ユニットロード貨物の陸海複合輸送シミュレーションを用いた 施策評価手法の開発

ー内航輸送へのインセンティブ制度の評価ー

正会員 松 倉 洋 史* 正会員 瀬 田 剛 広*

Development of Evaluation Method of Measures and Policies for Unit Load Land and Sea Intermodal Transportation
- Analysis of Incentive System for Coastal Shipping -

by Hiroshi Matsukura, Member Takahiro Seta, Member

Summary

To promote maritime coastal container feeder and modal shift we developed an evaluation method of measures and policies for unit load land and sea intermodal transportation. The method uses generalized cost model expanded with correction terms (residual generalized cost terms) to estimate cargo transportation route. Its origin-destination mesh of domestic cargo has 207 livelihood spheres and its transportation model doesn't abbreviate any coastal sea routes and ports which appear in targeted cargo history data. By calibrating the correction terms semi-automatically the system achieved highly accurate transportation reproduction although the simulation model is precise. This paper describes the above method and shows the analysis result of coastal cargo incentive policy as an example problem.

1. 結 言

輸出入海上コンテナ貨物や国内ユニットロード貨物に関し、内航フィーダー輸送の拡大やモーダルシフトの推進が求められている¹⁾²⁾。これまで産学官の多方面にわたる努力により一定の成果が得られてきたものの、国際競争力の強化、地球温暖化ガスの排出削減、少子高齢化対策等のため更なる進展が求められている。

著者らは、内航フィーダー輸送拡大及びモーダルシフト推進施策の検討に資するため、全国の輸出入コンテナ貨物(以下、輸出入貨物)及び国内発かつ国内着のユニットロード貨物(以下、国内貨物)を対象とした海運施策評価シミュレーションシステムを開発してきた。本システムは、従来の犠牲量モデルに補正項(残余犠牲量項)を加えて拡張した犠牲量モデルを用いて貨物の輸送経路の推定を行うものである。

犠牲量モデルを用いて国内貨物の輸送経路を推定したものに文献 3)がある。文献 3)では従来の犠牲量モデルに端末距離由来の修正項及び補正項を加えた拡張犠牲量モデルを用い、貨物推定量が輸送実績量と合うように補正項を調整するというアプローチをとっている。本論文ではこれを発展さ

せ、補正項の調整をほぼ自動で行うことで、国内貨物だけでなく輸出入貨物も対象とし、全国を対象に 207 生活圏⁴⁾レベルの詳細な貨物発着地を用い、かつ国内航路・港の省略のないモデルを用いた上で、高い精度の現状再現を行うことを可能とした。これまでも犠牲量モデルを用いて国内貨物の流動を扱った研究³⁾⁵⁾⁶⁾や、輸出入貨物の流動を扱った研究⁷⁾⁹⁾が行われてきた。しかし本論文のように詳細かつ全国的なモデルを用い、高い精度の現状再現を行っているものではなく、その点が本研究の特徴となっている。

本報告では上記について述べると共に、例題として、(従来広く行われているような港湾に関してではなく)内航輸送自体にインセンティブ制度を導入する施策の検討結果を示す。

2. 輸送のモデル化

2.1 輸送パターン

国内貨物として一般貨物¹⁰⁾を、輸出入貨物として海上コンテナで輸送される貨物(一般貨物及びばら積み貨物)を扱う。

なお以下でトラック、トレーラ、海上コンテナはそれぞれ 10 トントラック、12m トレーラ、40ft コンテナを想定する。

(1) 国内貨物

貨物輸送を 5 種類のパターンに集約する。

* 独立行政法人 海上技術安全研究所

原稿受理 平成 28 年 2 月 29 日

a) トラックのみ

陸路のみで貨物をトラックで輸送する。

b) トラック+フェリー

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

c) トレーラ+フェリー(トラクタなし)

貨物をトレーラで輸送し、一部区間でフェリーを利用する。

d) トレーラ+RORO 船(トラクタなし)

貨物をトレーラで輸送し、一部区間で RORO 船を利用する。

e) 12ft コンテナ+コンテナ船・一般貨物船

貨物を 12ft コンテナ(5 トンコンテナ)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する。

なお、内航のコンテナ船と一般貨物船は、船速やコンテナの荷役手続き等がフェリーや RORO 船に比して類似しているため、同一とみなして扱う。また鉄道については、重量ベースでシェア 0.8%と現状では輸送量が小さく¹¹⁾、海運と部分的に貨物の取り扱いになったとしてもモダリティシフトの量・割合にはあまり大きな影響を与えないと考えられるため、シミュレータの複雑さに与える影響も勘案してここでは取り上げないこととした。

