石油ロジスティクスネットワークモデルによる 日本向けタンカー船隊の検討

香月裕樹*・曾我正美**・鶴田三郎***・黒川久幸***

A Study of Tanker Fleet for Japan by Oil Logistics Network Model

Hiroki KATSUKI, Masayoshi SOGA,
Saburo TSURUTA and Hisayuki KUROKAWA

Abstract

In this study we expressed oil logistics procurement of crude oil refinement and sale of oil product, as a network model.

The oil logistics network model is composed of two sub-models. One is a crude oil and oil products transportation model, and the other is a necessary tonnage estimation model.

We formulated the transportation model as a linear planning problem. At first, the volume of oil transportation on each link is decided by this model. And we calculated the necessary number of vessels and the tonnage of the tanker fleet for Japan by the estimation model.

After we verified the model, we examined the influence of variation of crude oil price of Middle East.

When the price is up, it is expected that the volume of oil from Africa increase considerably. So the ship operating company has to examine the countermeasure.

Even if the price is changed, no less than 10 million tonnage of tanker is necessary to transport crude oil from Middle East to Japan. In this case the operating company should consider the scale merit and the conditions for realization.

1. はじめに

世界の 1 次エネルギー（水力・原子力・天然ガス・石炭・石油）の供給の割合を見ると石油が大半を占めている。日本も 1997 年現在 52.6% を石油に依存している。第 1 次石油危機のとき、日本は約 77% を石油に依存していたため、その後、エネルギー安定供給のために石油の依存度を下げる政策を行ってきた。これにもかかわらず、日本の石油への依存度は依然高い水準にあり、日本にとって石油輸送の重要性は高い。そこで、石油輸送を行うためのタンカー船隊の検討を行うことを目的として本研究を行うことと

した。

過去、効率的な原油調達という面では、日韓の製油所の連携による、アジアプレミアムの改善方法の検討に関する研究⁽¹⁾が行なわれている。しかし、原油・製品価格の変動は重要な要因でありながら、これを考慮した効率的な原油調達について検討を行った研究や、世界全体の動きを考慮した研究は行なわれていない。

輸送を中心とした研究では、輸送問題として、貨物流動に関する研究や、船舶の大型化やハブ港の配置等に関する研究⁽²⁾⁽³⁾があり、数理計画法などを用いた研究が行なわれている。しかし、石油市場では

* 学生会員 東京商船大学大学院（〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6）

** 正会員 財団法人 日本エネルギー経済研究所（〒104-0054 東京都中央区勝どき1-13-1）

*** 正会員 東京商船大学（〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6）

製油地の原油調達量により精製・販売量が異なり、輸送ルートが変化するため、調達、精製、販売という流れを全体的に見るロジスティックスの視点から捕らえる必要があるが、これを考慮した研究は行われていない。

船腹量の算出を行う研究では、与えられた需要を基に必要船腹量を算出する研究は行われているが、経済的視点から荷主の行動を推定し、これを基に航路ごとの需要を求め、必要船腹量を求めることは行われていない。

そこで本研究では、荷主である石油企業の行動における原油の調達から販売までの流れをロジスティックスの観点から見ることとし、世界全体の原油調達から販売に至る石油ロジスティックスを調達と販売をそれぞれ表現する2つの二部グラフによるネットワークモデルとして表現した。そして、この石油企業の行動の推定を基に、石油輸送に必要な日本向けタンカー船隊の船腹量を推定し、タンカー輸送に関する船社の意思決定を支援することを目的としている。

2. 石油市場の現状とタンカーの現状

2.1 石油市場の現状

2.1.1 日本の石油市場の特徴

日本は欧米諸国のように地理的に隣接する地域に有力な原油生産地が存在しないため、1997年において、石油供給の99.7%を海外からの輸入に頼り、その内82.7%を中東からの輸入に依存していた。中東原油への依存度は図1⁽⁴⁾に示すように1988年から上昇している。

