

シームレスアジア時代における国際RORO船輸送の将来性分析*

International RORO Transport Market Potential Analysis under the Seamless Asian Logistic Network*

家田仁**・切通良太***・馬立強****・柴崎隆一*****

By Hitoshi IEDA **・Ryodai KIZUSHI ***・Liqiang MA****・Ryuichi SHIBASAKI*****

1. はじめに

アジア諸国の経済発展や消費の高度化を受けて、アジアにおいて流通するモノもより付加価値の高いモノへと変っていく。また、高付加価値のモノの輸送にはより速達性のある輸送機関が使われる傾向にあり、国際物流は変革を迫られている。これまでコンテナ船による大量輸送が中心であったが、速達性、確実性に対するニーズが高まり、RORO船を活用した海上高速輸送が今後用いられ、二重の輸送システムになるのではないかと考えられる。

一方で荷主の側では、最近企業の間で広くサプライチェーンマネジメントが導入され、物流の中核を担う輸送に対して、速達性、確実性、連続性といった高度なサービスを要求するようになってきている。

これら2点を合わせて考えると、今後はアジア域内で高速かつリーズナブルな輸送形態が求められるようになる。近距離の輸送においては積替えなどの接続部分の効率化が輸送全体の効率化に大きく寄与するので、シームレスなインターモーダル輸送が上記のニーズを満たす輸送形態となる可能性は十分にあると考えられる。

本研究の目的は、東アジア圏における海上高速輸送サービスの展開可能性を検証することである。そのために、以下の2点を本研究では行う。

在庫管理手法と犠牲量モデルを組み合わせた輸送機関選択モデルの構築

企業の行動原理に基づいた在庫シミュレーションモデルの構築

2. 商品の特性を考慮した機関分担モデル

本研究では、犠牲量モデルを用いた輸送機関分担モ

*キーワード: サプライチェーンマネジメント、RORO船輸送、在庫管理

フェロー員、工博、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1、TEL03-3976-0320、FAX03-5841-8506); *学生会員、修士課程、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻; ****学生会員、博士課程、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻; *****正会員、工博、国土交通省国土技術政策総合研究所

デルを構築する。モデルの概要としては、在庫管理手法を用いて輸送機関ごとの最適発注量と発注頻度を求め、それによって在庫費用と輸送費用を算出する。それらを合わせた総費用を犠牲量とし、最小犠牲量となる輸送機関を選択する。モデルの詳細は以下に述べる。

(1) 商品の特性を考慮した商品発注量の決定モデル

企業は費用となる在庫量を最小限に抑え、かつ品切れによる販売機会の損失を防ぐことを念頭においている。そのためには発注の仕方を最適化する必要がある。本研究ではその手法として発注点法を採用する。発注点法とは在庫量が一定の水準になったら一定量の発注を行う手法である。発注点法では図1のように発注点と発注量を別々にあらかじめ決定する必要がある。

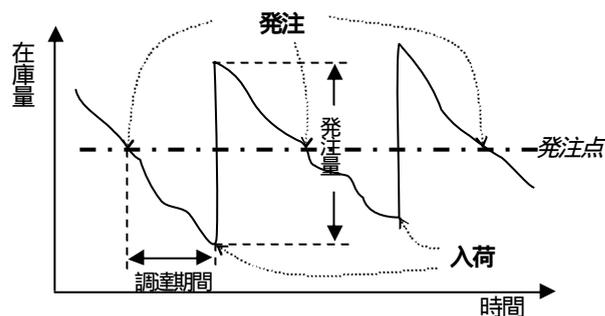


図1 発注点法における在庫量の推移

a) 発注点の決定

在庫切れが発生しないように発注点は少なくとも調達期間中の需要量よりも大きくなければならない。調達期間や調達期間中の需要量が確実に決まっている場合は、調達期間中の需要量をそのまま発注点とすることができるが、現実には調達期間や需要量にばらつきがあり、ある程度の余裕を持たせる必要がある。発注点は以下の式(1)で求められる。式(1)の第2項が安全在庫である。なお、ここでは需要のばらつき σ_0 を月間需要量 $D(t)$ の1割としている。

$$K(t) = T \overline{D}(t) + a \sqrt{T} s_D \quad (1)$$

$K(t)$: t 月の発注点

T : 調達期間 (=リードタイム)