(2) 輸出入貨物

貨物輸送を2種類のパターンに集約する。

a) 40ft コンテナ+トラクタ

国内では陸路は貨物を 40ft コンテナによりトラクタで輸送し、外航路はコンテナ船を利用する。

b) 40ft コンテナ+コンテナ船・一般貨物船

国内では陸路は貨物を 40ft コンテナによりトラクタで輸送すると共に、一部区間でコンテナ船か一般貨物船で海上フィーダー輸送し、外航路はコンテナ船を利用する。

2.2 貨物データ

(1) 国内貨物

国土交通省の第9回2010年全国貨物純流動調査結果¹¹⁾の非集計データのうち、空路あるいは鉄道使用、同一生活圏内流動、発着地が離島のものを除いた一般貨物を用いる。

(2) 輸出入貨物

国土交通省の平成20年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査¹²⁾の非集計データを用いる。なお、フレートトンとメトリックトンの換算係数は、文献13)によるとフェリー貨物でないものが 0.919[MT/FT]、フェリー貨物が 0.124[MT/FT]である。文献11)から海運全体に占めるフェリー輸送量の割合は重量ベースで8%弱であることから、ここでは簡略化して輸出入貨物は1フレートトンと1メトリックトンとみなす。

国内貨物・輸出入貨物共に、計算時間短縮のため乱数を用いてデータサイズを 1/10(国内貨物約 5.0 万件、輸出入貨物約 3.2 万件)¹⁾にして用いる。

2.3 発着地・港湾・航路

(1) 貨物発着地

国内については文献4)に従い、Fig.1のように国内貨物・輸出入貨物共に全国を207の生活圏に分割し、中心的な自治体の役所所在地を貨物の発着地とする。

海外については、日本を除く世界を24の地域に分割し、Fig.2のように各地域に代表港湾を定めて発着地とする。

Fig.1 207 livelihood spheres and 88 domestic ports.

Fig.2 24 representative foreign ports.

(2) 使用港湾

使用した貨物データに出現した国内港(88港)は省略なく全て用いる。国内貨物データについては港湾の機能上の分類は行わなかったが、輸出入貨物データについては、国内港を中枢港(中枢国際港湾である東京、横浜、川崎、名古屋、四日市、神戸、大阪、下関、北九州、博多の10港)と地方港(55港)、海外港(代表港湾)を、日本近海のフィーダー港(中国北部・中部・南部、韓国、台湾、シンガポールの6港)と非フィーダー港(18港)に分類して用いる。

¹⁾ 母集団におけるある特性の分布形状が正規分布のとき、標本誤差3%、信頼水準99%、回答比率を(安全側の仮定をおき)0.5とすると必要サンプル数は1,849個となる¹⁴⁾を参考に算出。

本件の各種特性の正確な分布形状は不明ではあるが、ここでは数万件のサンプル数を用いていることから母集団の特性を推定するには十分と見做すこととする。

(3) 陸上輸送経路

経路上では有料道路も利用可能とし、「生活圏－生活圏」及び「生活圏－国内港湾」の全組合せを最短時間で移動可能な経路を用いる。

(4) 国内貨物用航路

使用した貨物データが利用した全ての航路を対象とする。その際、フェリー・RORO 船・コンテナ船等、船種が異なれば、費用・所要時間等の航路特性も大きく異なるため、違う航路として扱う。

(5) 輸出入貨物用航路

内航部分については、使用した貨物データが利用した全ての航路を対象とする。

外航部分については設定した港間の全ての航路を想定し、文献 15)を参考に、東西基幹航路及びフィーダー港間の航路(基幹航路の一部であることも多い)については 6,000TEU 積のコンテナ船、それ以外については 2,000TEU 積のコンテナ船による輸送とみなした。航行速度は文献 13)より、6,000TEU 積のコンテナ船が 24.5 ノット、2,000TEU 積のコンテナ船が 20.9 ノットとする。

2.4 輸送機関等の各種属性

輸送ルートをシミュレーションで推定するためには、所要時間や輸送費用等の各種属性を得る必要がある。以下、設定について述べる。なお、国内輸送については文献 16)をベースに修正を加えた。

(1) 輸送距離

陸上輸送距離は全国総合交通分析システム NITAS¹⁷⁾を用いて計算した。この際、同時に所要時間と有料道路料金も算出される。

国内外の港間の航路距離は、必要な航路ネットワークを作成した上で著者らの所属機関が保有する既存プログラムで計算する。

計算時間の短縮のため、両者ともあらかじめ必要な全ての経路を計算したデータベースを作成して用いる。

(2) 所要時間

陸上輸送の移動所要時間は(1)を用い、海上輸送の移動所要時間は、輸送距離を船型ごとの標準的な船速¹³⁾で(外航船については 2.3(5)で既述¹³⁾)割って求める。

