

港湾間輸送モデルを用いた港湾機能の改善効果に関する研究

九州大学工学部 学生会員 ○佐川 和昭
 九州大学大学院 正会員 外井 哲志
 九州大学大学院 フェロー 太田 俊昭

1. 研究の目的

これからの大交流時代には、大型コンテナ船の入港可能な岸壁整備やストックヤードの有効利用、荷役サービスの迅速化等が要求されている。特にエネルギー資源や食料の大半を海外に依存し、四方を海に囲まれたわが国にとっては重要な問題である。本研究では、それらの要求を満たす新港湾システムを、ある特定港湾に導入した場合の港湾機能の向上が、その港湾を取り巻くコンテナ貨物の輸送航路や輸送費用に与える影響を、品目別港湾間輸送モデルを用いて分析し、その結果から港湾の施設整備の効果を考察する。

2. 品目別港湾間輸送モデル

本モデルは、複数の港湾間で品目別に輸出入量の定まったコンテナ貨物を輸送する場合に、システム全体の総輸送費用が最小になるような最適輸送方法を線形計画法により求めるものである。以下に目的関数および制約条件を示す。

【目的関数】

$$\text{Minimize } Z = \sum_s \sum_r c(s,r) + \sum_k \sum_s \sum_r (f(s,r)L(s,r,k) + g(s,r)L(s,r,k)) + \sum_s \left\{ t(s,e) + tm(s,e) + u(s,e) + \sum u(s,e)U(s,e,k) \right\} b(s)$$

第1項：貨物船の運航費用，第2項：港湾での荷役費用，第3項：賃金等の運航時間に比例する費用
 $c(s, r)$ ：到着港の港湾使用料を含む航路便 (s, r) の運航費用， $f(s, r)$ ：航路便 (s, r) の出発港での単位量当たりの船積み費用， $L(s, r, k)$ ：航路便 (s, r) の出発港で船積みされる品目 k の貨物量， $g(s, r)$ ：航路便 (s, r) の到着港での単位量当たりの陸揚げ費用， $U(s, r, k)$ ：貨物船 (s, r) の到着港で陸揚げされる品目 k の貨物量， $tm(s, r)$ ：航路便 (s, r) の運航時間， $t(s, r)$ ：航路便 (s, r) の出航時刻， $w(s, r)$ ：航路便 (s, r) が到着港に入港するために待機する時間， $u(s, r)$ ：航路便 (s, r) の到着港での単位量当たりの陸揚げ時間， $b(s)$ ：貨物船 s の時間単価（借上げ料，乗組員の賃金等）。ただし、貨物船 s の第 r 番目の港湾間移動を (s, r) と表し、 $1 \leq r \leq e$ である。

【制約条件】

線形計画問題の制限条件として次の7項目を用いた。①実輸送の和，②各貨物船の積み替え貨物のバランス，③各港湾の積み替え貨物のバランス，④品目別の積載条件，⑤貨物船の積載条件，⑥運航時刻に関する条件，⑦積み替えのための時間調整に関する条件。

また、線形計画問題に含まれない制約条件として次の2項目を用いた。

- ①係留数の制限に関する条件，②ストックヤードの容量制限に関する条件。

3. 解析方法

図-1に解析全体フローを示す。入力データ（各港湾におけるバース数・品目別輸出入量、港湾間距離等）より港湾間の輸送量を積替え問題によって計算し、その結果をもとに乱数を利用して輸送経路組み合わせおよび貨物船の種類・数量を設定する。各経路の組み合わせにおいて計算条件を設定し、線形計画法により各輸送経路における最適輸送方法（貨物船の出港時刻・輸送量）を求める。その輸送方法で、各港湾バース数、ストックヤードのコンテナ容量を超過した場合は、貨物船の入港を単位時間だけ遅らせ、再計算を行う。このようにして計算した結果の中から、総輸送費用が最小であった輸送経路を最適輸送経路とする。

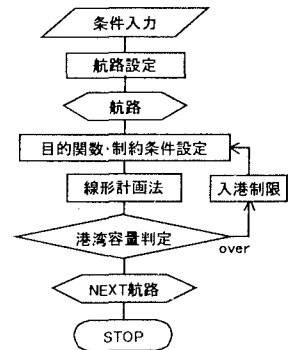


図-1 解析全体フロー

4. 計算例

《解析概要》

品目別港湾間輸送モデルを用いた例題で港湾改善効果を予測する。この例題では東アジア主要港湾間における海上輸送を対象に、港湾数 11、輸出入品目 3 とした解析を行った。図-2 に解析に用いた東アジアの主要港湾を示す。貨物船は大型船・小型船の 2 種類とし、その仕様を表-1 に示す。各港湾の諸条件（港湾施設・港湾料金・輸出入量）を表-2 に示す。