$\overline{D}(t)$: t 月の1日当たり平均需要量

a : 安全係数 (1.2 ~ 1.65)

s_D : 需要のばらつき

b) 発注量の決定

発注量は、在庫コストと輸送コストの和が最小となるように決定される。ここで、発注量 L に応じた在庫コスト $C_s(L)$ は、式(2)のようになる。

$$C_s(L) = (L/2 + a\sqrt{Ts_D}) \cdot (C_w + Pi) \quad (2)$$

C_w : 倉庫費用, P : 商品価値, i : 商品価値の逓減率

一方、輸送コスト $C_t(L)$ も同様に発注量 L に応じて式(3)のように決定される。

$$C_t(L) = t_1 + t_2L + \frac{T}{30} PiL \quad (3)$$

L : 発注量, t_1 : 発注費用, t_2 : 単位サイズあたり運賃すると、総コスト $V(L)$ は在庫コストと輸送コストと輸送回数から、式(4)のようになる。

$$\begin{aligned} V(L) &= C_s(L) + C_t(L) \cdot \frac{D}{L} \\ &= (L/2 + a\sqrt{Ts_D}) \cdot (C_w + Pi) \quad (4) \\ &\quad + \frac{t_1D}{L} + t_2D + \frac{T}{30} PiD \end{aligned}$$

式(4)を偏微分して、総費用を最小にする発注量を求めることができる。こうして求めた発注量を最適発注量 L^* とする。

$$L^* = \sqrt{\frac{2t_1D}{C_w + Pi}} \quad (5)$$

(2) 商品価格に応じた機関分担モデル

本研究では RORO 船等を用いた海上高速輸送、コンテナ船輸送、及び航空輸送の3つの輸送機関における貨物輸送機関分担モデルを構築する。輸送区間は日本とアジアの都市間であるとし、日本では東京及び博多の2都市、アジアでは上海、釜山、香港、及びシンガポールの4都市を設定し、これらの都市間の計8区間を用いる。

輸送機関ごとに発注点と発注量を定めると、その輸送機関を用いた場合にかかる最小総費用を求めることができる。この最小総費用を犠牲量として、犠牲量が最小となるような輸送機関を選択する。最小総費用は商品価格 P の関数であり、図2のように横軸を商品価格、縦軸を犠牲量としたグラフを描くと、輸送機関によってグラフの傾きは異なり、商品価格によって犠牲量が最小となる輸送機関も異なる。これにより、商品価格帯の分布に応じて各輸送機関の分担率を求めることができる。

本来犠牲量モデルでは時間価値と時間の積と料金の和を犠牲量として、犠牲量は時間価値の関数となり、その分布によって分担率が定められるが、本モデルでは時間価値ではなく商品価格が変数となっている。

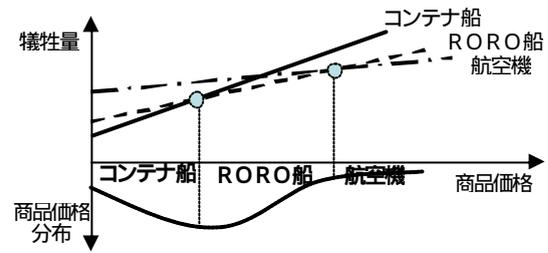


図2 輸送機関別犠牲量の推移

3. RORO船利用可能性のシミュレーション

(1) 入力データの設定

まず、輸送区間ごとの各輸送機関のリードタイム LT と単位サイズあたり運賃 t_1 について、表1のように設定した。ここで、 LT は時刻表もしくは航路距離と速度に基づく輸送時間に各都市における通関所要時間を足したものである。 t_1 に関しては季節的な変動や契約条件による差異が大きいため確定的なデータは存在しないが、ヒアリング調査や各種資料から海上高速：コンテナ：航空の運賃比率を4：1：10と定め、航空貨物の運賃を定めている日本発着貨物運賃一般規則を基に推定した。

