が、韓国：5 円/kg、台湾：5 円/kg、香港：11 円/kg、シンガポール：20 円/kg であり、航空機の運賃が、韓国：277 円/kg、台湾：342 円/kg、香港：435 円/kg、シンガポール：688 円/kg である。

商品価値については、貿易統計のデータを用いて、輸出入別品類別輸送相手国別に、輸送価額を輸送量で除することにより推定した(Table 1)。

一部を除くほぼすべての品類において、輸出の方が輸入よりも商品価値が大きい。また、輸送相手国によらず、機械類や雑製品の価値が大きいことも見て取れる。なお、輸送機関分担率の実測値には、品類別輸送相手国別に、貿易統計の重量ベースの分担率を使用する。

### 3.2 推定結果

Table 2 と Table 3 に示された  $\theta_1$  と  $\theta_2$  の推定値は、いずれも負値を示している。 $\theta_1$  は運賃の影響を示すパラメータ、 $\theta_2$  は商品の価値損失に関するパラメータであるので、負値であることが適切である。したがって、パラメータの符号に関して、推定結果は妥当であると判断できる。

パラメータの有意性を示す t 値に注目すると、鉱物性燃料（輸入）と動植物性油脂（輸入）において、 $\theta_1$  と  $\theta_2$  のいずれにおいても非有意である。両品類の結果に関しては、取扱データが少ないことが影響しているものと推察される。これらの品類に関しては、パラメータ値が信頼できないため、以降の分析からは除外することとする。

重相関係数を各品類で比較すると、ほとんどの品類で、約 0.6 以上の結果が得られており、推定精度は比較的良好である。ただし、機械類（輸出）の重相関係数は、他の品類と比べてやや小さな値を示している。この結果と、重相関係数が品類間でばらついていることを併せて考えると、運賃の設定が品類によらず輸送相手国別に一定値としていることが、パラメータの推定精度に影響している可能性がある。詳細な運賃設定の検討については、今後の課題としたい。

品類別にパラメータ値  $\theta_1$  を比較すると、輸出入ともに、食品・動物や原材料の絶対値が大きく、これらの品類は運賃の変化に比較的敏感であると考えられる。なお、食品・動物については、商品の価値損失の影響を示すパラメータ  $\theta_2$  の絶対値も大きく、輸送時間の変化にも敏感であると推察される。

Table 1 Value of commodities (yen/kg)

| 品類     | 輸出   |      |      |        | 輸入   |      |      |        |
|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|
|        | 韓国   | 台湾   | 香港   | シンガポール | 韓国   | 台湾   | 香港   | シンガポール |
| 食品・動物  | 152  | 660  | 239  | 978    | 136  | 469  | -    | -      |
| 原材料    | 202  | 1764 | 163  | -      | 1459 | 289  | -    | 13490  |
| 鉱物性燃料  | 499  | 340  | 581  | 720    | 389  | 311  | 530  | -      |
| 動植物性油脂 | 661  | 339  | 8547 | -      | -    | 339  | 8547 | 391    |
| 化学製品   | 1690 | 1120 | 1714 | 856    | 155  | 212  | 471  | 124    |
| 原材料別製品 | 957  | 903  | 499  | 1844   | 234  | 336  | 495  | 223    |
| 機械類    | 5753 | 7470 | 5687 | 4474   | 884  | 2115 | 2795 | 1579   |
| 雑製品    | 4758 | 7687 | 3941 | 3614   | 1955 | 626  | 2067 | 705    |

