

港湾機能及び輸出貨物量の変化による船社の最適行動分析

Analysis optimal behavior model of shipping companies by considering port service level and freight flows

北海道大学工学部環境社会工学科
株式会社ドーコン
北海道大学大学院工学研究院

○学生員 日向美郷 (Misato Hyuga)
正員 杉木直 (Nao Sugiki)
フェロー 田村亨 (Toru Tamura)

1. はじめに

海に囲まれた日本において、港湾は海外や国内との貨物輸送の拠点として重要な施設である。しかし、近年東アジアや東南アジア各国の港湾整備が進んだことから、かつては北米路線や欧州路線の船舶が数多く寄港していた国内主要港湾も便数が減少し、国際競争力の低下が見られる。主要航路の寄港船舶数減少は輸送コストの増大など国内産業に与える影響が大きいと、国としても京浜、阪神といった国際戦略港湾の指定を初め、国際拠点港湾や国際バルク港湾などの指定を主要港湾に対して行っており、道内では苫小牧港、室蘭港、釧路港が指定を受けている。これらの指定港湾には継続的な公共投資が予想され、新たな寄港需要の創出や周辺地域への追加的な経済効果が期待される。中でも苫小牧港は北米—東アジアを結ぶ最短航路上に位置するという地理的優位性を持ち、その特性を活かした戦略が検討されている。現在、この航路では中国の輸出超過により片荷問題が生じており、一部の船舶が苫小牧港へ寄港するようになれば、道内にとって迅速な物流の確保という利点があるだけでなく、中国北米間のコンテナ航路の物流アンバランスも若干緩和される可能性を持つ。

本研究はこの航路を対象に、片荷問題を表現可能なモデルの構築を行い、苫小牧港や京浜港における輸出貨物量、港湾機能の変化により、船社の運行パターンや荷主の経路選択がどのように変化するかを分析するものである。

2. 本研究の位置づけ

船社や荷主の行動を対象とした最適化モデルは、竹林ら¹⁾²⁾³⁾によって国際コンテナ貨物船舶を対象とした輸送経路選択モデルが既に構築されている。しかしその対象としては、国策で国際競争力の増強を目指している阪神や京浜といった港湾のみを代表として扱っており、道内の港湾を対象とした研究は少ない。中村⁴⁾は北海道の港湾を対象に公共投資の効果、および地域経済への便益分析を目的とし、仮想地域を対象とした最適化モデルの構築を行った。最適化モデルで構築した船社行動を輸送機関の行動としてSCGEモデルに組み込むことを前提としたモデルの構築を行っている。本研究では、中村の貨物・船舶配分モデ

ルを基本とし、さらに片荷問題の表現を可能とすること、実際の港湾を対象とした分析を可能とすることを目標とし、主に以下のような視点でモデルの改良を行う。

- ・港湾における寄港による混雑の表現方法を、混雑回数から港湾待ち時間とする
- ・入手可能なデータに則し単位換算を行う
- ・船舶は必ず最初に出港した港湾へ帰港するものとし、往復の経路を考慮する

また、港湾機能と貨物量を変化させたケーススタディを行い、船社や荷主の行動変化と片荷問題に対する影響を分析する。

3. 最適行動の定式化

3.1 前提条件

分析を行うにあたり、以下の条件を仮定している。

- ・輸送ネットワークは荷主と船社によって構成される
- ・荷主と船社はそれぞれコストが最小化されるような行動を選択する
- ・モデルは貨物配分と船舶配分の2層構造とする
- ・対象地域内には船社はただ1つ存在し、全ての地域間輸送を行う
- ・各地域に港湾はただ1つ存在し、全ての貨物はそれらの港湾を利用して輸送される
- ・港湾では寄港による混雑が発生する
- ・発着する船舶数は港湾ごと船種ごとに一致しなければならない
- ・中継港では貨物は全て積み替えられる
- ・積み残しは発生しない
- ・貨物の輸送には小型船舶より大型船舶を使用した方がコスト面で有利である