しかしながら、石油供給を特定地域に過度に依存するということは、地域紛争や経済危機が起きた場合、原油輸入が止まってしまうという危険があり、国民経済と国民生活活動が麻痺するという重大な問題が生じる。また、日本・アジア向けの中東原油の

価格水準は、西欧向けと比較すると中東依存度が高まるにつれて割高となっている。1992年～95年は、1ドル/バレル前後割高であったのが、1997年～98年は、1.5ドル/バレル前後までにこの格差は拡大している。このことから、過度に中東地域に依存することは、原油調達コストの面からも望ましくない。

2.1.2 世界の石油市場の特徴

世界の石油市場の特徴として次の5つが挙げられる。

① 製油地で取り扱い可能な油種の制約がある。

原油調達では、すべての原油生産地から原油を調達できるのではなく、製油地によって油種の性状により取り扱うことができない原油がある。また、政治的理由により原油取引が行なわれていないことがある。

② 原油、石油製品の種類が多い。

原油の種類は北海原油、アメリカの原油価格の指標であるWTI原油、中東のアラビアンライト (ARL) など、原油の生産地や粘度により100種類以上に分類されている。

石油製品の種類は品質を考慮するとナフサ (NA1、NA2) から始まり、ガソリン (RG1～RG5)、軽油、灯油、など30種類に分類できる。

③ 石油製品得率が異なる。

原油から生産することができる石油製品の割合を石油製品得率と言うが、原油の種類、製油地の設備により石油製品ごとの生産割合はさまざまである。

④ 原油、石油製品価格が多様である。

原油価格は原油の調達地や原油の性状、季節などにより日々変動し、原油価格が変動するとこれに連動して、同時に石油製品価格も変動する (図2)⁽⁶⁾。また、原油価格は世界市場が整備されていないため、同一原油であっても、仕向地によって異なる (2.1.1参照)。

⑤ 消費地の需要構造が異なる。

図1 我が国の中東依存度の推移

図2 原油価格と製品価格の変動の推移

各消費地では石油製品の品質により需要構造の違いがある。例えば、日本、欧州、米国では高品質の石油製品の需要が多く、中国、中東、シンガポールでは低質の石油製品需要が多いという構造になっている。

2.2 タンカー船隊の現状

表1は世界の石油海上荷動量と必要船腹量を示したものである⁽⁶⁾。

1999年の海上荷動量はOPECの減産に対し、原油輸入国は在庫を取り崩すことで対応したため、前年比の1%減となった。海上荷動量が減少したことにより必要船腹量は減少し、サービス船腹量が僅かに増大したことにもよって需給ギャップは拡大した。

図3はタンカーの新規発注量と運賃指数の関係を示したものである⁽⁶⁾。これを見ると運賃指数が高いとき発注量が多くなるという傾向があることがわかる。表1と併せてみると、需給ギャップが小さかった1997年には運賃が高くなり、ギャップの大きかった1999年には運賃が安くなるという傾向にあり、タンカー船隊を検討するためには海上荷動量の推定が重要であることがわかる。

表2は日本の20000DWT以上のタンカー船型別隻数を表したものである⁽⁷⁾。これより、20万トンから30万トンの船舶を多く所有していることがわかる。これらの船舶は主として産油国との原油輸送に従事している。

表1 海上荷動量・必要船腹量

(単位:百万トン)

世界計\暦年	1996	1997	1998	1999
海上荷動量	1604.1	1654.2	1670.7	1653.4
サービス船腹量(A)	222.1	223.9	229.1	232.4
必要船腹量(B)	196.4	201.7	205.0	203.4
需給ギャップ(A-B)	25.7	22.2	24.1	29.0

図3 タンカー新規発注量と運賃指数

表2 タンカーの船型別隻数

(1999年度)

載貨重量トン数	隻数
30万トン以上	1
25万トン以上30万トン未満	18
20万トン以上25万トン未満	8
15万トン以上20万トン未満	1
10万トン以上15万トン未満	4
5万トン以上10万トン未満	8