Table 2 Estimation results for export ( $\theta_1$ )

|            | 食品・動物             | 原材料               | 鉱物性燃料             | 動植物性油脂            | 化学製品              | 原材料別製品            | 機械類               | 雑製品               |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\theta_1$ | -0.019<br>(-12.3) | -0.017<br>(-10.8) | -0.015<br>(-24.5) | -0.019<br>(-5.75) | -0.007<br>(-21.4) | -0.012<br>(-15.0) | -0.005<br>(-17.9) | -0.006<br>(-15.3) |
| $\theta_2$ | -0.405<br>(-5.42) | -0.083<br>(-5.09) | -0.135<br>(-6.48) | -0.187<br>(-4.79) | -0.006<br>(-6.14) | -0.172<br>(-5.75) | -0.007<br>(-4.09) | -0.018<br>(-9.55) |
| 重相関係数      | 0.741             | 0.856             | 0.950             | 0.926             | 0.691             | 0.691             | 0.524             | 0.754             |

注1) 括弧内の数値はt値を表す

Table 3 Estimation results for import ( $\theta_2$ )

|            | 食品・動物             | 原材料               | 鉱物性燃料               | 動植物性油脂             | 化学製品              | 原材料別製品            | 機械類               | 雑製品               |
|------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\theta_1$ | -0.030<br>(-12.2) | -0.023<br>(-5.47) | -0.015<br>(-6.04)*  | -0.008<br>(-1.45)* | -0.020<br>(-22.3) | -0.017<br>(-15.3) | -0.011<br>(-20.4) | -0.009<br>(-16.5) |
| $\theta_2$ | -0.408<br>(-3.17) | -0.096<br>(-4.59) | -0.150<br>(-0.427)* | -0.109<br>(-1.28)* | -0.155<br>(-6.64) | -0.292<br>(-4.75) | -0.044<br>(-6.57) | -0.038<br>(-8.65) |
| 重相関係数      | 0.794             | 0.911             | 0.948               | 0.776              | 0.765             | 0.591             | 0.612             | 0.726             |

注1) 括弧内の数値はt値を表す

注2) \*は有意水準5%で非有意であることを表す

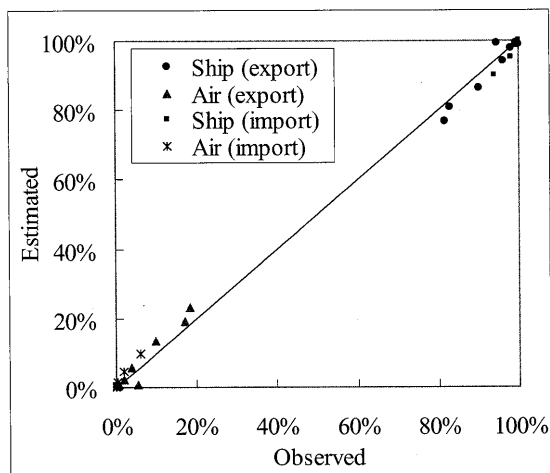


Fig.2 Comparison of mode shares (Japan-Korea)

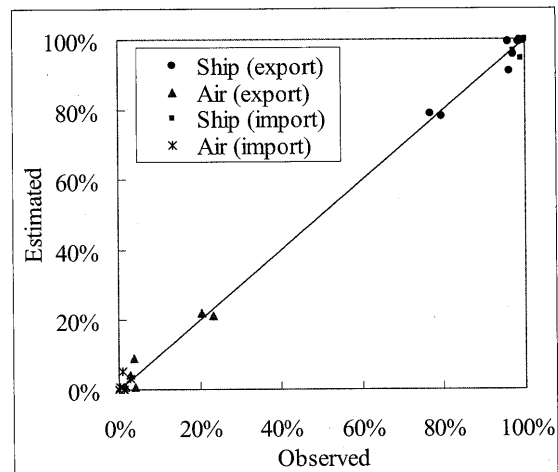


Fig.3 Comparison of mode shares (Japan-Taiwan)