更に輸送パターンに応じ、港湾の地域・種別・規模毎に平均的な荷役時間、乗下船時間、横持ち所要時間、通関時間、海外フィーダー港のトランシップ時間等を加える。

a) 荷役時間

ここでの荷役時間はコンテナを対象としており、搬入後の荷積み待ち時間あるいは荷揚げ後の搬出待ち時間を含む。また、輸出入貨物の場合は通関時間を含むものとする。

内航コンテナ船において、コンテナは一般に入出港日の前日搬入・翌日搬出が基本であることから、上記相当時間として 24 時間を想定する。

外航コンテナ船においては、国内の輸出港あるいは輸入港の荷役時間は全国一律と見做す。また海外側の最終の船卸港あるいは最初の船積み港は貨物により不変であるため、任意の値を設定しても貨物経路推定結果に差は生じない。以上より外航コンテナ船の荷役時間としては国内港・海外港でそれぞれ共通のダミー値を設定する。

b) 乗下船時間

フェリーのトラック乗下船時間を文献 18)より 2 時間と設定し、トレーラの乗下船時間を 3 時間とする。後者は、トレーラはトラックよりも先の積込みを求められることが多いため、トラックより 1 時間多く想定したものである。

また、文献 18)より RORO 船のトレーラ乗下船時間を 4 時間と設定する。

c) 横持ち所要時間

同一国内港において内・外航船間あるいは内航船間で船を乗り換える際に、通常の荷役時間あるいは乗下船時間に加えて必要となる時間である。横持ちの所要時間は船舶の組合せや港湾レイアウト・手配の状況により多様であり数値化は容易ではない。ここでは上記より時間がかかる点を組み込むことを優先し、一括して 6 時間と設定する。

d) 海外フィーダー港のトランシップ時間

文献 13)より 24 時間と設定する。

(3) 輸送費用

契約価格は地域・時期・期間・規模等の契約条件や契約者間の関係性等により多様であり、また最も社外に提供されない情報の一つである。ここでは各種文献調査及び分析等により、以下のように輸送費用単価を設定する。

なお、輸送の総費用の算出時には下記要素を用いると共に、文献 19)の算出ルールに従って必要な費用を集計した。

a) 10 トントラック陸上運賃

文献 19)の一般貨物自動車運送事業貸切運賃料金表を用い、10 トン車の上限值と下限値の平均を運輸局ごとに計算した上で、全運輸局に関して平均することで式(1)の関係式を求めた。ここで d_{road} は陸上距離[km]、 C は運賃[円/台]を示す。

なお、上述の表は旧運輸省の平成 11 年標準運賃表(タリフ)と同等である。タリフは平成 11 年度をもって廃止されたが、現在でもトラック業界の価格交渉の基準として利用されることが多く²⁰⁾参考となる。

$$C = 164d_{road} + 25777 \quad (1)$$

b) 12m トレーラ陸上運賃

文献 19)の内航海上輸送システム網の 12m トレーラ集配料金を基に、陸上距離 d_{road} [km]、運賃 C [円/台]として、発着港が沖縄外にある場合の(2)式と、沖縄にある場合の(3)式とを求めた。ただし、200km 以遠(沖縄は 100km 以遠)の運賃は上述の料金表には記載されていないことから、

(2)(3)式の後段の式は文献 19)記載の一般貨物自動車運送事業貸切運賃料金表(18 トントラック)の運賃上昇率を参考に定めた。

$$\begin{cases} C_{\text{Okinawa}} = 244.3d_{\text{road}} + 16937 & (d_{\text{road}} < 200) \\ C_{\text{Okinawa}} = 194.5d_{\text{road}} + 26897 & (d_{\text{road}} \geq 200) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} C_{\text{Okinawa}} = 813.9d_{\text{road}} + 24045 & (d_{\text{road}} < 100) \\ C_{\text{Okinawa}} = 647.8d_{\text{road}} + 40655 & (d_{\text{road}} \geq 100) \end{cases} \quad (3)$$

c) 12ft コンテナ陸上運賃

12m トレーラと同様に、文献 19)の内航海上輸送システム網の 12ft コンテナ集配料金を基に、陸上距離 d_{road} [km], 運賃[円/台]として(4)式を求めた。

$$\begin{cases} C = 151.2d_{\text{road}} + 8915 & (d_{\text{road}} < 200) \\ C = 104.1d_{\text{road}} + 18335 & (d_{\text{road}} \geq 200) \end{cases} \quad (4)$$

d) 40ft コンテナの陸上運賃

文献 19)の国際大型海上コンテナ(40ft コンテナ)運送料金を基に、トラック運賃と同様に陸上距離 d_{road} [km], 運賃 C [円/FEU]として、下記により定式化した。

$$\begin{cases} C = 743d_{\text{road}} + 26130 & (0 \leq d_{\text{road}} < 100) \\ C = 472d_{\text{road}} + 53220 & (100 \leq d_{\text{road}} < 200) \\ C = 334d_{\text{road}} + 80947 & (200 \leq d_{\text{road}} < 500) \\ C = 219d_{\text{road}} + 138030 & (500 \leq d_{\text{road}}) \end{cases} \quad (5)$$

e) フェリー運賃(トラック・12m トレーラ)