また、各種資料より α は 1.65、 C_w は 1300 円/m³ とし、 t_2 は 10000 円に設定した。

表1 各輸送機関のリードタイムと運賃

	区間	海上高速	コンテナ	航空
リードタイム LT (日)	東 上	3.7	7.3	3.0
	東 釜	3.9	7.3	3.0
	東 香	4.9	8.3	3.0
	東 シ	7.6	13.3	3.0
	博 上	2.5	5.3	2.0
	博 釜	1.7	5.3	2.0
	博 香	3.9	7.3	2.0
	博 シ	6.7	10.3	3.0
運賃 t_1 (円/m ³)	東 上	21694	5423	54234
	東 釜	11567	2892	28918
	東 香	17388	4347	43471
	東 シ	41808	10452	104521
	博 上	18388	4597	45971
	博 釜	5002	1250	12505
	博 香	14432	3608	36080
	博 シ	41808	10452	104521

(2) 分析結果

商品価値の逓減率 i と輸送区間を定めると、商品価格と各輸送機関の総費用を表すグラフは図3のようになる。

図3における商品価格は単位体積(1m³)あたりの価格であり、その輸送費用と在庫費用を併せた総費用が最小となる輸送機関が選択される。ここでは単位体積あたり商品価格が 3,200 千円まではコンテナ船が、それ以上

19,000 千円までは RORO 船が、それ以上は航空機が最小総費用となり選択される。現実と符合することから、この結果は妥当であると言える。

図4は横軸を価値逓減率 i 、縦軸を商品価格としたもので、それぞれの逓減率、価格において選択される輸送機関が何かを示したものである。なお、実線の中の破線はコンテナ船と航空機のみで機関分担分析を行った際の境界を示している。

このグラフより、商品価格が低く、商品価値の逓減率が小さいもの、すなわち価値が下がりにくいものがコンテナで運ばれ、逆に商品価値が高く、価値の下がりやすいものが航空機で運ばれていることがわかる。そこに RORO 船が登場すると、それらの中間領域で両方の輸送機関からシェアを奪っているが、コンテナ船よりも航空機からの方が移行する割合が大きくなっている。

次に、輸送区間別の分担状況の違いに関して分析を行った。図4～図7はそれぞれ東京と釜山、上海、香港及びシンガポール間の分担状況を示したグラフである。

この結果より、輸送距離が長くなるにつれて RORO 船の持ち得るシェアが小さくなっていることがわかる。2000 km以内の東京と上海、釜山間ではコンテナ船と比べて大きな分担領域を占めているものの、2600 kmの香港までではコンテナ船と同程度、5000 km近いシンガポールとの間ではコンテナ船よりも小さな分担領域になっている。すなわち、海上高速輸送は2500 km程度までの近海輸送において競争力を発揮することができるということになる。海上高速輸送は高速性と低運賃が両立してこそ競争力を持つものであり、輸送距離が長くなると高速性が失われてしまうため、競争力も低下すると考えられる。

ここで、東京 釜山間よりも東京 上海間の方が、距離が長いにも拘らず RORO 船のシェアが大きくなっている理由としては、釜山に比べて上海の方は通関時間が短いため、全体の輸送時間も上海の方が短くなっているためであると考えられる。

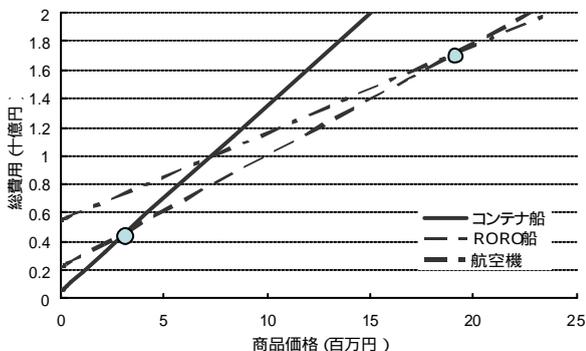


図3 商品価格と総費用(東京 上海間、 $i=5\%$ /月)