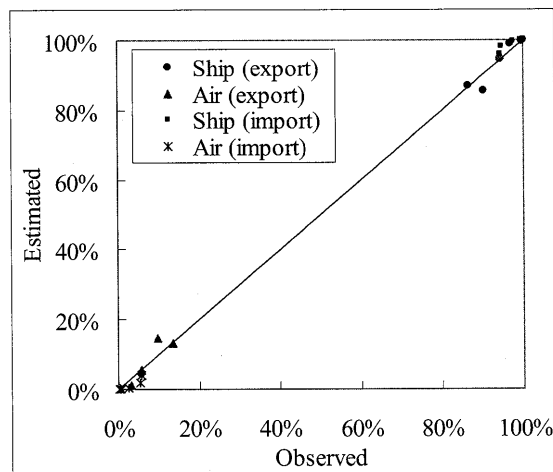


Fig.4 Comparison of mode shares (Japan-Hong Kong)

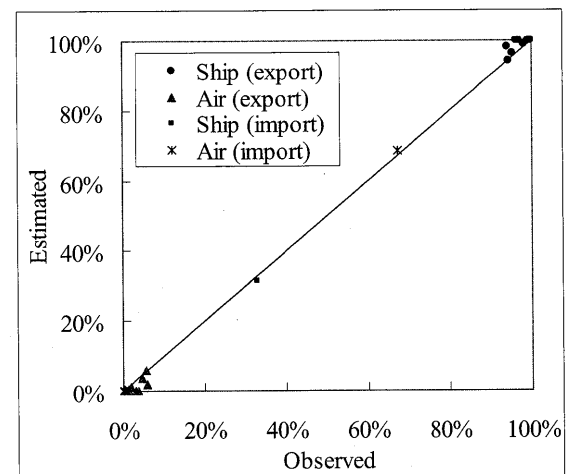


Fig.5 Comparison of mode shares (Japan-Singapore)

### 3.3 輸送機関分担率

上記のパラメータ推定値を用いて、輸送機関分担率を推定し、実測値と比較することにより、モデルの再現性を確認する。各輸送相手国について、輸出入別機関別に分担率の推定値と実測値を比較した結果が Fig.2~5 に示されている。重量に関する機関分担率を推定しているの、概ね、図中の右上部が船舶に関する分担率を、左下部が航空機に関する分担率を示している。これらの図から、推定値が実測値と概ね一致していることが窺える。実際、実測値と推定値の相関係数は、Fig.2~5 のいずれの場合においても 0.99 以上であった。

重量ベースの機関分担率ゆえ、船舶が 90%以上の分担率を占める品類が多い。したがって、図中の右上部と左下部にプロットが集中する。しかし、いくつかの品類については、分担率が必ずしも一方の輸送機関に偏っていない。上述のように、パラメータ推定は四つの対象国・地域をまとめて行っている。したがって、推定の基礎となるデータには、分担率が一方の輸送機関に偏っている場合もそうでない場合も含まれている。そのような状況にもかかわらず、分担率が良好に再現されていることから、モデルのパフォーマンスが良好であることが Fig.2~5 から示唆されているものと判断できる。ただし、分担率が必ずしも一方の輸送機関に偏っていない事例が少ない感が否めないのも事実である。そのような事例にモデルをより多く適用することにより、モデルのパフォーマンスをより精緻に検討することが、今後の課題の一つである。

### 3.4 速度と運賃に関する感度分析

推定されたパラメータ値を用いて、走行速度や運賃の変化に対する分担率の変化を考察することにより、新規開発船舶

の需要に関する基礎的な検討を行う。なお、ここでは、新規開発船舶の仕様は、運賃と航行速度のみに反映されるものと仮定する。

推定されたパラメータ値の傾向や重相関係数の大きさを考慮して、次の二事例について検討する。なお、いずれの事例においても、商品価値や在庫日数は、走行速度や運賃と関連するものと考えられるが、ここでは不変であると仮定する。

#### (1) 船舶から新規開発船舶への移行

新規開発船舶が、現状において船舶で輸送されている貨物を、どの程度分担できるかについて考察するために、日本—韓国間の食品・動物（輸入）に注目する。この事例は、商品価値が小さく、輸送量が比較的多く、船舶の分担率が高いことに特徴がある。