3. 石油ロジスティクスネットワークモデルの全体像

本研究では、石油企業の行動をロジスティクスの視点から見て、それに対応した日本向けタンカー船隊の検討を行うために、世界全体の原油調達から精製・販売に至る石油ロジスティクスを対象とし、石油製品価格の変動を考慮した、石油ロジスティクスネットワークモデルを作成した。このモデルは石油企業の行動を推定し、それによる航路ごとの輸送需要を推定するための原油・製品輸送モデルと船腹量算出モデルの2部により構成されており、図4に流

図4 石油ロジスティクスネットワークモデルの流れ

れを示す。

原油・製品輸送モデルは、石油企業の行動を把握するためのモデルである。

2.1.2④の原油価格と製品価格が連動している特徴を以下のように表現し、モデルに取り入れた。まず、原油価格、製品価格などの初期条件を与え、世界全体の原油・製品輸送量を算出する。続いてこの結果を基に、調達してくる原油価格の平均を求める。この価格に連動して変化する製品価格を算出するために平均原油価格を、4.2.2節で説明する回帰式に代入し、新しい製品価格を算出する。この新しい石油製品価格と初期条件で与えた石油製品価格との比較を行い、価格差がある場合は初期製品価格を新製品価格で置き換え、再度計算を行う。この計算を初期製品価格と新製品価格との差がなくなるまで繰り返し、差がなくなったときの価格を最終製品価格とし、輸送量・調達地域を決定する。

船腹量算出モデルは必要船腹量を算出するモデルである。原油・製品輸送モデルの結果を基にして、船腹量算出モデルより、日本向け石油輸送に必要なタンカー船隊の最大就航回数、必要隻数・船腹量を求める。

原油・製品輸送モデルの詳細は4章、船腹量算出モデルの詳細は5章で説明する。

4. 原油・製品輸送モデル

4.1 原油・製品輸送のモデル化

4.1.1 原油・製品輸送のネットワーク表現

本研究においては、原油・製品輸送を、原油生産地、製油地、消費地をノード、原油調達・石油製品販売をリンク、原油・製品の輸送量をリンク上のフローとし、輸送について重点を置いたネットワークモデルとして表現した。

ノードの内、原油生産地は、原油生産量の多い地域5つに分類した。具体的には、米国、欧州、中東、アジア、アフリカの5地域である。また、全世界に100種類近くある油種を、生産地域・原油の性状・原油価格・生産量を考慮して代表的な16油種に分類した。

製油地は、大陸及び市場を考慮し、米国西海岸、東海岸、欧州、中東、およびアジア地域の中国、台湾、韓国、日本、シンガポールの合計9地域に分類した。

消費地は、製油地と同様に、米国西海岸、東海岸、欧州、アフリカ、中東、およびアジア地域の中国、台湾、韓国、日本、シンガポールの合計10地域に分類した。その一覧を表3に示す。

表3 原油・製品輸送モデルにおけるノード一覧

原油生産地	製油地	消費地
米国	米国東海岸	米国東海岸
	米国西海岸	米国西海岸
欧州	欧州	欧州
	中東	アフリカ
アフリカ	中国	中東
	韓国	中国
中東	台湾	韓国
	シンガポール	台湾
アジア	日本	シンガポール
		日本

リンクとしては、原油生産地—製油地間の原油調達リンクと、製油地—消費地間の石油製品販売リンクを設定した。

原油調達リンクの設定においては2.1.2①で述べた製油地で取り扱い可能な油種の制約を踏まえ調達できないリンクを除外した。

石油製品販売リンクは2.1.2②で述べた特徴を踏まえ、消費地別、石油製品別に設定した。また、輸送距離と大陸の存在を考慮して、石油製品販売が行われる可能性の低いリンク(例えばアジア—欧州間)を除外している。

