

フィーダー輸送の経路を考慮した外貿コンテナ貨物の需要予測モデル

A Demand Forecasting Model for International Feeder Container Cargo
taking account of Modal Choice

中村 匡宏*

稲村 肇**

by Masahiro Nakamura and Hajime Inamura

1. 研究の背景と目的

現在コンテナ本船の寄港は東京湾、大阪湾など大都市港湾に集中している。本船による幹線輸送に対して、国内港までの輸送をフィーダー輸送という。フィーダー輸送はトラック輸送に偏っており、海上輸送等にモダールシフトする動きが高まりつつある。フィーダーコンテナはその輸送方法が荷主、船社の経済的合理性により決定される。荷主、船社による輸送方法決定による貨物需要予測の研究は数多いが、本船や内航船の配船を与えて需要を予測するケースが多い。本研究では各港湾への配船を内生的に求めるために、貨物のロットサイズ、単価に着目し、各港湾への貨物量配分を行うモデルを開発する。

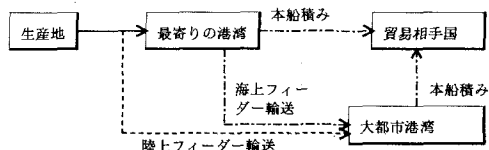


図1 フィーダー輸送のしくみ

2. フィーダー輸送のモデル化

渡辺¹⁾によれば、コンテナ貨物の輸出は、生産地でコンテナ詰めされる一貫輸送と、生産地以外でコンテナ詰めされる積み替え輸送に分けられる。また、コンテナ詰めされた貨物を本船の寄港する港湾まで輸送する際、トラック、内航船などの輸送手段が考えられる。貨物をコンテナ詰めする場所、本船に積み込む港湾、輸送モード等が荷主や船社の経済的合理性により決定されると考えられる。そこで、輸出コンテナ貨物は、生産地→コンテナ詰め地→本船積み港湾→外国、という流動パターンを構成している

ものとする。

一般の貨物輸送では、荷主がまず品目及びロットサイズを決定し、それらから輸送手段が決定される。各リンクでの輸送コスト、輸送時間は品目価格とロットサイズに依存していると考えられる。家田²⁾は、価格とロットに着目した輸送機関分担モデルを提案し、品目別に価格分布を与えることにより、最適流動ロット及び輸送機関選択確率を求めている。本モデルでは、生産地～外国までの分布貨物量を価格別ロット別に与え、価格とロットからリンクコストを算定する。求めたリンクコストから費用最小となる流動パターンを各価格各ロットごとに求めていくものである。以上の流れを図2に示す。

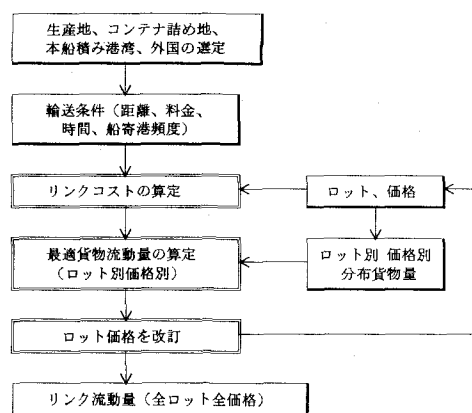


図2 計算手順

3. フィーダー輸送における流動コスト

フィーダーコンテナ貨物の場合、各リンクでのコストは輸送手段により異なり、また同じリンクを利用する貨物でも、コンテナ詰めされる前後でコストは異なると考えられる。そこで、ノードを生産地、コンテナ詰め地、本船積み港湾、外国の4種類に分けて考える。k:貨物の形態(1:コンテナ詰め前、2:

Key Words 物資流動、経路選択

* 学生員 東北大学 情報科学研究科
(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

** 正会員 工博 東北大学教授 情報科学研究科

後、3:本船)、1:流通タイプ(1:一貫輸送、2:積み替え輸送)、m:輸送機関(1:トラック、2:内航船)、a:輸送区間、とすればリンクはk, l, m, aで構成される。

流動コストとは、貨物の特性や輸送方法により異なるコストとする。フィーダー輸送において考慮すべき流動コストは次のように考える。

【輸送コスト】

輸送距離、輸送ロットにより変化すると考えられる。輸送料金と距離、ロット、距離×ロットで重回帰分析を行いパラメーターを推定する。

$$U_a^{km} = \beta_0^{km} + \beta_1^{km} d_a^{km} + \beta_2^{km} w + \beta_3^{km} d_a^{km} w$$