Fig.6 は、日本—韓国間の食品・動物（輸入）に関する結果を示したものである。x 軸は現行の船舶の運賃（5 円/kg）に対する変化率を、y 軸は現行の船舶の航行速度（40km/h）に対する変化率を、z 軸は各速度・運賃下での新規開発船舶による分担率を示している。商品価値が小さいが、運賃も小さいので、速度変化と運賃変化に関する分担率の感度は類似している。新規開発船舶の航行速度が現行船舶の 2 倍（y 軸 200%）になったときに、運賃の増加を現行船舶の 60%以内（x 軸 160%）に抑えることができれば、現行船舶よりも新規開発船舶の分担率が上回る（z 軸 50%以上）ことが窺える。

#### (2) 航空機から新規開発船舶への移行

次に、新規開発船舶が、現状において航空機で輸送されている貨物を、どの程度分担できるかについて考察するために、日本—台湾間の雑製品（輸出）に着目する。この事例は、商品価値が大きく、輸送量が比較的多く、航空機の分担率が比較的大きいことが特徴である。

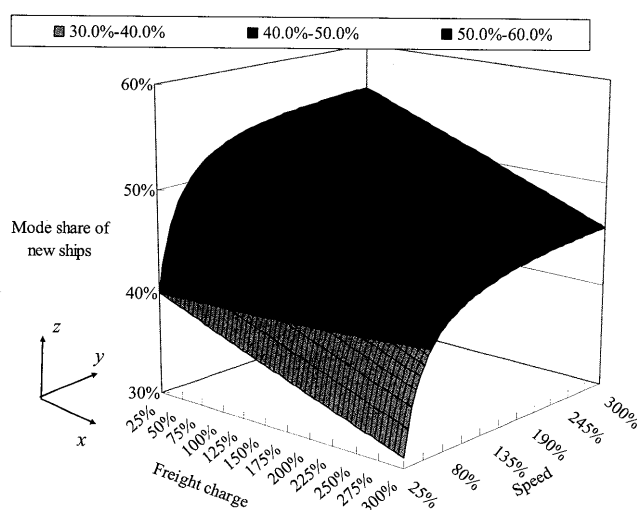


Fig.6 Change in mode share (Japan-Korea, Import)

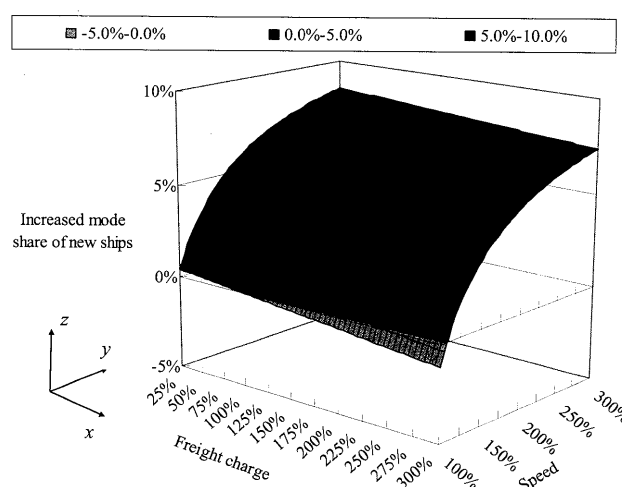


Fig.7 Change in mode share (Japan-Taiwan, Export)

Fig.7 は、日本－台湾間の雑製品（輸出）に関する結果である。 $x$  軸は現行の船舶の運賃（5 円/kg）に対する変化率を、 $y$  軸は現行の船舶の航行速度（40km/h）に対する変化率を、 $z$  軸は各速度・運賃下での新規開発船舶の現行船舶と比較した機関分担増加率を示している。したがって、新規開発船舶の運賃と航行速度が現行船舶と同じ（ $x$  軸 100%,  $y$  軸 100%）であれば、現行船舶と同じシェアになる（ $z$  軸 0%）。運賃が小さく、商品価値が大きいので、運賃変化よりも速度変化の感度が高い。Fig.7 から、新規開発船舶の航行速度が現行船舶の 2 倍（ $y$  軸 200%）になったときに、運賃の増加が 60%（ $x$  軸 160%）であれば、船舶の分担率が約 6%増加することが示唆されている。