3.2 荷主の最適化行動

荷主は図-1のように、複数の経路の中から費用が最小となる経路に貨物を配分するものとし、目的関数を(1)式

のように表す。荷主にかかるコストは、貨物が輸送される際に通過するリンクの運航コスト、および港湾にて荷役に必要なコストを足し合わせたものとする。

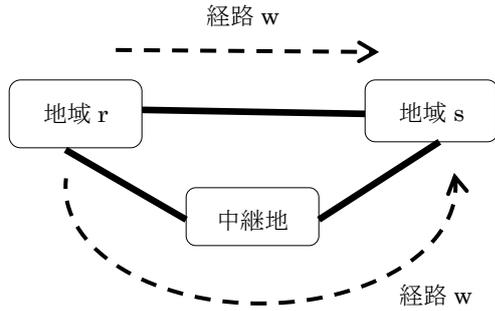


図-1 経路の選択

$$\min C_f = \sum_w C_{w,f} \quad (1)$$

$$C_{w,f} = \sum_l \delta_l^w C_{l,f} + \sum_h \delta_h^w C_{h,f} \quad (2)$$

$$C_{l,f} = CS_l \quad (3)$$

$$C_{h,f} = T_{h,u}(L_h + CW_h) + CS_w \quad (4)$$

- C_f : 荷主にかかるコスト
- $C_{w,f}$: 貨物に関する経路 w のコスト
- $C_{l,f}$: 貨物に関するリンク l のコスト
- δ_l^w : リンク l が経路 w に含まれる時 1、そうでない時は 0
- $C_{h,f}$: 港湾 h における荷役コスト
- δ_h^w : 経路 w において港湾 h に到着する回数
- CS_l : リンク l の輸送コスト
- CS_w : 港湾 h で生じる船舶に関するコスト
- $T_{h,u}$: 港湾 h における荷役所要時間
- L_h : 港湾 h の人件費
- CW_h : 港湾 h の荷役に関する機材等使用料

また、積み残しが生じないとした仮定より(5)式、ODペアと経路配分貨物量の関係より(6)式、経路配分貨物量とリンク貨物量の関係より(7)式が制約条件式として与えられる。

$$\text{s.t.} \quad VF_l \geq x_l \quad (5)$$

$$X_{rs} = \sum_w \delta_w^{rs} x_w \quad (6)$$

$$x_w \leq \delta_l^w x_l \quad (7)$$

- VF_l : リンク l の可能運搬貨物量
- x_l : リンク l の配分貨物量
- X_{rs} : 地域 r から地域 s までの貨物量
- δ_w^{rs} : 経路 w が地域 r から地域 s の経路なら 1、そ

うでない時 0

x_w : 経路 w に配分される貨物量

3.3 船社の最適化行動

船舶は荷主が配分した貨物量に従って配分されるものとする。本研究ではより大型の船舶による輸送が有利であると仮定している。よって船社は投入可能な大型船舶から配分を行い、全ての貨物を運んだ上で費用最小化になるよう行動する。船社の目的関数は(8)式のように表現される。船社にかかるコストは、リンク航行時にかかるコストと港湾において停泊時にかかるコストを足し合わせたものとする。

$$\min C_s = \sum_w C_{w,s} \quad (8)$$

$$C_{w,s} = \sum_l \delta_l^w C_{l,s} + \sum_h \delta_h^w C_{h,s} \quad (9)$$

$$C_{l,s} = T_l(MFO_{m,n} + CA_{m,n}) \quad (10)$$

$$C_{h,s} = T_h(MFO_{m,a} + CA_{m,a}) + \varepsilon_m^c PC_h \quad (11)$$

- C_s : 船社にかかるコスト
- $C_{w,s}$: 船舶に関する経路 w のコスト
- $C_{l,s}$: 船舶に関するリンク l のコスト
- $C_{h,s}$: 船舶に関する港湾 h におけるコスト
- T_l : リンク l の航行時間
- $MFO_{m,n}$: 船型 m の航行時にかかる燃料費
- $C_n A_m$: 船型 m の航行時にかかる船費
- T_h : 港湾 h における滞泊時間
- $MFO_{m,a}$: 船型 m の停泊時にかかる燃料費
- $C_a A_m$: 船型 m の停泊時にかかる船費
- ε_m^c : 入港する船型 m の大きさによって変化するパラメータ
- PC_h : 港湾 h の入港料

また、配分される船舶数は港湾受入可能船舶数以下になることから(12)式、全ての貨物が運ばれるという仮定より(13)式が与えられる。(14)式は対象地域内に配分された全貨物量以上の輸送能力があることを示す。

$$\text{s.t.} \quad \sum_m ff_l^m \leq VC_l \quad (12)$$

$$x_l \leq \sum_m ff_l^m A_m \quad (13)$$

$$\sum_l x_l \leq \sum_m F_m A_m \quad (14)$$

- ff_l^m : リンク l に配分される船型 m の隻数
- VC_l : リンク l の航行可能船舶数
- A_m : 船型 m の最大可能積載量

F_m : 対象地域内の船型 m の総数

3.4 均衡判定

本研究では貨物・船舶配分モデルの最適解を求める際、均衡判定を用いる。貨物及び船舶のコストが定まった段階で、貨物に関するコストの $n-1$ 回目と n 回目の誤差により均衡判定を行い、判定式は(15)式とする。

$$\left| \frac{C_f(n) - C_f(n-1)}{C_f(n)} \right| \leq 0.0001 \quad (15)$$

また、条件を満たさない時は(16)式のように、単位貨物あたりの船舶コストを更新し、再度貨物配分・船舶配分を行うこととする。

$$CS_l = \frac{C_{l,s}}{x_l} \quad (16)$$

3.5 荷役所要時間と待ち時間

港湾の寄港による混雑を表現する方法として、(17)式のように港湾滞在時間を考慮し、待ち行列理論を用い待ち時間を推計することとする。

$$T_h = T_{h,u} + T_{h,w} \quad (17)$$

$T_{h,w}$: 港湾 h における荷役待ち時間

荷役使用機材はガントリークレーンのみを考え、1 ガントリークレーンで 33 (TEU/h) 処理できるものとする。大型船舶は一度に複数のクレーン利用を可能とし、荷役効率が高いものとする。