標準的なサイズとして 10 トントラック及び 12m トレーラ(トラクタを除く)を全長 12m とみなし、文献 21)の幹線航路の運賃を基に、航海距離 d_{voyage} [海里]と運賃 C [円/台]の関係式を求めた。

$$\begin{cases} C = 221.47d_{\text{voyage}} + 12216 & (d_{\text{voyage}} < 282) \\ C = 380.27d_{\text{voyage}} - 32539 & (d_{\text{voyage}} \geq 282) \end{cases} \quad (6)$$

f) RORO 船運賃

文献 19)の内航海運システム網の記載を基に、12m トレーラの RORO 船運賃(両端荷役料金込み)を、直航時の航海距離を d_{voyage} [海里], 運賃を C [円/台]とした以下の式で近似した。

$$\begin{cases} C = 155.9d_{\text{voyage}} + 20815 & (d_{\text{voyage}} < 600) \\ C = 754.2d_{\text{voyage}} - 338165 & (d_{\text{voyage}} \geq 600) \end{cases} \quad (7)$$

g) 12ft コンテナ海上運賃

文献 22)の内航コンテナフィーダー網の運賃を基に、直

航の航海距離 d_{voyage} [海里]を説明変数とした運賃(両端荷役料金を除く)[円/台]の近似式(8)を作成した。

作成にあたっては、まず 40ft コンテナの海上運賃と 20ft コンテナの海上運賃とから、コンテナサイズ F [ft]とその際のコンテナ海上運賃 C , 及び 20ft コンテナの海上運賃 C_{20ft} との関係式(9)を仮定し、各航路について 20ft コンテナ海上運賃を 12ft コンテナ海上運賃[円/台]に換算してプロットし近似式(8)を求めた。

$$C = 20.4d_{\text{voyage}} + 13800 \quad (8)$$

$$C = (0.0215F + 0.57)C_{20ft} \quad (9)$$

h) 40ft コンテナ内航運賃

文献 22)をもとに 40ft コンテナの内航運賃(両端荷役料金を除く)[円/台]の近似式(10)を作成した。

$$C = 44.4d_{\text{voyage}} + 20420 \quad (10)$$

i) 40ft コンテナの外航運賃

文献 13)より、航海日数を D_{voyage} [日]とし、2,000TEU 積み及び 6,000TEU 積みのコンテナ船の運賃[円/FEU]をそれぞれ $C_{2000\text{TEU}}$, $C_{6000\text{TEU}}$ として式(11)を用いる。

$$\begin{cases} C_{2000\text{TEU}} = 12220D_{\text{voyage}} + 8580 \\ C_{6000\text{TEU}} = 8190D_{\text{voyage}} + 4990 \end{cases} \quad (11)$$

j) 国内港でのコンテナ荷役費用

内航コンテナ船の荷役費は文献 22)記載の実勢値を用いる。一方、外航コンテナ船の荷役費としては文献 22)では京浜港及び阪神港の実勢料金のみが記載されている。そこで、文献 19)で求めたタリフの荷役料金比率(=当該港の荷役費/5 大港の荷役費)を京浜港・阪神港実勢料金平均に乗じて各港の実勢料金を設定する。

なお、内外航とも 12ft コンテナの荷役料金は、文献 19)の記述から 20ft コンテナの料金を適用した。

k) 海外貨物発着港でのコンテナ荷役費用

海外側の最終の船卸港あるいは最初の船積み港は貨物毎に不変である。任意の値を設定しても貨物経路推定結果に差は生じないため、任意のダミー値を設定する。

l) 海外フィーダー港のトランシップ料金

文献 23)の値を用いた。ただし、中国北部港については上海のトランシップ料金を用いる。

m) 横持ち費用

文献 22)には京浜港及び阪神港の横持ち実勢料金が記載されている。一方、文献 19)には港毎の横持ち費用は記載されていない。ここでは荷役料金比を横持ち料金比と見做すこととし、文献 19)で求めたタリフの荷役料金比率(=当

該港の荷役費/5 大港の荷役費)を京浜港・阪神港実勢料金平均に掛けて各港の実勢料金を設定する。なお、12ft コンテナの横持ち料金は文献 19)の記述より、20ft コンテナの料金を援用することとした。

n) 車両留置き料

文献 19)に従い、車両種類別に定められた車両留置き料の上限値と下限値の平均を用い、適用方に従って計算する。

なお、上記で a)～f)及び n)はタリフであり、実勢料金よりも高額であると予想される。これらに対し、文献 24)を参考に平均的な割引率として 3 割を仮定する。

2.5 候補ルート計算

あらかじめ算出した海陸の輸送経路要素(2.3 参照)を組み合わせ、貨物の発地から着地までの輸送候補ルートを事前に計算しておく。

(1) 国内貨物

「生活圏→生活圏」「生活圏→国内港→(海路)→国内港→生活圏」「生活圏→国内港→(海路)→国内港→(海路)→国内港→生活圏」の 3 パターンのルートを総当たりで組合せる。

(2) 輸出入貨物

「生活圏→中枢港→海外港」「生活圏→中枢港→海外フィーダー港→海外港」「生活圏→地方港→海外港」「生活圏→地方港→海外フィーダー港→海外港」「生活圏→中枢港→中枢港→海外港」「生活圏→地方港→中枢港→海外港」「生活圏→地方港→地方港→海外港」の 7 パターンのルートを総当たりで組合せる(上記では、フィーダー港と非フィーダー港を併せて海外港と表記。また、記載は輸出を例にしてあり、輸入は矢印の向きが逆となる)。

ただし、組合せが膨大となるのを防ぐため、(1)(2)とも、組合せ結果のうち各発着地の組中の最短ルートから 1.5 倍以上の距離のものは足切りする。

2.6 ルート選択モデル

貨物輸送は商業活動の一部であるため、ルート決定は広義の費用に基づくと考えられる。ここで広義の費用とは、実費用、時間価値に基づく費用だけでなく、頻度・遅延リスク・貨物損傷リスク・使い勝手・心理的抵抗感等を費用換算した、ルート決定に影響する全ての客観的・主観的費用の合計(広義の犠牲量)である。

本研究ではルート選択モデルとして、従来の犠牲量モデルの構成要素に残余犠牲量項を加えた拡張犠牲量モデルを用いる。上記の犠牲量 S は輸送費用を C [円]、貨物の時間価値を ω [円/時間]、輸送所要時間を T [時間]、残余犠牲量項を A [円]とすれば下式および Fig.3 のように表せる。

$$S = C + \omega T + A \quad (12)$$

Fig.3 Constitution of extended sacrifice.

ここで残余犠牲量項 A は、前述の広義の費用構成要素に、 C 及び ωT の誤差を加えたものである。 A を調整することで、実際の輸送を精度高く再現することが可能である。

3. シミュレーションシステムの開発

3.1 構成

計算の構成を Fig.4 に示す。発着地・港湾・航路等の各種の入力データ及び計算設定値から、貨物 OD データをデコード・整形・抽出・サンプリングすると共に、航路距離・道路距離等を含む様々な経路属性をあらかじめ計算し、結果を組み合わせ、候補ルートを作成する。それらを入力としてチューニング及びルート推定計算を行い、結果と各種ログを出力する。

Fig.4 Simulation calculation structure.

3.2 実装

システムは Visual C#.Net を用いてフルスクラッチで開発した(Fig.4 の点線を除いた部分)。

なお、計算は 8GB のメモリを搭載した Core i7 3.4GHz の Windows PC で実施した。輸出入・国内貨物をあわせて Fig.4 のルート推定計算 1 回(チューニングを除く)に要する時間は約 7 分である。

4. 貨物輸送モデルのチューニング

4.1 時間価値

文献 25)で述べられているように貨物の時間価値としては様々な値が求められている。それらには 10 倍を超える差が

あることもあるが、それぞれに合理性がある。ここでは時間価値をシステムのチューニングパラメータととらえ、外部に求めるのではなく、開発したシステムを用いてチューニングすることによって内生的に求めることとする。

具体的には、式(12)の残余犠牲量項 A を全て 0 とした上で品類区分毎に時間価値を変えていき、国内貨物では港毎の扱量、輸出入貨物では輸出入港での扱い量を推定し、実績値との間で最小二乗法による原点通過の線形近似式を求めて、その係数が 1 に近くなる値を用いる。ここで国内貨物については農水産品、林産品、金属機械工業品、軽工業品、排出物、特殊品の 6 区分に分類し、輸出入貨物については基本となる 9 分類である農水産品、林産品、鉱産品、金属機械工業品、化学工業品、軽工業品、雑工業品、排出物、特殊品に対し、輸出・輸入の 2 種類および基幹航路・その他航路の 2 種類を加味した計(9×2×2=)36 区分に分類した。

犠牲量モデルを用いると、わずかな犠牲量の違いで、大きく貨物の流れが変化することがある²⁶⁾。そこで、時間価値や残余犠牲量項のチューニング時、及び貨物ルート推定時には、時間価値を乱数で定めるモンテカルロ計算(20 回)を実施する。なお、上記のチューニング手続きからは標準偏差の大きさに関する情報は得られないことから、ここでは文献 5)9)を参考に標準偏差を平均の 1/3 と置いた。

4.2 残余犠牲量項

残余犠牲量項 A は内航航路毎に 1 つ、及び輸出港及び輸入港毎に 1 つ必要となり数が多い。今回使用した貨物 OD を扱うのに必要な値は国内貨物用に 126 個、輸出入貨物用に 185 個であり、人手による調整は現実的ではない。そこで、以下の単純なチューニング機構をプログラムに装備する。

$$\begin{cases} v_{\text{est.}} - v_{\text{act.}} > 0 & \cdots A_{n+1} = A_n + A_{\text{step}} \\ v_{\text{est.}} - v_{\text{act.}} < 0 & \cdots A_{n+1} = A_n - A_{\text{step}} \\ v_{\text{est.}} - v_{\text{act.}} = 0 & \cdots A_{n+1} = A_n \end{cases} \quad (13)$$

上式で $v_{\text{act.}}$ は港湾扱量あるいは航路輸送量の実績値、 $v_{\text{est.}}$ はそれらの推定値、 A_n は残余犠牲量項、 A_{step} は調整幅である。

調整実施時には、式(13)により A の調整を反復して行い、殆どの航路で A が振動するようになったところで A_{step} をそれまでの 1/2 に縮小する。今回、 A_{step} として当初 1,024 円/トンからはじめ、 A_{step} が 1 円/トンになるまで続ける。

Fig.5 に残余犠牲量項のチューニング値の推移イメージを示す。全ての残余犠牲量項(A 値)が 0 から始まり(反復回数 0 回時)、当初は大きな幅(A_{step})で調整が行われるが、反復を重ねるに従い残余犠牲量項が振動的に推移するようになった(反復 25 回頃)後、調整幅が半減される。これを繰り返すことでチューニングが進行する様子が示されている。

Fig.5 Example snapshot of parameter (A) tuning process.

また内航輸送された貨物について、従来の犠牲量の大きさに対し内航路部分²⁾の残余犠牲量項 A がどの程度の割合となっているのかを Fig.6 に示す。図は上記値を貨物毎に計算し、昇順に並べたものである。ただし、国内貨物・輸出入貨物を比較するため、横軸は貨物総数が 100% となるよう規格化して示してある。結果を見ると国内貨物は横軸を挟んでプラス領域・マイナス領域共に存在するが、輸出入貨物は殆どがマイナスの値である³⁾。従来の犠牲量式では輸出入貨物における内航フィーダーの優位性(例えば他輸送モードの手配が不要、長期・大量契約による値引き、取引実績があるための安心感等)を評価できていないからと推察される。

Fig.6 Percentage of A to conventional generalized cost.

4.3 パラメータのチューニング結果

チューニング後の貨物扱量推定値の年間換算値を Fig.7 に示す。航路輸送容量等の制約を課したモデルではないにも関わらず、非常に良い一致を示している。

図右側の拡大図を見ると、扱量が少ない港であっても一致

²⁾ 輸出入貨物については全ての輸出入港で A 値が設定されるが、内航路のように競合する陸路が基準となっていないため絶対値自体に意味はなく、港間の相対値のみ意味を持つ(仮に全ての輸出入港での A 値に一律 1,000 円/トンを加えても同じ経路推定結果となる)。そこでここでは内航路のみの A 値を従来の犠牲量の値と比較する。

³⁾ 貨物量を実績値と合わせるには、従来式による犠牲量(コスト)を A によって強制的に減らす(有利にする)必要があることを意味する。減らした分が本来評価されるべきだった優位性である。

度が高い上、殆どの点が縦軸及び横軸から離れて均衡状態となっている(仮に点が軸上にあるときは、大きく残余犠牲性量項を変化させても貨物取扱推定量が変化しない場合もある)。そのため良好な感度解析結果を期待できる。

ただし、輸出入貨物の輸出港湾取扱量(a)と輸入港湾取扱量(b)、及び国内貨物の内航輸送量(d)に比べて、輸出入貨物の内航輸送量(c)は実績値と推定値の差異が比較的大きい。モンテカルロ計算により時間価値を乱数で与えているため、試行の都度、輸出入港が多少変化するが、輸出入量は輸出入貨物の内航輸送量の100倍以上あるため、大きく内航輸送の発着地が影響を受けるためである。この点を考慮すれば全体として良い一致をしていると考える。

なお、本モデルでは港湾取扱量および航路取扱量のみを指標にパラメータのチューニングを行っているため取扱量の内訳(発着地や品類)迄は調整されていない。調整を行うには発着地ペア毎・品類毎においても残余犠牲性量項を設定してチューニングを行う、あるいは残余犠牲性量項を多変量解析等を基に関数形式に分解して表現する等の方策が考えられる。

Fig.7 Cargo amount estimation result after parameter tuning.