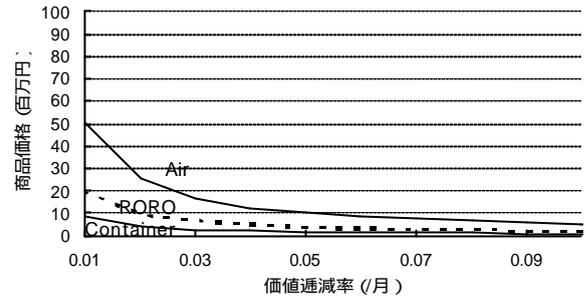


図4 商品価値逓減率・価格別輸送機関分布
東京 釜山間(1100km)

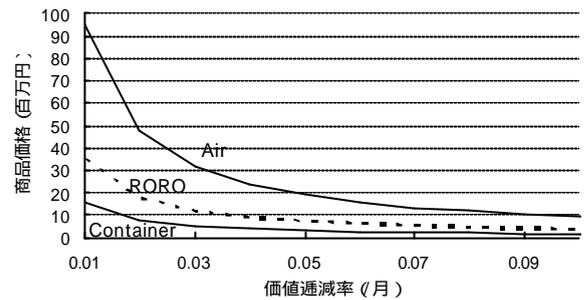


図5 東京 上海間(1700km)

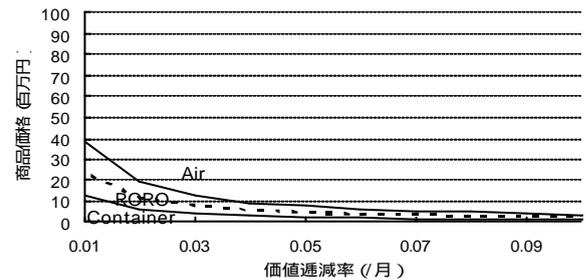


図6 東京 香港間(2600km)

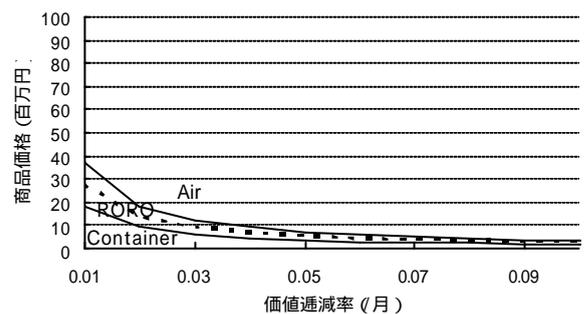


図7 東京 シンガポール間(4700km)

4. 年間の出荷・発注量変化を考えしたシミュレーション結果

(1) モデルの概要

現実においては在庫が時間的に連続するものであり、その中で出荷量や発注量、発注点等も変化していく。上記の輸送機関分担モデルは、ある一時点における数値を基にした理論上の分担状況しか見ることができない。そ

ここで、時系列的な要素を加えた在庫シミュレーションモデルを構築し、実際の企業の在庫管理に極めて近い状況を表現するとともに、それに基づいた輸送機関分担分析を行う。

このモデルでは価格の分布がある商品の月ごとの出荷量を入力データとし、それによって毎月の発注点と発注量を求める。また、在庫量は時間的に連続したデータとして扱われ、毎日の出荷や入荷に応じて増減する。在庫量が発注点に達すると発注が行われ、それからリードタイムの日数が経過した後に入荷が行われる。このような状況の下で月ごと、商品ごとに3つの輸送機関を用いた場合の総費用をそれぞれ算出し、費用が最小になる輸送機関を選択する。

(2) 入力データ

入力データは実在するあるアパレル企業の年間出荷データを用いた。この企業は国内各地に店舗展開しており、商品の生産は主に中国で行っている。便宜的に上海港から東京港への輸送のみとする。なお、出荷データには出荷量と出荷ピース数の2種類が存在し、それぞれ独立に季節変動している。そのため、季節によって単位体積あたりの商品ピース数が異なり、すなわち単位体積あたりの価格も異なっている。商品1ピースあたりの価格も異なっている。