以上のノードとリンクで構成されるネットワークは大規模なものとなるが、日本を中心としたネットワークの一部を図5に示す。図中の原油生産地内に用いられている記号は油種名を表している。

4.1.2 目的関数

原油・製品輸送を数理計画問題として定式化した。各企業は利益を最大となるよう行動をとると考えられる。原油調達価格や石油製品価格には企業間差違が小さいため、各企業は同一の行動をとっている

図5 日本を中心としたネットワーク

可能性が高い。そこで、本研究では全世界の製油企業を1つの企業として仮定し、この企業の総利益が最大となるように原油の調達から精製、石油製品の販売と繋がるロジスティクス活動を輸送量に重点を置いてモデル化を行った。

目的関数と制約条件で用いる記号の説明をまとめて表4に示す。決定変数は x_{ij}^m , y_{jk}^p であり、 x_{ij}^m は原油調達量、 y_{jk}^p は石油製品販売量を表す。

以下、各費用の定式化を示す。

総利益 (PT) を収入 (IC)、原油調達費 (OP)、原油精製費 (OR)、石油製品輸送費 (OS) の合計で表す (式1)。

$$PT = IC - (OP + OR + OS) \quad \text{式1}$$

右辺の第1項の収入は、各消費地における石油製品販売価格と石油製品販売量(製品輸送量)の積によっ

て求める (式2)。第2項の原油調達費用は、原油調達価格と原油調達量の積により求める (式3)。第3項の製油費用は、各製油地における精製費用と原油調達量の積により求める (式4)。第4項の石油製品輸送費用は、石油製品の輸送費用と製品輸送量の積により求める (式5)。下記に各式を示す。

$$IC = \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \left(\omega_k^p \cdot \sum_{\{j| (j,k) \in A2\}} y_{jk}^p \right) \quad \text{式2}$$

$$OP = \sum_{(ij) \in A1} \sum_{m \in M_i} \left(\alpha_{ij}^m \cdot x_{ij}^m \right) \quad \text{式3}$$

$$OR = \sum_{j \in J} \left(\gamma_j \cdot \sum_{\{k| (j,k) \in A1\}} \sum_{m \in M_i} x_{ij}^m \right) \quad \text{式4}$$

$$OS = \sum_{(jk) \in A2} \sum_{p \in P} \left(\beta_{jk}^p \cdot y_{jk}^p \right) \quad \text{式5}$$

表4 定式化における記号の説明

【集合の定義】

I	原油生産地の集合	i	原油生産地の要素
J	製油地の集合	j	製油地の要素
K	消費地の集合	k	消費地の要素
$A1$	原油調達リンクの集合	ij	原油調達リンクの要素
$A2$	石油製品販売リンクの集合	jk	石油製品販売リンクの要素
M_i	原油生産地毎の油種の集合	m	原油生産地毎の油種の要素
P	石油製品の集合	p	石油製品の要素

【決定変数】

x_{ij}^m	原油調達リンク ij の油種 m の調達量(kl)	y_{jk}^p	石油製品販売リンク jk の製品 p の輸送量(kl)
------------	-------------------------------	------------	---------------------------------

【定数】

<油種供給可能量など>

S_i^m	原油生産地 i の油種 m の油種供給可能量(kl)	C_j	製油地 j の原油の処理能力(kl)
D_k^p	消費地 k の石油製品 p の需要量(kl)		

<費用・価格・係数>

α_{ij}^m	原油調達リンク ij の油種 m の原油調達費用(円/kl)	β_{jk}^p	石油製品販売リンク jk の製品 p の製品輸送費用(円/kl)
ω_k^p	消費地 k の石油製品 p の販売額(円/kl)	γ_j	製油地 j の製油費用(円/kl)
ε_j^p	製油地 j で石油製品 p の得率		

4.1.3 制約条件

制約条件には、以下の5つがある。

① 原油生産地の油種供給可能量の制約

各原油生産地において原油の種類ごとに供給可能量の上限が決まっており、各原油生産地からの調達量の総量は供給可能量以下でなければならない(式6)。

$$\sum_{\{j|j \in A1\}} x_{ij}^m \leq S_i^m \quad \forall i \in I, m \in M_i \quad \text{式6}$$

② 製油地の原油処理能力の制約

各製油地において処理能力が決まっているため能力以上の原油を調達することはできない(式7)。

$$\sum_{\{i|j \in A1\}} \sum_{m \in M_i} x_{ij}^m \leq C_j \quad \forall j \in J \quad \text{式7}$$

③ 石油製品販売量の制約

各石油製品の精製量は各製油地における原油調達量と2.1.2③で述べた石油製品得率により求まるが、その石油製品の販売量は石油製品精製量以下でなければならない(式8)。

$$\sum_{\{k|k \in A2\}} y_{jk}^p \leq \varepsilon_j^p \cdot \sum_{\{i|j \in A1\}} \sum_{m \in M_i} x_{ij}^m \quad \forall j \in J, p \in P \quad \text{式8}$$

④ 需要量の制約

各消費地における石油製品毎の需要量を満たさなければならない(式9)。

$$\sum_{\{k|k \in A2\}} y_{jk}^p = D_k^p \quad \forall k \in K, p \in P \quad \text{式9}$$

⑤ 非負条件

原油・製品輸送量は必ず0以上である(式10)。

$$x_{ij}^m \geq 0, y_{jk}^p \geq 0 \quad \text{式10}$$

4.2 原油・製品輸送モデルの検証

4.2.1 検証における各種設定

年間油種供給可能量は1998年に対する1999年の生産量の割合を参考にして、実績値に+15%したものをを用いた。年間原油処理能力は製油地ごとに、年間需要量は2.1.2⑤を考慮し消費地ごとに、1997年の実績値を用いた。

原油価格は各製油地の原油調達地や原油の性状、季節などにより毎日変動するが(2.1.2④)、年間の原油・石油製品輸送量の傾向を見るため、1997年の実績値の平均価格を用いることにする。

原油輸送は2.2で述べたように20万トンから30万トンの船舶を多く所有しているので、すべて250000DWTの船舶で輸送するものと仮定する

石油製品の輸送費用は製品の種類、仕向地によって異なるが、本研究では製品輸送船の最大サイズである40000DWTクラスの船舶での輸送費用を用い

ることにする。ただし、今回は原油・製品輸送とも地域間輸送の検討を行なうため、域内輸送を考慮しない。

精製費用の構成は複雑であるが、本研究が輸送を主眼としているため簡略化し、各製油地で取り扱う油種にこだわらず、同様であるとしている。日本、韓国、シンガポール場合1997年の実績値を用い、他の地域はシンガポールの精製費用と同様であると仮定した。

4.2.2 石油製品価格の推定

原油価格の石油製品価格は原油価格と概ね連動しているため、1961年から1997年までの原油価格とレギュラーガソリン、灯油、軽油の石油製品価格から回帰式を求め、原油価格から石油製品価格を推定することとした(図6)⁽⁶⁾。

決定係数(R^2)はすべて0.8以上であり、この式を用いて、原油価格の変動による石油製品価格の変動を考慮することとした。

4.2.3 モデルの検証

数理計画問題として、石油企業全体の利益が最大となる原油・製品輸送航路、輸送量を求めた。なお、解法には数理計画パッケージ(NUOPT)を用いた。

図6 原油価格と製品価格の関係

図7 日本の原油・製品輸送形態の現状

図7に計算結果の一例を示す。

図中の原油生産地—製油地間の矢印は原油の調達地域間を表し、製油地—消費地間の矢印は石油製品の販売地域間を表し、太さは取引量を表している。この結果を含め世界のどのリンクにおいても現状の輸送量との差違は、原油調達で5%以下、石油製品販売で2%以下と非常によく一致しており(表5)、現状の原油・石油製品輸送をよく表現しているモデルであるといえる。