#### 4. 結 言

本研究では、荷主の意思決定を輸送機関分担モデルで表現し、モデルの詳細を示すとともに、モデルの現状再現性などについて検討した。本研究の主たる結論を以下に述べる。

集計ロジックモデルを利用した重量ベースの輸送機関分担モデルを提案し、その現状再現性について検討した。その結果、推定されたパラメータ値は、データ数が十分でないことなどに起因する一部の品類（鉱物性燃料（輸入）、動植物性油脂（輸入）、機械類（輸出））を除いて、妥当であることが確認された。また、重量ベースの輸送機関分担に関しても、十分な再現性を有していることが示された。

なお、国際輸送の機関分担率には、それに関連する端末輸送、すなわち、港湾や空港への国内アクセスに要する費用も多少は影響を及ぼすものと考えられる。本研究における荷主の意思決定モデルでは、その費用を考慮していないが、当モデルでは機関分担率の推定を第一義としているので、その観点からすれば、提案しているモデルは十分な妥当性を有しているものと考えられる。

今後は、品類ごとの詳細な運賃設定や、輸送機関間で分担率が拮抗する事例にモデルをより多く適用することにより、モデルの精緻化を図ることが課題であると考えられる。また、本研究で提案したモデルを用いて、Fig1 に示した枠組みの下で、新規開発船舶の仕様を詳細に検討することも、今後の課題の一つである。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本財団図書館：http://nippon.zaidan.info/index.html.
- 2) W. Abdelwahab and M. Sargious: Modeling the demand for freight transport: new approach, Journal of Transport Economics and Policy, Vol.26, pp. 49-70, 1992.
- 3) 家田仁, 佐野可寸志, 小林伸司：商品価格と流動ロットに着目した都市間貨物輸送機関分担モデル, 土木学会論文集, No.548, IV-33, pp.1-10, 1996.
- 4) 溝上章志, 柿本竜治, 竹林秀基：地域間物流の輸送手段／ロットサイズ同時予測への離散-連続選択モデルの適用可能性, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.535-542, 1997.
- 5) 黒川久幸, 松浦伸枝, 鶴田三郎, 風間富一：時間価値分布による船舶へのモーダルシフトについての検討, 日本造船学会論文集, Vol.189, pp.405-412, 2001.
- 6) N. Shinghala and T. Fowkes: Freight mode choice and adaptive stated preferences, Transportation Research Part E, Vol. 38, pp.367-378, 2002.
- 7) 大和裕幸：造船需要予測と造船業の未来, 第 17 回運輸政策コロキウム, 運輸政策研究機構, 1997.
- 8) 造船業基盤整備事業協会：新造船長期建造需要予測, 1995.
- 9) 久保登, 勝原光治郎, 菅直往, 金相賢, 李永雨：犠牲量モデルを用いた国内フェリー・RORO 航路需要のネットワーク解析手法に関する研究, 日本造船学会論文集, Vol.191, pp.179-186, 2002.
- 10) 久保登, 勝原光治郎, 大和裕幸, 道田亮二：国内フェリー・RORO 船航路の需要予測に基づいた船舶主要目の決定と航路の採算性に関する研究, 日本造船学会論文集, Vol.192, pp.377-385, 2002.
- 11) 大和裕幸, 田中大士：日中間物流の将来予測に基づく船舶設計手法に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.2, pp.65-74, 2005.
- 12) 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際, 1995.
- 13) 財務省貿易統計ホームページ, http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm.