

海運施策の評価システムの開発

松倉 洋史^{*}、瀬田 剛広^{**}、稗方 和夫^{***}、大和 裕幸^{***}

Development of a cargo flow simulation system to evaluate measures and policies for marine cargo transportation

by

Hiroshi MATSUKURA, Takahiro SETA, Kazuo HIEKATA,
and Hiroyuki YAMATO

Abstract

Marine cargo transportation has a lot of merits in environment, transportation safety and labor shortage aspects. Public and private sectors in Japan has struggled to promote it for a long time. Because of the prolonged use of a wide variety of the measures and policies, it becomes more and more difficult to estimate what kind of measures and policies are effective and how to execute them. To get effective measures and policies for promoting it, a cargo transportation simulator, which can estimate quantitative effect of transportation system change, is useful. In this paper, we report the development of the cargo flow simulator by using disaggregate nested logit model to analyze changes of policies and economic situation. The simulator we developed is a detailed one in which whole country is divided into 207 livelihood spheres, 7×2 patterns of carriage modes are considered and whole domestic cargo flows are treated for each category of articles. It has enough reproducibility, and by using the simulator we estimate the effect of cargo lot size enlargement potential on ton-kilo basis to get basic guiding principles for achieving further modal shift. The transportation simulator will be a base system for our future transportation analysis.

* 運航・物流系、** 水中工学センター、*** 東京大学大学院 新領域創成科学研究科
原稿受付 平成27年1月30日
審査日 平成27年3月2日

目 次

1. まえがき	28
2. 貨物輸送モデルの構築	29
2.1 輸送パターン	29
2.1.1 輸送機関の選択	29
2.1.2 積み込み方法の選択	29
2.2 輸送パターン毎の各種属性計算方法	29
2.2.1 トラックのみ	29
2.2.2 トラック+フェリー	29
2.2.3 トレーラ+フェリー	29
2.2.4 トレーラ+RORO 船	30
2.2.5 コンテナ+コンテナ船・一般貨物船	30
2.3 使用データと設定の概要	30
2.3.1 生活圏	30
2.3.2 純流動データ	30
2.3.3 航路	30
2.4 経路推定手法と計算構造	30
2.4.1 非集計ネステッドロジットモデル	30
2.4.2 経路推定モデル式	31
2.5 プログラムの実装	32
3. 経路推定モデルの同定と検証	32
3.1 モデルの推定	32
3.1.1 推定方法	32
3.1.2 推定結果	32
3.2 モデルの性能の検討	33
4. 海運施策の評価	34
5. おわりに	34
参考文献	35

1. まえがき

海上輸送は、地球温暖化ガスの排出削減だけでなく、省エネルギー、排気ガス中の有害物質低減、交通渋滞や事故の減少、更には少人数による大量輸送が可能なことから少子高齢化や人手不足の対策に資するなど様々な長所を持っている。これまで輸出入貨物の国内フィーダー輸送あるいは国内貨物の輸送において海上輸送を促進すべく、官民において様々な施策が実施されてきた¹⁾²⁾³⁾。しかし、各種施策の進展・社会経済情勢の複雑化等により、今後の施策実施に必要な人的・資金的リソースは拡大する一方で、どのような施策が効果的なのか、あるいはどのように実施するのが効率的なのかについては適切な評価が難しくなっている。

海運施策の評価手段として有用な方策の一つに、コンピュータ上での貨物流動の数値シミュレーション(以下、物流シミュレーション)がある。

ここでいう物流シミュレーションは、大量の貨物データの個々の貨物が、その特性に応じてどの経路を通るのかを推定するものである。昨今のパーソナルコンピュータの高性能化、開発環境の高度化・利便性の向上、貨物・輸送環境データの利用可能性の拡大等により、物流シミュレーションは今後有用性が増していくと期待できる。

本報告では海運施策を評価するための物流シミュレーションシステム(モデル、プログラム、データ及び推定されたモデルパラメータ)の開発を報告する。本シミュレータは、輸送環境に応じた貨物の輸送経路を評価するものであり、多様な面からの分析が可能である。ここでは例題の一つとしてモーダルシフト施策を取り上げ、ロットサイズを拡大することで今後どの程度の効果を見込めるのかをトンキロベースで定量的に評価する⁴⁾。

具体的には、海運及びトラック・トレーラ輸送を対象に非集計ネステッドロジットモデル⁵⁾⁶⁾を用いた貨物流動シミュレーションシステムを開発する。本シミュレーションは全国の貨物発着地点を207の生活圏⁷⁾に分類した詳細かつ大規模なものである。データは現在利用可能な最新データである2010年全国貨物純流動調査3日間調査⁸⁾の一般貨物⁹⁾(モーダルシフト対象貨物)を用いる。

海運も考慮して貨物流動を求める研究事例は、ロジットモデルを用いるもの^{9)~12)}など、犠牲量モデルを用いるもの¹³⁾¹⁴⁾など、その他統計分析等によるもの^{15)~17)}などに大別できる。そのうち生活圏単位の詳細度で全国の国内流動を扱った研究として松尾ら¹⁶⁾¹⁷⁾、永岩ら¹²⁾、運輸政策研究機構¹⁰⁾がある。

松尾ら¹⁶⁾¹⁷⁾は複数種類の距離・ロットサイズ等からなる判別モデルを構築し、主として距離の観点からモーダルシフトへの影響を分析している。しかし、モーダルシフト先の船種として検討されているのはフェリーのみである。

永岩ら¹²⁾は複数種類の距離・ロットサイズ・頻度等からなる非集計ロジットモデルを構築し、トンキロを基にしたモーダルシフト化率を指標として、航路距離・高速道路距離を変化させることで間接的に時間・価格の影響を分析している。しかし、フェリーとRORO船を一括して扱っており、またコンテナ船はモデル化されていない。

運輸政策研究機構¹⁰⁾はネステッドロジットモデルを用いフェリー・RORO・コンテナ船を区分したモデルを構築している。しかし、扱っている品類及び各ネストの段階毎にモデルを構成する変数が異なり、また変数の種類も多様であることから単純なモデルとは言い難い。

本報告の特徴は、生活圏単位の詳細度で国全体の国内貨物流動を扱ったこと、かつ主要なモーダルシフト対象船種(フェリー・RORO・コンテナ船)を含む経路選択モデルを少数の変数により統一的に構築出来たこと、ロットサイズ拡大によるモーダルシフトの潜在力をトンキロベースで評価したことである。

2. 貨物輸送モデルの構築

貨物輸送モデルは、大きく、現実の貨物輸送を出来る限り忠実にコンピュータ上に再現する部分及びその入力データ、貨物の輸送経路を推定する部分に分かれる。前者については2.1~2.3で、後者については2.4で説明し、最後に2.5でプログラムの実装について簡単に述べる。

2.1 輸送パターン

個々の貨物について、以下に示す7パターンの輸送機関の選択(A・Bのトラックサイズの選択も含む)と2パターンの積み込み方法の選択の組合せからなる輸送方法を想定する。

なお航空機及び鉄道は、本研究の対象である海運モーダルシフト量の変化に大きな影響は与えないと考えられることから対象外とした。

2.1.1 輸送機関の選択

国内での貨物輸送を5種類に集約する。

A: トラックのみ(大型と中型から選択)

陸路のみで貨物をトラックで輸送。

B: トラック+フェリー(大型と中型から選択)

貨物をトラックで輸送するが、一部区間でフェリーを利用。フェリーにはドライバが乗船。

C: トレーラ+フェリー(トラクタなし)

車長12mのトレーラで輸送し、一部区間でフェリーを利用。

D: トレーラ+RORO船(トラクタなし)

車長12mのトレーラにより輸送し、一部区間でRORO船を利用。

E: コンテナ+コンテナ船・一般貨物船

貨物を12ftコンテナによりトラクタで輸送し、一部区間でコンテナ船か一般貨物船を利用。

2.1.2 積み込み方法の選択

トラック・トレーラ・コンテナを貸切りあるいは積合わせで利用する2パターンを想定する。

2.2 輸送パターン毎の各種属性計算方法

使用する陸上輸送の手段としては、大きく分けて自社所有のものをを使う場合(自家用)と運送会社

を利用する場合(貸切り及び積合わせ)の2種がある¹⁸⁾¹⁹⁾。今回の解析対象貨物全体の中では、自家用トラックの使用は件数ベース・重量ベースで共に全体の9%程度と小さいことなどから、全て事業用と同等の輸送コスト・効率であるとして計算する。トレーラ及びコンテナ輸送も同様である。

各輸送パターンの主要指標(距離・所要時間、費用、頻度)について、各種文献等を参考に以下により求めた。

2.2.1 トラックのみ(A)

(1) 距離・所要時間: 専用のソフトウェア²⁰⁾を用いて計算する。ただし積合わせの場合は収集・配達に要する時間として便宜上一律に計12時間を加える(B~Eも同様)。

(2) 1ロットの輸送費用: 以下により計算する。ただし、燃油サーチャージについては別途加味する(B~Eも同様)^{21)~25)}等。なお、1ロットは出荷日・品目・荷受人・届先地が同一のものを一括して1件と数えたもので、物流センサスデータの1レコードに相当する。

(3) 頻度: いつでも出発可能なため無限とする。

・貸切り: (貸切り料金²⁶⁾²⁷⁾+有料道路料金^{20)28)~32)}×台数

・積合わせ: 文献²⁶⁾²⁷⁾³³⁾の積合わせ運賃

2.2.2 トラック+フェリー(B)

(1) 距離・所要時間: 陸上部分は(A)と同様に求め、海上部分は内製の既存ソフトウェア等³⁴⁾³⁵⁾により計算する。ただし、フェリーの平均的な乗下船時間として計2時間¹⁰⁾を加える。また、積合わせの場合は収集・配達に要する時間として更に計12時間を加える。

(2) 1ロットの輸送費用: 以下により計算する。

・貸切り: (貸切り料金²⁶⁾²⁷⁾+有料道路料金^{20)28)~32)}+フェリー運賃³⁶⁾等+1時間当り車両留置料²⁶⁾×航送所要時間³⁶⁾等)×台数

・積合わせ: 貨物純流動データにはフェリー利用時にトラック・トレーラのどちらを利用したかの記載はない。そこで重量当たり運賃が最も安いトレーラで代表させる。

(3) 頻度: 使用航路のフェリーの運航頻度³⁶⁾等

2.2.3 トレーラ+フェリー(C)

(1) 距離・所要時間: 陸上部分は(A)と同様、海上部分は(B)と同様に計算する。ただしフェリーの乗下船時間として計3時間加える。トレーラはトラックより先の積み込みを求められることが多いため、(B)よりも乗下船に要する時間を1時間多く想定したものである。また積合わせの

場合は収集・配達に要する時間として計 12 時間を想定する。

- (2) 1 ロットの輸送費用：以下により計算する。
- ・貸切り：トレーラ集配料金(収集)²⁶⁾+有料道路料金(収集)^{20)28)~32)}+フェリー運賃³⁶⁾+トレーラ集配料金(配達)²⁶⁾+有料道路料金(配達)^{20)28)~32)}×台数
 - ・積合わせ：積合わせ料金²⁶⁾³³⁾+(フェリー運賃³⁶⁾+1 時間当り車両留置料²⁶⁾×航送所要時間)/平均積載量³⁷⁾×重量
- (3) 頻度：使用航路のフェリーの運航頻度³⁶⁾等

2.2.4 トレーラ+RORO 船 (D)

- (1) 距離・所要時間：陸上部分は(A)と同様、海上部分は(B)と同様に計算する。ただし、RORO 船の荷役(乗下船)時間として計 4 時間¹⁰⁾加える。また、積合わせの場合は収集・配達に要する時間として更に計 12 時間を加える。
- (2) ロットの輸送費用：以下により計算する。
- ・貸切り：(トレーラ集配料金(収集)²⁶⁾+有料道路料金(収集)^{20)28)~32)}+RORO 船運賃²⁶⁾+トレーラ集配料金(配達)²⁶⁾+有料道路料金(配達)^{20)28)~32)}×台数
 - ・積合わせ：積合わせ料金²⁶⁾³³⁾+12m トレーラの航送料/平均積載量³⁷⁾×重量
- (3) 頻度：使用航路の RORO 船の運航頻度³⁸⁾³⁹⁾

2.2.5 コンテナ+コンテナ船・一般貨物船(E)

- (1) 距離・所要時間：陸上部分は(A)と同様、海上部分は(B)と同様に計算する。ただし、"搬入～積み"及び"揚げ～搬出"までの時間として一律に計 12 時間加える。
- (2) 1 ロットの輸送費用：以下により計算する。
- ・貸切りの場合：(12ft コンテナ集配料金(収集)²⁶⁾+有料道路料金(収集)^{20)28)~32)}+コンテナ船・一般貨物船運賃²⁶⁾⁴⁰⁾+12ft コンテナ集配料金(配達)²⁶⁾+有料道路料金(配達)^{20)28)~32)}×台数
 - ・積合わせの場合：積合わせ料金²⁶⁾³³⁾+12ft コンテナの航送料²⁶⁾/平均積載量³⁷⁾×重量
- (3) 頻度：使用航路の運航頻度³⁸⁾³⁹⁾等

2.3 使用データと設定の概要

2.3.1 生活圏

貨物流動発着地の地理的単位となる生活圏は、文献 7)において用いられた図-1 の 207 地域の生活圏ゾーンを使用し、中核となる自治体の主たる役所所在地を貨物の発着地とみなした。

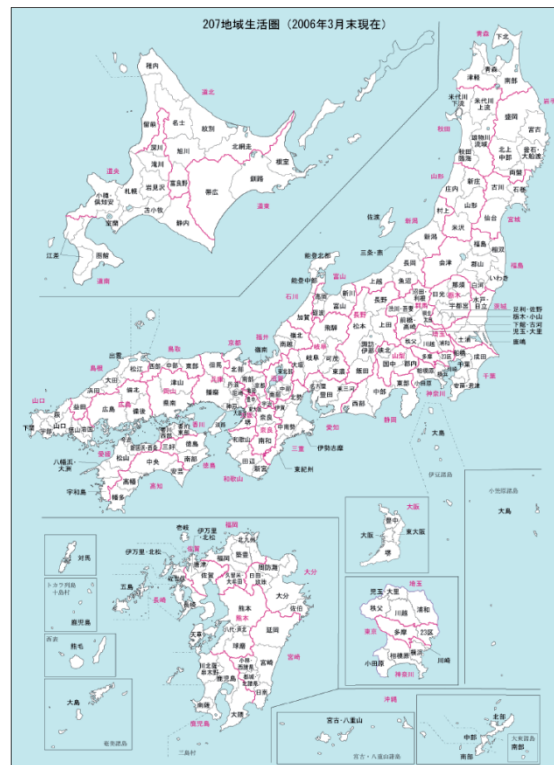


図-1 207 生活圏

2.3.2 純流動データ

今回の評価では、純流動調査における 3 日間調査データ⁸⁾(2010 年 10 月 19~21 日実施)の本土発着貨物流動のうち、モーダルシフトの主たる対象貨物である一般貨物³⁾(雑貨貨物)を検討対象とする。更に本分析では、上記から航空・鉄道利用貨物、同一生活圏内の輸送貨物、離島発着貨物、輸出貨物、データ不十分・不整合な貨物を除き、24,616 千件・23,412 千トンの 3 日間総流動(母集団推計値)のうち、12,081 千件(49.1%)・4,493 千トン(19.2%)の貨物流動を解析の対象とした。

2.3.3 航路

上記の対象流動の経路に現れた航路は全て経路として設定した。航路はフェリー利用、RORO 船利用、コンテナ船・一般貨物船利用の 3 種に分類され計 258 本、使用港湾は 92 港であった。

2.4 経路推定手法と計算構造

2.4.1 非集計ネステッドロジットモデル

貨物流動は、事業者が貨物の輸送仕様(手段や経路等)を効用が最大となるよう選択した個々の結果の集成である。そのため、4 段階推定法のようにトップダウンで貨物流動を分析するのではなく、ボトムアップで貨物流動を分析する場合は、貨物に対する事業者の選択行動を個別に扱える

ことが望ましい。本研究では非集計ロジットモデル手法を用いて経路推定モデルを構築する。

ロジットモデル⁵⁾はランダム効用理論に基づいており、選択肢 i の効用 V_i ((4)式を参照)の確率項にガンベル分布を想定したものである。多選択肢のロジットモデルでは、まず実績データを基に、貨物 n の選択肢 $i \in J_n$ (J_n は選択肢集合)の効用(1)式及び選択確率(2)式に対し、最尤法などによりパラメータの推定を行ってモデルを同定し、次いで施策等を想定した様々な輸送環境の変化を与え、それにより生じる効用 V_i の変化によりどのような輸送の変化が起こるのかを観察する。

$$V_i = \sum_k \beta_{ik} Z_{ik} \quad (1)$$

$$P_m = \exp(V_i) / \sum_{j \in J_n} \exp(V_j) \quad (2)$$

ここで、本論文で扱う輸送経路のうち、発着地が陸路でつながっている場合は、全て陸上で輸送する場合と、途中で船を利用する場合の2種が考えられる。その際、途中で船を利用するか否かの選択と、どの船(種)を使うかの選択の構造は異なっていると推察される。そのため単純に選択肢を並列させた場合は、IIA(Independence from Irrelevant Alternatives)特性⁵⁾により適切な分析とならない恐れがある。そこで本研究では図-2のように、航路選択及び積合わせ/貸切り選択と、トラック/船間の交通機関選択の計2階層からなるネステッドロジットモデルを用いてパラメータを求めた。

なお、モデルは品類毎に作成するものとする。

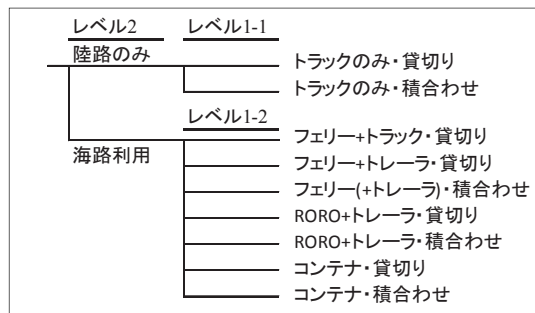


図-2 モデルの構造

2.4.2 経路推定モデル式

以上を踏まえ、(3)～(7)式よりなるモデル式を設定した。ネステッドロジットモデルのモデル式の形には数種類あるが、ここでは今回解析で使用したライブラリである mlogit⁴¹⁾に用意されたネステッドロジットモデル⁴²⁾の形を用いた。

なお、レベル1では貸切り輸送を行う際に使用するトラックのサイズ(中型/大型)は、貨物の量に応じて輸送ロットあたりの費用の小さい方をあらかじめ選択する方式とした。またパラメータ推定はレベル1及び2を段階的に行うのではなく、同時推定を行うことにより β の値は輸送機関・経路によらず共通としてモデルを構築した。

レベル1- m : 海路の利用有無が決まった後の輸送方法の選択

$$P_{1-mijk} = \exp(V_{1-mijk} / \gamma_{1-m}) / \sum_{k \in C_{1-mij}} \exp(V_{1-mijk} / \gamma_{1-m}) \quad (3)$$

$$V_{1-mijk} = \sum_l \beta_l Z_{ijkl} \quad (4)$$

P_{1-mijk} : 生活圏 ij 間のレベル1- m の輸送において、輸送経路・方法 k で輸送する場合の条件付き選択確率(m はネスト、すなわち輸送機関のグループを表すインデックス、1:陸上輸送のみ、2:海路利用)

V_{1-mijk} : 生活圏 ij 間のレベル1- m の輸送における輸送経路・方法が k の時の効用

C_{1-mij} : 生活圏 ij 間のレベル1- m の輸送で利用可能な輸送経路・方法(貸切り・積合わせの選択、海路利用の場合は更に利用航路の選択)の集合

Z_{ijkl} : 生活圏 ij 間の輸送経路・方法 k を利用した際の l 番目の輸送指標(3.1.1に詳細を記述)

β_l : チューニング対象のパラメータ

γ_{1-m} : チューニング対象のパラメータ(ネステッドロジットモデル用)

レベル2: 海路使用/不使用の選択

$$P_{2ijm} = \exp(V_{2ijm}) / \sum_{m \in \{1,2\}} \exp(V_{2ijm}) \quad (5)$$

$$V_{2ijm} = \gamma_{1-m} L_{1-mij} \quad (6)$$

$$L_{1-mij} = \ln \left\{ \sum_{k \in C_{1-mij}} \exp(V_{1-mijk} / \gamma_{1-m}) \right\} \quad (7)$$

P_{2ijm} : 生活圏 ij 間のレベル2の輸送におけるネスト m の選択確率

V_{2ijm} : 生活圏 ij 間のレベル2の輸送におけるネスト m の効用

L_{1-mij} : レベル1- m のログサム変数として計算される、生活圏 ij 間のネスト m の輸送方法を利用した際の輸送指標

- V_{1-mijk} : 生活圏 ij 間のレベル $1-m$ の輸送における輸送経路・方法が k の時の効用
- C_{1-mij} : 生活圏 ij 間のレベル $1-m$ の輸送で利用可能な輸送経路・方法の集合
- γ_{1-m} : チューニング対象のパラメータ (ネステッドロジットモデル用)

2.5 プログラムの実装

シミュレーションシステムの実装には、ロジットモデルのパラメータ推定処理部分を除き C#.NET を用いてフルスクラッチで開発を行った¹。ロジットモデルの処理には、統計解析プログラム言語及び開発環境である R⁴³⁾と R 用の多項ロジットモデルライブラリである mlogit⁴¹⁾を用い、また C#.NET のプログラムとの連携のため R.NET⁴⁴⁾を用いた。

3. 経路推定モデルの同定と検証

2.3.2 に示した貨物純流動データを用い、使用するパラメータの選択・値の算出等によりモデルの推定を行うと共に、再現性の検討を行った。

3.1 モデルの推定

3.1.1 推定方法

モデルの推定にあたっては以下に従った。

(1) 候補パラメータ

2.4.2 のモデル式で用いる輸送指標 Z としては、候補として輸送単価 [円/kg]、所要時間 [h]、陸上輸送(陸路)トンキロ [ton-km] (総トンキロの陸路部分)、海上輸送(海路)トンキロ [ton-km] (同 海路部分)、頻度の逆数 [週/便] を用意し、対応するパラメータをそれぞれ β_{price} 、 β_{time} 、 $\beta_{road-tk}$ 、 β_{sea-tk} 、 β_{freq} とした。更に海上輸送に対し、他の輸送指標では加味されない心理的なものを含む何らかの利用阻害要因がある可能性を考慮し、特殊な Z として 0/1 のダミー変数 d_{sea} (0:海上輸送を非選択、1:海上輸送を選択) を用意し、対応するパラメータを β_{sea} とした。ここで β_{sea} は海運に対する選好性を示し、負値の場合は忌避傾向を示すこととなる。

以上を基に採用パラメータの選択を行った。

(2) パラメータ同定の基準

パラメータを同定するに当たり、モーダルシフトではトンキロが適切に評価されることが重要と考え、トンキロを基準に推定を行うこととした。

ただし、貨物の選択する経路によって移動距離が異なり全貨物のトンキロ総計値が変動しては計算基準として不都合なため、移動距離は輸送経路の変化に左右されない市区町村間距離を用いた。

(3) 候補経路作成の方法

貨物の移動経路の選択肢としては、発着の生活圏ごとに各輸送モードの輸送候補経路を探索し、結果を輸送単価および所要時間で順位付けを行った上で輸送モードごとに最大上位 3 位までをモデルの入力として用いた。ただし、上位 3 位までに明らかに無駄な遠回りをして船を利用するようなものが含まれる場合は、陸上輸送距離を比較することにより除外した(その結果、輸送モードによっては海運を利用する経路の選択肢が存在しないケースも発生する)。

(4) 拡大係数の扱い

推定を行う際には、重量や、同様の貨物が日本全体で他に何件存在すると推定されるかという、純流動データの母集団推計用拡大係数を用いて重みづけをした値を用いた。

(5) データのサンプリング

農水産品・金属機械工業品・軽工業品はデータ量が多く、全てのデータを用いるのは PC の計算速度・メモリ容量等の面から制約があるため、データ数が 1~2 万件となるよう、ランダムサンプリングによりそれぞれ 1/2・1/10・1/5 のデータ数を用いてパラメータ推定を行った。一方、林産品・雑工業品・特殊品は、海を使用した経路の件数あるいは件数の割合が少ないため、全データを用いてパラメータ推計計算を行った。

3.1.2 推定結果

一般に、多数のパラメータが含まれる複雑な推定モデルは、過適合の可能性が高くなり、また、本質的ではない冗長な説明変数が含まれるなど、他への転用性が劣る傾向が強い。一方、対象の特徴を十分に表現することが出来なくなるほど単純なモデルでは意味が無い。出来るだけ単純かつ再現性の高いモデルであることが望ましい。そこで、使用する評価指標の種類が少なく、かつ全品類にわたって下記 a)~d) のロジットモデルの一般的な良否判断基準⁴⁵⁾に合致するものを探した(この点 2.1、2.2 及び 3 章で可能な限り詳細に価格・所要時間等の輸送指標その他の輸送環境の再現を試みたことと対照的である)。

- a) パラメータ β や γ ($\gamma > 0$) の正負が合理的
- b) t 値の絶対値が大きく有意水準が十分小さい
- c) 尤度比が出来るだけ大きい
- d) 適中率が出来るだけ高い

¹プログラムは外注せず内製した。これにより新規の分析案件に対しても迅速かつ低コストで対応することが可能と期待できる。

表-1に採用したモデルを示す。なお、モデルは全品類で同種類のパラメータが採用され、同一の形状となった。品類毎に異なるモデル形状を用いる必要がないことは、モデルの単純性という面からは好ましい特性である。

	農水産品			林産品		
	推定値	t値	有意水準	推定値	t値	有意水準
β_{price}	-2.79E-02	-5.2E+01	<2.2E-16	-6.41E-01	-1.9E+00	5.3E-02
β_{time}	-1.68E-01	-5.3E+01	<2.2E-16	-4.46E+00	-1.8E+00	6.9E-02
$\beta_{road-ik}$	-2.03E-04	-6.1E+01	<2.2E-16	-7.52E-03	-1.8E+00	7.6E-02
β_{sea}	-3.93E+00	-1.1E+02	<2.2E-16	-1.57E+02	-2.2E+00	2.5E-02
γ_{1-1}	8.74E-01	5.2E+01	<2.2E-16	1.10E+01	1.8E+00	7.5E-02
γ_{1-2}	8.50E-01	5.3E+01	<2.2E-16	4.29E+01	2.5E+00	1.4E-02
尤度比	0.74			0.95		
適中率	0.97			1.00		
	金属機械工業品			軽工業品		
	推定値	t値	有意水準	推定値	t値	有意水準
β_{price}	-1.56E-02	-1.7E+02	<2.2E-16	-5.02E-03	-2.5E+02	<2.2E-16
β_{time}	-1.02E-01	-3.9E+02	<2.2E-16	-4.47E-02	-2.8E+02	<2.2E-16
$\beta_{road-ik}$	-1.45E-04	-4.7E+02	<2.2E-16	-8.74E-05	-4.7E+02	<2.2E-16
β_{sea}	-3.80E+00	-2.5E+02	<2.2E-16	-4.49E+00	-3.8E+02	<2.2E-16
γ_{1-1}	9.15E-01	1.6E+02	<2.2E-16	1.62E-01	2.0E+02	<2.2E-16
γ_{1-2}	1.00E+00	1.9E+02	<2.2E-16	7.12E-01	3.2E+02	<2.2E-16
尤度比	0.19			0.73		
適中率	0.97			0.98		
	雑工業品			特殊品		
	推定値	t値	有意水準	推定値	t値	有意水準
β_{price}	-2.55E-02	-7.2E+02	<2.2E-16	-5.99E-02	-6.4E+01	<2.2E-16
β_{time}	-9.95E-02	-1.0E+03	<2.2E-16	-2.27E-01	-7.8E+01	<2.2E-16
$\beta_{road-ik}$	-1.23E-04	-3.9E+02	<2.2E-16	-6.80E-04	-7.5E+01	<2.2E-16
β_{sea}	-5.12E+00	-9.5E+02	<2.2E-16	-8.66E+00	-7.5E+01	<2.2E-16
γ_{1-1}	3.18E-01	8.6E+03	<2.2E-16	7.44E-01	2.0E+03	<2.2E-16
γ_{1-2}	7.44E-01	8.4E+02	<2.2E-16	1.31E+00	7.8E+01	<2.2E-16
尤度比	0.91			0.78		
適中率	0.99			0.97		

注1: β_{price} : 輸送単価指標の対応パラメータ, β_{time} : 所要時間指標の対応パラメータ,

$\beta_{road-ik}$: 陸路トンキロ指標の対応パラメータ, β_{sea} : 海運利用ダミー変数の対応パラメータ

γ_{1-1} : レベル1-1選択時のパラメータ, γ_{1-2} : レベル1-2選択時のパラメータ,

注2: "<2.2E-16"は値が2.2E-16未満であることを示す。

表-1 モデルパラメータと評価値

(1) 採用された評価指標について

評価指標として輸送単価、総輸送時間、陸上輸送トンキロ、海運利用のダミー変数が採用された。

一方、海路トンキロ及び頻度の逆数は、共にモデル選択過程において絶対値が小さかったり、同定されたパラメータ値が品類によって正負まちまちであったり、t値及び有意水準が不十分だったりと性能が良くなく、再現性の向上に寄与しなかったため採用しなかった。

海路トンキロがモデルに採用されなかったのは、重量物かつ長距離の貨物輸送ほど海路が選好されると予想されることから、海路トンキロに正の選好性を期待することが可能である一方、単に遠回りをすることで海路トンキロを増やす経路は非合理(例えば仙台発札幌着の貨物が仙台・苫小牧航路ではなく舞鶴・苫小牧航路を使うなど)であり、海路トンキロ増大が常には好ましくならないからと推察される。また、頻度がモデルに採用さ

れなかったのは、海路では当初より便数に制約があることを前提に出航日時に合わせた出荷計画を立てることも多いため、本モデル化では頻度の影響が強く表れなかったためと解釈可能である。
(2) β の値について

まず、 $\beta_{price} \cdot \beta_{time}$ を見るとこれらが負であることから、輸送単価・輸送時間が増すと選好されにくくなるという常識と一致した結果となった。

次に、 $\beta_{road-ik}$ が負であることから陸路トンキロが増すと選好されにくくなるという結果となった。重量が重くても輸送距離が短い貨物の場合は陸路での輸送が選好されるが、距離が短いことから陸路トンキロは大きくならない。逆に、重量が軽く輸送距離が長い貨物の輸送は、モーダルシフト対象ともなるケースであるが陸上輸送も選好され、海路が選択された場合はもちろん、陸路のみの輸送の場合も(重量が大きくないことから)陸路トンキロは小さい。一方、重い貨物が長距離輸送される場合は海運が選好されるが、その場合は陸路部分が短くなるため、選好された経路の陸路トンキロは小さい。いずれにしても選好された経路は陸路トンキロが小さいものであることから、 $\beta_{road-ik}$ が負であることは合理的である。

更に、海上輸送への選好性を示す β_{sea} は負となり、一般貨物の輸送については海運よりもトラック輸送の方が選好されるという一般的知見と合致した結果となった。

以上により品類毎に全てモデル形状(採用パラメータ種類)が同一であるだけでなく、 γ_{1-1} 、 γ_{1-2} を合わせても品類毎に6個という少数のパラメータで全国の貨物流動を推定する単純なモデルを得ることが出来た。

3.2 モデルの性能の検討

モデルの性能検討のため、品類毎及び港湾毎に、(サンプリングしたデータではなく)全データを用いて輸送経路途中の海路トンキロの真値と推定値の比較を行った。なお、値は全て全国の3日間当たり流動量に相当する。

海路トンキロを港湾毎かつ品類毎に合計したものの比較結果について、線形目盛で示したものを図-3に、トンキロの小さな港について観察するために対数目盛で示したものを図-4に示す。

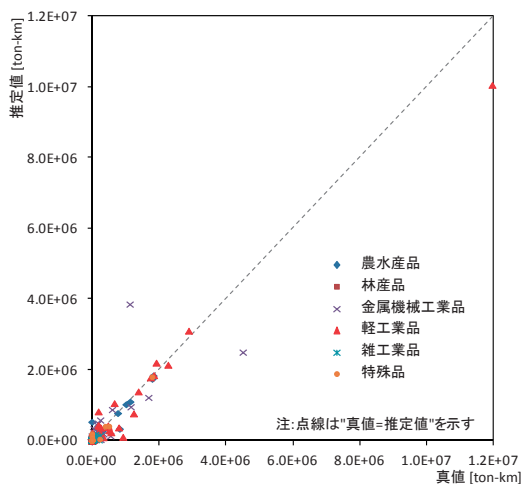


図-3 港毎品類毎の再現性(線形軸)

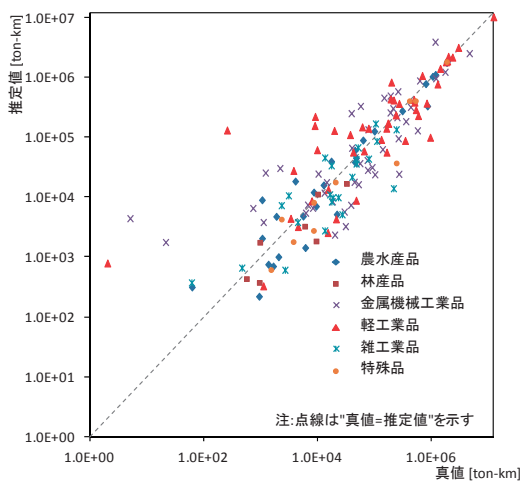


図-4 港毎品類毎の再現性(対数軸)

多少のばらつきはあるものの、いずれのグラフも概ね良好な再現性を示している。

以上より、3.1.2 a)~d)のロジットモデルの性能要件に適合し、かつ再現性にも特段の不都合は見られない適切な貨物流動シミュレーションシステムを得られたと考える。

4. 海運施策の評価

開発した貨物流動シミュレータを用い、ロットサイズ拡大施策がモーダルシフトに与える影響の評価を行った。なお、値は全て全国の3日間当たり流動量に相当する。

海上輸送は本来ロットサイズの大きな貨物の大量輸送に適したモードである。出荷ロットサイズを大きくすれば、2.1の輸送機器の選択及び貸切り/積合わせの選択の結果、間接的に輸送単価

が下がり、陸上輸送に比べて輸送速度が遅いという欠点を補って、相対的に海上輸送が有利になる貨物が増えると期待できる。また2.4.2の経路推定モデル式において陸路トンキロが大きく評価される効果もある。そこで、出荷総量を同じにしたまま出荷ロットを2倍から5倍まで変化させた際(対応して出荷件数は1/2から1/5まで変化する)の海路トンキロ及び陸路トンキロを計算し、結果を図-5に示した。

その結果、仮にロットが2倍となった場合、海路トンキロでは38百万ton・km、率にして30%弱のモーダルシフト量の増加が可能となった。

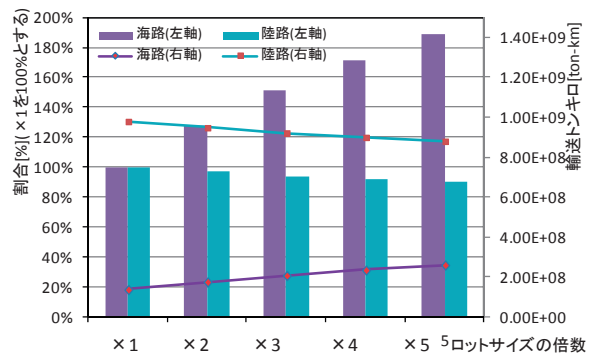


図-5 ロットサイズに対する感度

本章の分析は、入手可能な最新データである2010年度の貨物純流動データを用いた解析であるが、モーダルシフト政策が始まって相当の期間が経過したにも関わらず、ロットサイズの拡大に対する海運モーダルシフトの感度は高く潜在力は大きい。要するコスト・労力については単純な比較はできないものの、ロットサイズの拡大施策により大きなモーダルシフト推進効果を得られる可能性がある。

なお、本シミュレーションシステムでは、モデルパラメータ β として採用された項目に関係する各種施策の評価が可能である。特に、ダミー変数を用いることで、直接に運賃低減や時間短縮と関係する方策以外の施策(インフラ整備、荷主・物流事業者に対する支援策の拡充、並びに荷主への認識改善努力・物流事業者のPR等)による効果を一括して評価することも可能である。

5. おわりに

本報告では海運施策を評価する物流シミュレーションシステム(モデル、プログラム、データ及び推定されたモデルパラメータ)を開発すると共に、例題としてモーダルシフト施策を取り上げ、ロットサイズの拡大により今後も高い効果を

見込めることを定量的に示した。

物流シミュレーションは海運施策を評価するのに非常に有用と考えられる。今後は多様な解析を行うことで、海運施策の評価システムのプログラム・データ及び解析の知見を蓄積していきたい。

謝 辞

流通経済大学物流科学研究所 小野秀昭教授には輸送モデルに関する多くの貴重なコメントを頂いた。また、株式会社ゴーガ殿には詳細な高速道路料金データをご提供頂いた。両者に対し、記してここに謝意を表する。もちろん本稿に残る誤りは全て著者に帰するものである。

参考文献

- 国土交通省, 経済産業省: 新総合物流施策大綱, 2001.
- グリーン物流パートナーシップ会議: グリーン物流パートナーシップ, <<http://www.greenpartnership.jp/>>, 参照 2015.1.
- 国土交通省 モーダルシフト促進のための要因分析調査委員会: モーダルシフト化率の動向分析, 2007.
- 松倉洋史・瀬田剛広・稗方和夫・大和裕幸: 全国貨物流動を対象としたトンキロベースの海運モーダルシフト評価, vol.18 日本船舶海洋工学会論文集, 2013
- 土木学会: 非集計行動モデルの理論と実際, 1995.
- 兵藤哲郎: R による離散選択モデルの推定方法メモ, 2009.
- 国土交通省: 第4回(2005年)全国幹線旅客純流動調査 207 生活圏ゾーン, 2007.
- 国土交通省: 第9回 2010 年全国貨物純流動調査 報告書及び非集計データ, 2012.
- 高田裕巳・渡辺豊・山田猛敏: 海上貨物輸送機関の利用特性に関する研究, 土木計画学研究・講演集, vol.15, 1992.
- 運輸政策研究機構: 長期需要予測に関する調査 報告書, 運政機構資料 120031, 2001.
- 尹仙美・片山直登・百合本茂: トラック輸送から鉄道・フェリー輸送へのモーダルシフトモデル, 日本物流学会誌, Vol.13, 2005.
- 永岩健一郎・松尾俊彦: トラック輸送の経路選択モデルによるモーダルシフト分析, 日本航海学会論文集, 125 号, 2011.
- 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, 2002.
- 大和裕幸・山内康友: 複数の輸送機関の競合区間における貨物輸送の分担率・採算性・輸送設計に関する研究, 運輸政策研究, vol.6, No.3, 2003.
- 谷口栄一・関宏志・飯田恭敬・倉内文孝: 地域間貨物輸送における輸送手段選択の分析, 土木計画学論文集 1996.
- 松尾俊彦・鶴田三郎・黒川久幸: 発着港湾の位置とフェリー利用に関する要因分析, 日本航海学会論文集, 103 号, 2000.
- 松尾俊彦・鶴田三郎・黒川久幸・宮重徹也: わが国のトラック輸送経路選択モデルとモーダルシフト政策, 日本航海学会論文集, 104 号, 2001.
- 全日本トラック協会: 日本のトラック輸送産業 2010, 2010.
- 月刊ロジスティクス・ビジネス: トラック運賃の仕組み, <<http://www.logi-biz.com/pdf-read.php?id=1416>>, 参照 2013.
- 昭文社: MappleG-SDK 及びスーパーマップル デジタル 12, 2011.
- 全日本トラック協会: 軽油価格の影響と運賃転嫁に関する調査(平成 23 年 6 月調査結果), 2011.
- 日本内航海運組合総連合会: 燃料油価格の運賃転嫁状況アンケート調査結果について(平成 22 年 10 月現在), 2011.
- 川崎近海汽船株式会社: 八戸～苫小牧航路燃料油価格変動調整金一覧表, 2010.
- 共栄運輸株式会社・北日本海運株式会社: 燃料油価格変動調整金導入のお知らせ, <http://www.seikan-ferry.co.jp/information_nenryou.html>, 参照 2013.3.
- 太平洋フェリー株式会社: 「燃料油価格調整金」改訂のお知らせ, <<http://www.taiheiyo-ferry.co.jp/kamotsu/news/20100922.html>>, 参照 2013.3.
- 交通日本社: 改訂 10 年版 貨物運賃と各種料金表, 2010.
- カーゴニュース: 主要荷主の運賃・倉庫料金の実態<第 32 回改訂版平成 22 年 12 月調査>, 2011.
- 株式会社ゴーガ: 高速道路料金データ 2010.
- 国土交通省: 高速道路の無料化社会実験, <http://www.mlit.go.jp/road/road_fr4_000009.htm>

- l>, 参照 2013.3.
- 30) NEXCO 東日本: 大口・多頻度割引制度について,
<http://www.driveplaza.com/etc/frequency_discount/>, 参照 2013.3.
- 31) NEXCO 中日本: 大口・多頻度割引制度,
<<http://www.c-nexco.co.jp/navi/discount/frequency/>>, 参照 2013.3.
- 32) NEXCO 西日本: 大口・多頻度割引,
<<http://www.w-nexco.co.jp/etc/frequency/>>, 参照 2013.3.
- 33) 運輸図書: 一般貨物積合わせ運賃 料金早見表, 1999.
- 34) 久保幹雄, 松井知己, 田村明久: 応用数理計画ハンドブック, 朝倉書店, 2002.
- 35) 海上保安庁: 距離表, 書誌第 405 号, 2003.
- 36) 日本海事通信社: 2010 秋季号 フェリー・旅客船ガイド, 2010.
- 37) 国土技術政策総合研究所 道路研究室・港湾システム研究室: 輸送貨物の価値に着目した貨物流動分析の基礎データ(貨物 OD データ)の構築手法-物流分析基盤の構築-, 国土技術政策総合研究所資料 No.575, 2010.
- 38) 日本海事通信社: フェリー・旅客船ガイド 2010 秋季号別冊付録 内航 RORO 船ガイド No.17, 2010.
- 39) 海上定期便の会: 2010 年版海上定期便ガイド, 2010.
- 40) 日本内航海運組合総連合会: 国内コンテナフィーダーに関する研究, 2011.
- 41) Yves Croissant: mlogit : multinomial logit model, <<http://cran.r-project.org/web/packages/mlogit/>>, 参照 2013.3.
- 42) 青木繁伸: R による統計解析, オーム社, 2009.
- 43) The R Project : The R Project for Statistical Computing, <<http://www.r-project.org>>, 参照 2013.3.
- 44) R.NET Project : <<http://r.dotnet.codeplex.com/>>, 参照 2013.3.
- 45) 交通工学研究会: やさしい非集計分析, 1993.