4.4 考察

推定モデルを作成する際には過剰適合(オーバーフィッティング)を避けるためになるべく少数のパラメータを用いてモデル化を試みるのが一般的である。一方、本システムでは現状再現性能を優先し、残余犠牲性量項を分解せず、敢えて多数用いてチューニングを行った。

この場合、未知の航路については残余犠牲性量項の値を設定できないため、分析対象とはならない。一方、既存航路については、感度解析の対象が直接的な費用増減項目であれば問題はないと考える。

5. 施策評価

港湾が40ftコンテナ貨物に対し、1本あたり1万円程度の金銭補助を行う事例(いわゆる港湾インセンティブ制度)は広く見られるが、航路自体に補助を行う制度は普及していない。そこで、内航フィーダー輸送拡大及びモーダルシフト推進の施策例として航路補助を取り上げる。具体的には、内航輸送を行った国内貨物及び輸出入貨物に対し、新規/継続に関わらず貨物1トンあたり一定額の金銭補助を行うことを考える。

5.1 基準施策

内航貨物に対し、200円/トンの補助を行う。シミュレータによる評価の結果、必要予算額は年68億円弱であり、輸出入貨物の陸上フィーダー輸送あるいは外航輸送、及び国内貨物の陸上輸送から、内航輸送への貨物移行量は年589万トン(施策実施前の内航貨物¹¹⁾¹²⁾の21%)であった。

5.2 基準施策の効果分析

(1) 感度(補助効果)の分布

補助額200円/トン時の航路毎の感度(=施策有りでの輸送量/施策無しでの輸送量)をFig.8に示す。対象となるのは195本の内航路である。

図より、航路によって感度が大きく異なることが分かる。順位が上位の航路ほど大幅に高い感度を期待できる一方、順位が後半の航路では、感度が1.2倍未満にとどまっている。これは航路によって陸路との競合程度が異なるためと推察される。また、感度が1未満の航路はあるものの数は少ない。本施策ではほとんど内航貨物の取り合いとはなっていないことが分かる。

内航路の距離と感度の関係をFig.9に示す。遠距離の航路は費用・時間共に大きくなるため貨物1トン当たりの犠牲性も大きい。重量当たり一律の補助である補助総額の割合は低くなるため、中近距離の航路に比べて感度が低くなる傾向が観察できる。

Fig. 8 Cargo amount sensitivity of subsidy (¥200).

Fig. 9 Domestic seaway distance and cargo amount sensitivity of subsidy (¥200).

(2) 感度比(補助増額効果)の分布

補助単価を倍の400円/トンとした際の感度を(1)と同様に評価し、感度比(=400円補助時の感度/200円補助時の感度)を計算した結果をFig.10に示す。順位が上位の航路では高い感度比、すなわち増加額に見合う効果を期待できるが、下位になるほど増加額ほどには効果を見込めないことが分かる。

また、内航路の距離と感度比の関係をFig.11に示す。(1)と同様に、遠距離航路では中距離の航路に比べて感度が低くなる傾向があることが分かる。

Fig. 10 Cargo amount sensitivity ratio of subsidy (¥400/¥200).

Fig. 11 Domestic seaway distance and cargo amount sensitivity ratio of subsidy (¥400/¥200).

5.3 施策改良例

上記の検討を基に、以下の期間3年の施策を考える。

(1) 施策内容

費用対効果を高めるため、感度の高い航路へ重点的に補助を充てる。その際、公平感・客観性・事業者の営業努力喚起を考え、以下の手順とする。

- ・1年目：基準施策と同様に、内航ユニットロード貨物を輸送する全内航航路に対し、一律に輸送貨物へ200円/トンの補助を行う。
- ・2・3年目：1年目に感度実績の高かった航路順に、上位1/4までは補助単価を倍の400円/トンとし、上位1/4～1/2は単価据置き、下位1/2は補助を停止する。

なお、激変緩和措置として400円/トン補助の航路のみ、4年目に200円/トンの補助を支給することも有用である。

(2) 評価結果

基準施策を3年間続けた場合と、(1)の施策例を実施した場合の移行量及び必要予算額を評価した結果をTable 1に示す。本来、貨物流動の変化を金銭価値に換算して費用対効果を求めた上で相互比較を行うのが望ましいが、ここではシミュレータを用いた施策改善の例示として、簡易的に移行量の直接の相互比較により評価することとする。

シミュレータを用いた改良により、公平性・客観性を確保しつつ、陸路や近隣航路との競争のみならず、全く異なる航路の事業者間の競争を喚起すると共に、基準施策とほぼ同額の予算であっても1.4倍弱へと費用対効果を高めることが出来た。

Table 1 Policy modification effects for 3 years.