U_a^{km} : 輸送料金(円)、 d_a^{km} : 距離(km)、 w : ロットサイズ(t)、 β_i^{km} : パラメーター($i=0\sim3$)
推定されたパラメーターより輸送コストは次のように求められる。³⁾

$$u_a^{km}(w) = \frac{(\text{固定コスト})}{(\text{ロットサイズ})} + (\text{変動コスト})$$

$$= \frac{\beta_0^{km} + \beta_1^{km} d_a^{km}}{w} + (\beta_2^{km} + \beta_3^{km} d_a^{km})$$

$u_a^{km}(w)$: 輸送コスト(円/t)

【在庫コスト】

輸送時間及び滞留時間をコストに換算するために次のように定義する。⁴⁾

$$v_a^{km}(p) = (\text{金利}) \times (\text{単価}) \times (\text{輸送時間} + \text{滞留時間})$$

$$= r p (t_a^{km} + f_a^k/2)$$

$v_a^{km}(p)$: 在庫コスト(円/t)、 r : 金利、 p : 品目価格(円/t)、 t_a^{km} : 輸送時間(時間)、 f_a^k : 寄港周期(時間)

【バンニングコスト】

コンテナトラックの輸送コストにバンニングコストを加える。ただし、一貫輸送の場合は既にバンニングされているものとし考慮しない。

b^l : バンニングコスト(円/t)

【荷役コスト】

本船積みされる港湾及び内航船に積み込まれる港湾(=コンテナ詰め地)において荷役を考慮する。

n^m : 荷役コスト(円/t)

4. リンクコストと最適貨物流動量の算定

リンクを利用する貨物には、特性(ロット、価格)があり、各リンクの総コストは、貨物特性によって変化する。総コストはロット、価格の関数として次

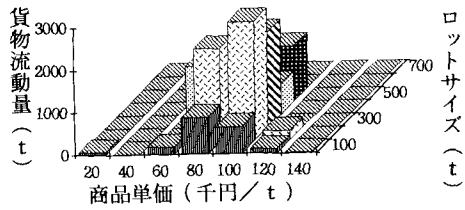


図3 貨物の価格ロット分布

のように定式化される。

$$c_a^{klm}(w, p) = u_a^{km}(w) + v_a^{km}(p) + b^l + n^m$$

$c_a^{klm}(w, p)$: リンクの総コスト(円/t)

各リンクの貨物流動量には図3のようなロット、価格の分布が存在する。総コストにロット、価格の分布が存在するので、最適なロット、品目の分布を各リンクに配分すればよい。したがって、最小化する目的関数は次のように定式化される。

【目的関数】

$$\sum_k \sum_l \sum_m \sum_a \sum_{A_k} \int_w \int_p c_a^{klm}(w, p) x_a^{klm}(w, p) dw dp$$

$x_a^{klm}(w, p)$: リンクの貨物流動量(t)、 A_k : 輸送区間aの集合、 M_k : 輸送機関mの集合、 L_k : 流通タイプlの集合

【制約条件】

$$A^{ij} = \int_w \int_p a^{ij}(w, p) dw dp$$

$$a^{ij}(w, p) = \sum_{b \in B_{ij}} h_b^{ij}(w, p)$$

$$x_a^{klm}(w, p) = \sum_{i,j} \sum_{b \in B_{ij}} \delta_a^{klm, ij} h_b^{ij}(w, p)$$

A^{ij} : ij間の分布貨物量(t)

$a^{ij}(w, p)$: ij間のロットw価格pの分布貨物量

B_{ij} : ODペアijの輸送経路(パス)bの集合

$h_b^{ij}(w, p)$: ODペアijの輸送経路bの貨物量

$$\delta_a^{klm, ij} = \begin{cases} 1 & \text{パスbがリンクを利用する} \\ 0 & \text{パスbがリンクを利用しない} \end{cases}$$

5. パラメーターの推定

距離、ロットサイズと輸送料金の関係を示すデータとして、トラックは一般区域貨物自動車運送事業の運賃料金⁵⁾を、また内航船は海運・港湾事情調査報告書⁶⁾に示された平均片道運賃水準を用いてパラメーター推定を行った。推定結果を表1に示す。

内航コンテナ船のみ(距離)×(ロット)は有意とならなかったものの、他はすべて1%ないし5%

有意となった。重相関係数はいずれも0.7以上を示しており距離、ロットで輸送料金を説明可能といえる。

表1 パラメーター推定結果

変数	一般トラック	コンテナトラック	内航船
定数項	9756 (6.41)**	38387 (10.39)**	17630 (2.63)*
距離d	111 (31.97)**	192 (27.28)**	54 (7.07)**
ロットw	1551 (22.60)**	1263 (4.95)**	1293 (3.37)**
d・w	3.337 (21.38)**	3.337 (21.38)**	
R ²	0.984	0.967	0.722

() は t 値 **1%有意 *5%有意

6. モデルの再現性

モデルの再現性を確認するために、トラックと内航船のフィーダー輸送が競合する北九州～阪神間に適用する。

【適用地域、ロットと価格の区分】

生産地1（福岡）、詰め地3（福岡、兵庫、大阪）、本船港3（神戸、大阪、門司）、外国3（欧州、北米、豪州）、詰め地→本船港の輸送機関2（トラック、内航船）、品目単価：0～1000（円／t）まで10（千円／t）毎区分する。リンクコスト算定には、各区分の平均単価を計算して与える。ロットの種類：0～1000（t）まで10t毎区分する。リンクコスト算定には、各区分の平均ロットサイズを計算して与える。

【入力データ】

- 1) 区間距離：生産地～コンテナ詰め地の各区間の距離は、県庁所在地間距離とする。コンテナ詰め地～本船積み港湾までの距離は県庁所在地～港湾所在地までの距離とする。
- 2) 輸送時間：各区分の輸送時間は、最短輸送時間を考える。
- 3) 荷役料金：港湾での荷役料金を適用する。
- 4) バンニング料金：倉庫、上屋でのバンニング料金を適用する。
- 5) コンテナ船の寄港周期：各港湾の配船数（一ヶ月）より求める。
- 6) 金利：1年当たりの金利を15%とする。
- 7) 分布貨物件数：ロット別単価別に与える。

【計算結果】

輸送機関選択結果を表2に示す。福岡～阪神港は

トラックと内航船が競合しており、その比率はおおよそ1：5である。計算結果では、1：4となっており、現実に近い分担率となった。福岡～阪神間の輸送機関分担率の計算値と実績値の比較を図4に示す。

表2 輸送機関選択結果（単位：t）

	一貫T	積替T	一貫S	積替S
福岡～阪神港	7143	0	29480	2479
福岡～門司港	8473	18	0	0

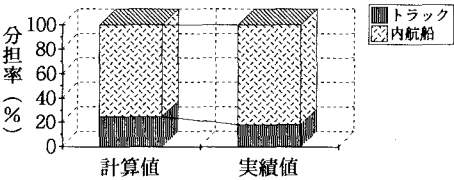


図4 計算値と実績値の比較

7. モデルの適用

仙台港にコンテナ本船あるいは内航船の寄港を想定して、東北～京浜間にモデルを適用する。

【適用地域、ロットと価格の区分】

生産地6（東北6県）、詰め地10（東北6県、栃木、茨城、東京、神奈川）、本船港3（東京、横浜、仙台）、外国3（欧州、北米、豪州）、詰め地→本船港の輸送機関2（トラック、内航船）、品目単価、ロットの種類：6.と同様

【入力データ】

- 1)～4), 6), 7) 6.と同様
- 5) コンテナ船の寄港周期：コンテナ本船の寄港周期は各港湾（本船寄港港）の配船数（一ヶ月）より求める。仙台港への配船数は、case1. 内航船のみ寄港（週1）、case2. 本船のみ寄港（月1）、case3. 本船内航船寄港（月1、週1）、の3つを想定する。

表3 コンテナ本船の寄港頻度（単位：隻／月）

本船港	北米	欧州	豪州
東京港	69	33	2
横浜港	65	14	23
仙台港	1	0	0

表4 本船積み港湾の選択結果の一例（単位：t）
（東北地方から輸出される貨物のみ、case2）

本船港	北米	欧州	豪州
東京港	1432	21360	448
横浜港	0	0	3090
仙台港	3898	0	0

【計算結果】

1) 本船積み港湾の選択について

コンテナ本船の航路別寄港頻度を表3に、またこの条件の時、モデルより求められる本船港の選択結果（貨物量）を表4に示す。豪州に輸出される貨物は寄港頻度の大きい横浜港を選択する傾向となった。欧州と北米に輸出される貨物は、全て横浜港に比べて陸上距離の短い東京港を選択する。また、北米航路において本船を仙台港に寄港させたときの仙台港の需要も示している。