これらの条件のもとに、北部九州港の港湾機能に対して以下の 3 点における複合的な改善を行った場合の前後の最適航路、総輸送費用を求めた。①大水深パス（大型船が着岸可能な水深 15m 以上のパス）を導入する。②コンテナ処理（積み込み・積み下ろし）速度を向上させる（2 倍）。③港湾料金（入港料・タグボート使用量・岸壁使用量）を低減させる（1/2）。その改善条件を表-3 に示す。

《解析結果》

図-2 に解析により得られたコンテナ貨物の流れを示す。また、表-3 に港湾機能改善前後の解析条件および解析結果を示す。北部九州港に大水深パスを整備したことにより小型船に加えて大型船の就航が可能になっている。これに加え、取扱い時間及び港湾料金を 1/2 にして複合的な改善を図ることにより総輸送費用が減少している。この結果から北部九州港の港湾機能の複合的な改善を行うことで、最適航路における貨物船の運行パターンが変化し、最小輸送費用が減少したことがわかる。

5. 結論と今後の課題

本研究では、品目別港湾間輸送モデルを用いて、特定の港湾機能の複合的な改善の影響を東アジア主要港湾を例に解析・検討し、モデルの有効性を期待できることを確認した。

また、今後の課題として次のようなものがあげられる。①計算手法として GA（遺伝的アルゴリズム）等の効率的求解法の導入による解析時間の短縮。②機能改善前後で支配的な制約条件の明確化。③航路別採算性の考慮。④東アジアと欧米等の東アジア圏外との海上物流を包含したコンテナ輸送構造を対象にした港湾機能改善効果の検討。

参考文献

川崎, 外井, 太田, 山内: 品目別港湾間輸送モデルを用いた港湾機能の改善効果に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集 17, pp.729-734, 2000.9

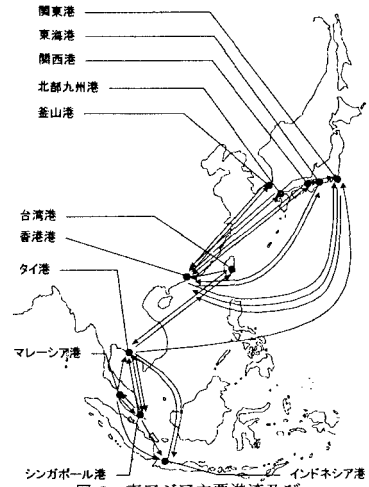


図-2 東アジア主要港湾及びコンテナ貨物の流れ

表-1 貨物船データ

船舶種類	大型船	小型船
積載能力(TEU)	7,000	4,000
重量トン数(D/W)	60,000	40,000
運航速度(kt)	23	23
燃料費(円/時間)	46,082	20,896
船費(円/時間)	174,171	118,661

表-2 各港湾の諸条件

No.	港湾名	港湾施設		コンテナ取扱時間(時間/TEU)	港湾料金			輸出入量	
		パース数	コンテナ蔵置能力(TEU)		入港料(出港料)(円/t)	タグボート使用料(円/t)	岸壁使用量(円/時間)	輸出(TEU)	輸入(TEU)
1	関東	0	33	0.0125	2.60	3.00	6.10	5122	3722
2	東海	0	12					4288	136
3	関西	2	47					4150	1984
4	北部九州	0	22					386	612
5	釜山	4	7		1.26	1.46	2.96	6608	1296
6	香港	12	17		2.15	2.49	5.05	4154	21701
7	台湾	3	42		1.41	1.63	3.31	3997	140
8	タイ	0	7		1.04	1.20	2.44	9134	5288
9	マレーシア	0	4					552	620
10	シンガポール	23	16					2616	4522
11	インドネシア	0	5		914	1900			

表-3 改善条件及び効果

条件	整備前		整備後	
	北部九州15m未満	北部九州15m以上	北部九州15m未満	北部九州15m以上
水深				
取扱時間(時間/TEU)		0.0125		0.00625
港湾料金	入港料(円/トン)	2.60		1.30
	タグボート使用量(円/トン)	3.00		1.50
	岸壁使用量(円/時間/トン)	6.10		3.05
総輸送費用(円)		1.6561 × 10 ⁹		1.5982 × 10 ⁹
北部九州関係の貨物船の航路		小型: 3→2→6→4→6→1		大型: 4→6→3→6→5 小型: 7→6→4