	A.基準施策		B.改良施策	
	費用[千円]	移行量[トン]	費用[千円]	移行量[トン]
1年目	6,798,620	5,891,129	6,798,620	5,891,129
2年目	6,798,620	5,891,129	6,736,586	9,154,050
3年目	6,798,620	5,891,129	6,736,586	9,154,050
計	20,395,859	17,673,386	20,271,792	24,199,228
移行量/費用	0.87		1.19	
比較(A:100%)	100%		138%	

文献22)には、内航フィーダー輸送の進まない理由として、規制・商慣習による非効率や高コストが挙げられている。ま

た、文献 27)には、モーダルシフトの進まない理由として船舶利用時の長所に関する荷主の認識不足、物流事業者の PR 不足、認可手続きに時間がかかる等が挙げられている。上記施策を定期的実施すれば、競争が促進され、事業者への認知が進む中で上記課題が改善されることで施策終了後も一定の効果を持続可能と考える。

本シミュレータでは国内貨物の輸送と輸出入貨物の輸送を同時に扱うことが可能である。そのため、輸出入貨物と国内貨物の輸送経路の相互利用等、従来あまり活用されてこなかった輸送パターンを活用することによる国内航路の有機的发展を図る施策なども検討対象となる。また、シミュレータを用いることで、あらかじめ必要予算や効果を予測しながら、効果的な施策設計を行うことが出来る。

6. 結 言

輸出入及び国内ユニットロードを対象とし、陸海複合輸送シミュレーションを用いた施策評価手法を開発した。

開発した手法では、犠牲量の補正項の調整をほぼ自動で行うことで、国内貨物だけでなく輸出入貨物も対象とし、全国を対象に 207 生活圏レベルの詳細な貨物発着地を用い、かつ国内航路・港の省略のないモデルを用いた上で、港湾あるいは航路取扱総量レベルでの高い精度の現状再現を行うことを可能とした。

本報告では上記について述べると共に、本手法が良好な現状再現性能を有すること、及び内航ユニットロード貨物への航路補助施策の改良を例題に、効果的に施策を設計可能であることを示した。

謝 辞

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 大和裕幸教授及び稗方和夫准教授には、本研究プロジェクトの当初から様々なアドバイスを頂いた。また、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コメントを頂いた。記してここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省、モーダルシフト等推進官民協議会 中間取りまとめ(国土交通省)、2011。
- 2) 国土交通省：国際コンテナ戦略港湾政策推進委員会 最終とりまとめ、2014。
- 3) 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、2003。
- 4) 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。

- 5) 黒川久幸、松浦伸枝、鶴田三郎、風間富一：時間価値分析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、2001。
- 6) 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。
- 7) 佐藤俊輔・宮田秀明・秋元博路・佐藤陽平：日中コンテナ物流における海陸複合輸送の経路選択システム、日本船舶海洋工学会講演会論文集、Vol.4、2007。
- 8) 滝沢尚士、武市祥司、秋元博路：日本発着の国際コンテナ輸送におけるネットワークとハブ港の選定と評価法、日本船舶海洋工学会論文集、Vol.11、2010。
- 9) 井山繁・渡邊富博、犠牲量モデルを用いた東アジア地域との海上コンテナ貨物流動分析の拡張、国土技術政策総合研究所資料、No.631、2011。
- 10) 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。
- 11) 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。
- 12) 国土交通省：平成20年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査、2009。
- 13) 港湾事業評価手法に関する研究委員会：港湾投資の評価に関する解説書 2011、2011。
- 14) 総務省統計局：調査に必要な対象者数、<<http://www.stat.go.jp/koukou/trivia/careers/career8.htm>>、参照 2016。
- 15) 赤倉康寛・渡部富博：東アジア域内航路の船型動向に関する分析—基幹航路の大型化によるカスケード効果の影響—、運輸政策研究、Vol.11、2008。
- 16) 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、日本船舶海洋工学会論文集、vol.18、2013。
- 17) 国土交通省：全国総合交通分析システム NITAS、Ver.2.2、2014。
- 18) 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。
- 19) 交通日本社：改訂 10 年版 貨物運賃と各種料金表、2010。
- 20) 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。
- 21) 日本海事通信社：2010 秋季号 フェリー・旅客船ガイド、2010。
- 22) 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。
- 23) 高玲：日本におけるコンテナ港の国際競争力に関する考察—スーパー中枢港湾の位置づけをめぐって—、立命館経営学、Vol.46(1)、2007。
- 24) 月刊ロジスティクス・ビジネス編集部：2012 年版カサイ式トラック実勢運賃調査、ライノス・パブリケーション

ンズ, 2012.

- 25) 瀬田剛広・松倉洋史: 犠牲量モデルを用いた実績データからの非集計時間価値推定, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.19, 2014.
- 26) 柴崎隆一・渡部富博: 東アジア圏を中心とした国際海上コンテナ貨物流動シミュレーションモデルの構築, 国総研研究報告, 第 37 号, 2009.
- 27) 国土交通省: モーダルシフト等推進官民協議会 中間とりまとめ, 2011.