(3) 分析結果

まず、在庫量の推移は図8のようになった。輸送量の推移と比較すると、出荷量に連動して在庫量も増減していることがわかる。

また、図9は機関分担率と商品価値逓減率の推移であるが、全体的に見ると海上高速輸送とコンテナ船輸送が2分している中で、逓減率の増加に合わせて海上高速輸送の分担率も増加している。これは、販売シーズンの末期には早く販売してしまわなければ販売機会を逃してしまう為、高速輸送がより好まれてあり、そのためRORO船を選好する結果になったものと考えられる。

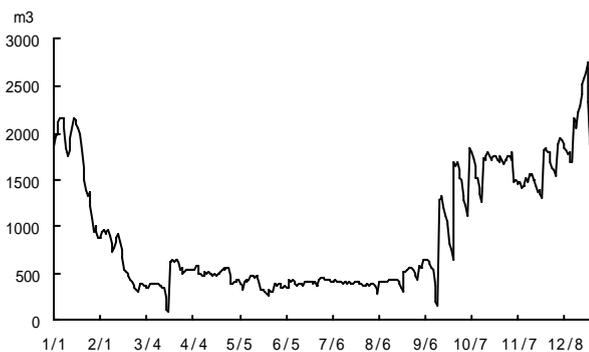


図8 在庫量の推移

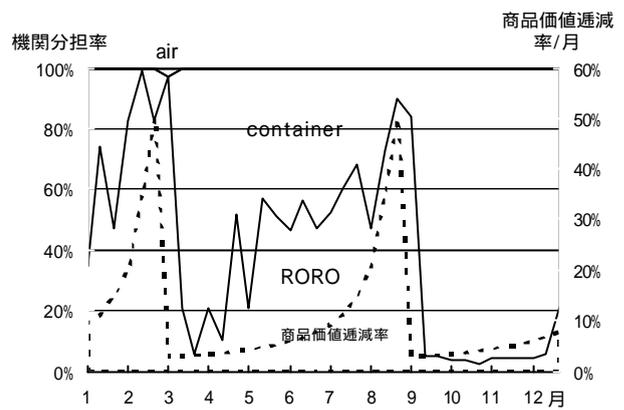


図9 機関分担率の推移と商品価値の逓減率

5. おわりに

企業が純粋に在庫と輸送費用の最小化を目指すとい条件の下では、比較的安価でリードタイムを短縮した海上高速輸送サービスが、日本と中国、韓国間といった近距離輸送マーケットにおいて大きなシェアを持ちうる。このような輸送形態は、大型コンテナ船のような規模の経済性によって低コスト化を第一に追求する輸送に対し、コストはある程度高くても十分に競争力を持つことが可能である。

また、海上高速輸送がシェアを持ちうるといっても、コンテナ船や航空輸送といった既存の輸送体系の存在価値が失われるわけではない。効率的な物流を実現する為には、これら様々な輸送体系を組み合わせる上で、最適な輸送モードを提供する仕組みが求められる。

そして、このような海上高速輸送サービスの導入可能性を考えると、これまでアジアの諸港湾に対抗することが主目的だった日本の物流施策も、もう一本別の流れを持っていいのではないかとと思われる。巨大コンテナ船に対応した大港湾を整備するだけでなく、かつて整備した地方港湾を再活用し、アジアとのシームレスな高速輸送ネットワークを作ることも重要である。それは、未来の物流システムに適合することで国全体の経済が活性化するだけでなく、地方都市の活性化にも繋がる可能性がある。

参考文献

- 1) 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、1996.10
- 2) 家田仁、柴崎隆一、内藤智樹：日本の国内輸送も組み、込んだアジア圏 国際コンテナ貨物流動モデル、土木計画学研究・論文集、Vol.16、pp.731-741、1999.3