$$T_{h,u} = \frac{A_m}{33\epsilon_m^u} \quad (18)$$

ϵ_m^u : 船種によって変化するガントリークレーンの可能使用数

待ち時間は公共ターミナルのみを考え、既存研究³⁾を参考に $M/E_l/S(\infty)$ 型の待ち行列を考え、Cosmetatos の近似式を用いる。荷役待ち隻数を n_w とすると以下のように求められる。

$$n_w = \frac{d^{n_s+1}}{(n_s-1)!(n_s-d)^2} \left\{ \sum_{n=0}^{n_s-1} \frac{d^n}{n!} + \frac{d^{n_s}}{(n_s-1)(n_s-d)} \right\}^{-1} \times \left\{ \frac{1+1/k}{2} + \left(1 - \frac{1}{k} \right) \left(1 - \frac{d}{n_s} \right) (n_s-1) \frac{\sqrt{4+5n_s-2}}{16d} \right\} \quad (19)$$

d : トラフィック密度 (λ/μ)

λ : 船舶の到着率

μ : 荷役作業率

n_s : 荷役作業可能船舶数

k : アーラン次数

船舶が配分されるごとに荷役待ち隻数及びそこから求められる荷役待ち時間を更新し、港湾の混雑により輸送コスト・経路選択の変化が生じるようにする。

4. ケーススタディ

本研究では苫小牧、東京、釜山、シアトルの4港湾のみを対象とし地域間の貨物は全て上記の港湾のみを利用するものとして分析を行う。現在の主な航路は図-2 のようになっている、シアトル-苫小牧間の貨物は必ず釜山、または京浜において積替えられているものと仮定する。また国土交通省の港湾統計⁶⁾および日本海事センターの海上輸送情報⁷⁾を参考に、対象地域の現状における貨物流動量を表-1のように設定する。

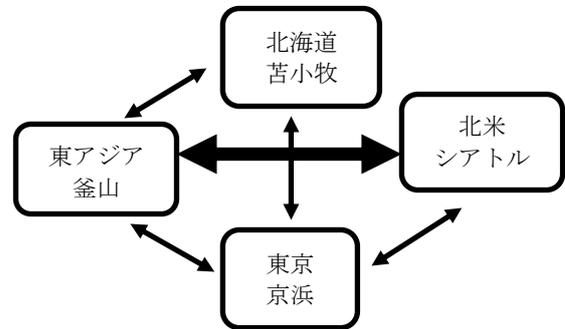


図-2 対象地域

発	北海道	東京	東アジア	北米
北海道	-	38,500	137,400	200
東京	38,800	-	1,421,200	244,200
東アジア	141,500	1,365,200	-	13,375,600
北米	15,400	350,700	7,443,900	-

表-1 取扱貨物量 (TEU)

取扱貨物量と港湾機能の変化による船社の運行パターン及び、荷主の経路選択を分析する為、以下のケースにおけるシミュレーションを行い、経路選択の変化が起こる貨物量の値及びその輸送コストを算定する。

- ① 現状
- ② 苫小牧における取扱貨物量の増加
- ③ 苫小牧における港湾機能向上と取扱貨物量の増加
- ④ 東京における輸出貨物量の増加
- ⑤ 東京における港湾機能向上と取扱貨物量の増加

5. まとめ

本研究では、輸出貨物量の増加及び港湾機能の変化と、それに伴う輸送経路の変化を、実データを使用して分析可能なモデルを構築した。また、実在する4つの港湾を対象とし、仮定条件下におけるケーススタディを行った。

なお、ケーススタディ結果と考察については講演時に発表する予定である。

本研究を進めるにあたり、北海道開発局の中村雄貴氏にご指示をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 黒田勝彦・竹林幹雄・武藤雅浩・大久保岳史・辻俊昭
「外航定期コンテナ流動予測モデルの構築とアジア基幹航路への適用」土木学会論文集 No.653/IV-48,117-131, (2000)
- 2) 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貨物輸送市場に与える影響分析」土木学会論文集 No.667/IV-50, 123-136 (2001)
- 3) 宮脇信英・黒田勝彦・竹林幹雄・宮地賢次「港湾政策・開発が東アジア海上コンテナ貨物輸送市場に与える影響分析 - ベトナム・ホーチミン港の場合」土木計画学研究・論文集 Vol20 no.3 (2003)
- 4) 中村雄貴「港湾機能を考慮した船社の最適行動モデルの構築」(2015)
- 5) 山田忠史・吉澤源太郎「コンテナ埠頭の最適荷役容量と荷役システムの改善効果」土木計画学研究・論文集 Vol.19 no.4 (2002)
- 6) 国土交通省：「最新統計表 港湾調査」
(<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/saisintoukei.html>)
- 7) 公益財団法人 日本海事センター「海上輸送情報」
(<http://www.jpmac.or.jp/relation/transport.html>)