2) 輸送機関選択について

本船及び内航船の寄港するとき（case3）の詰め地～本船港の輸送機関選択結果を図5に示す。仙台港への内航船の寄港頻度は週1としたので、内航船を選択する貨物は滞留時間は大きくなる。したがって単価の高い貨物は東京港までトラックを利用する。

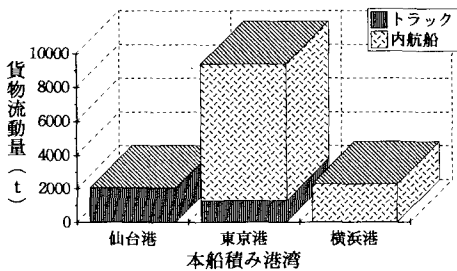


図5 詰め地～本船港の輸送機関選択
(宮城県でコンテナ詰めされる貨物の場合)

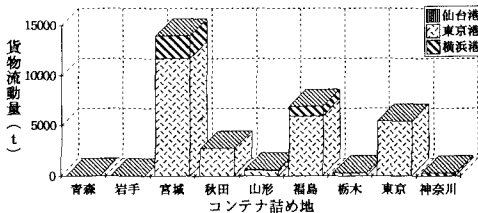


図6 仙台港に内航船のみ寄港 (case1)

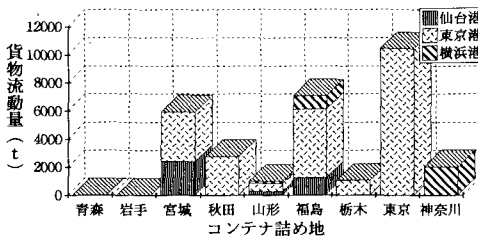


図7 仙台港に本船のみ寄港 (case2)

3) 寄港頻度とコンテナ詰め地選択の関係

詰め地～本船港の貨物流動量を仙台港に本船の寄

港する場合、内航船の寄港する場合で比較する。内航船の寄港する場合 (case1) を図6に、本船の寄港する場合 (case2) を図7に示す。case1のとき、case2に比べて宮城でコンテナ詰めされる貨物が増加する。また東京でコンテナ詰めされる貨物は減少する。case2のとき、宮城、福島、山形でコンテナ詰めされた貨物に仙台港を選択する貨物が存在する。仙台港で本船に積まれる貨物は、仙台港に比較的近い県でコンテナ詰めされる結果となった。本船や内航船が寄港すると、その港湾周辺でコンテナ詰めされる貨物が増加する。従って本船内航船を寄港させるために、その周辺にCFSを同時に整備することによりその港湾の貨物需要が確保されるといえる。

8. 結論

将来仙台港にコンテナ本船あるいは内航船の寄港することを想定して本モデルを適用した。モデルではロット、価格、コンテナ船の頻度から、最適なコンテナ詰め地、本船積み港湾、輸送モードが決定され、各リンクでの貨物流動量が求められる。リンクの貨物流動量からコンテナ詰め地や本船積み港湾の貨物需要量が求められることができる。

モデルを複数の生産地～外国のネットワークに適用した結果、輸送距離と輸送時間の違いによって輸送方法は異なってくることを表現することができた。また、計算結果から本船や内航船の寄港により、コンテナ詰め地の貨物需要量が大きく変化することを示すことができた。今後、本船寄港の条件あるいは内航船の寄港条件を決定し、本船、内航船の寄港する港湾の配置及びその港湾の貨物需要量の同時予測モデルに拡張する予定である。

【参考文献】

- 1) 渡辺・苦瀬・新谷：輸出入コンテナ貨物の陸上輸送における一貫輸送と積み替え輸送の選択に関する研究、土木計画学研究・講演集 No.12, pp473-480, (1989)
- 2) 家田・佐野・小林：商品価格と流動ロットに着目した都市間貨物機関分担モデル
- 3) RANDOLPH W. HALL : DEPENDENCE BETWEEN SHIPMENT SIZE AND MODE IN FREIGHT TRANSPORTATION. TRANSPORTATION SCIENCE, vol.19, (1985)
- 4) CALOS F. DAGANZO : ANALYZING TRADE-OFFS BETWEEN TRANSPORTATION INVENTORY AND PRODUCTION COSTS ON FREIGHT NETWORKS. TRANSPORTATION RESEARCH B (1985)
- 5) 交通日本社：貨物運賃と各種料金表'91
- 6) 横浜港湾局：海運・港湾事情調査報告書、平成4年