表5 原油・製品輸送モデルの検証

＞原油輸送実績値との比較

実績輸送量 との比較	製油地					
	米国	欧州	中東	アジア	日本	
原油	-0.2%	-0.5%	0.0%	0.8%	-0.1%	
生	-1.7%	1.9%	0.0%	-0.2%	0.0%	
産	-2.9%	1.3%	-0.1%	1.7%	0.0%	
地	3.0%	4.0%	-3.1%	-4.0%	0.2%	
	-0.2%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	

＞石油製品輸送実績値との比較

実績輸送 量との比	消費地					
	米国	欧州	アフリカ	中東	アジア	日本
製	-1.6%	0.1%	1.4%	0.0%	1.4%	0.2%
油	1.3%	0.2%	-1.9%	0.3%	-0.4%	0.0%
地	-0.3%	-0.3%	0.5%	-0.3%	-0.4%	-0.4%
	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	-1.6%	0.1%
	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	0.2%

5. 船腹量算出モデル

5.1 船腹量算出モデルの概要

船腹量算出モデルは、最大就航回数計算部、必要隻数計算部、船腹量計算部の3部より構成されている。基本的に石油企業は製油地精製方式を取っており、域外輸送は少ないので、今回は原油輸送について船腹量の算定を行ない、製品輸送について算定は行わないものとする。

最大就航回数は航海速力、荷役日数、港間距離から算出する。必要隻数は、この最大就航回数と原油・製品輸送モデルで求めた輸送量から載貨重量を所与として算出する。船腹量は必要隻数から1隻あたりの載貨重量を所与として算出する。

5.2 最大就航回数の算出

年間最大就航回数は航海速力 v (ノット)、荷役時間 α (日)を所与として航海距離 d (マイル)から算出することができる(式11)。

航海距離は文献(8)から求めた。航海距離を求めるために、原油生産地は石油積地の中心となるような港を選定し、製油地は製油能力と石油製品流出入の多い港を選定した。

$$\text{最大就航回数} = \frac{365 \times 24}{2 \cdot d/v + (24 \cdot \alpha)} \quad \text{式11}$$

航海速力は、文献(7)より、載貨重量と速力の関係を求めた。今回は隻数の多い、250000DWTクラスの平均速力を求め、満載時と空船時では平均速力に約2ノットの速力差があることを考慮し、平均速力を1ノット減らし、航海速力を13.7ノットとして計算を行った。

荷役時間はヒヤリングより、積荷時間を2日、揚荷時間を3日の計5日として計算を行った。各地域間の最大就航回数を表6に示す。例えば日本—中東の場合、年間約8航海となる。

5.3 必要隻数の算出

必要隻数は、最大就航回数と原油・製品輸送モデルで求めた輸送量から、1航海あたりの載貨重量を所与として、式12より算出を行った。

$$\text{隻数}_{(隻)} \leq \frac{\text{輸送量}}{1 \text{ 航海あたりの積載量}_{(t/隻 \cdot 回)} \times \text{最大就航回数}_{(回)}} \quad \text{式12}$$

なお必要隻数は、小数点1ケタを切り上げた整数値として算出している。

5.4 船腹量の算出

船腹量は必要隻数から1隻あたりの載貨重量を所与として求めることができる。表7に各リンクのモデルにより算出した船腹量を示す。総船腹量とは原油生産地から製油地までの各リンクの船腹量の総和を表したものであり、11750万トンとなる。中東—日本の原油輸送に必要な船腹量は2325万トンとなった。

5.5 船腹量算出モデルの検証

船腹量の検証を行うために、各リンクの船腹量の

表6 各リンクの就航回数

(単位:回/年)

就航回数		米国西海岸	米国東海岸	欧州	中東	中国	台湾	韓国	日本	シンガポール
		Los Angeles	Houston	Rotterdam	Ras Tanura	Shanghai	Kaohsiung	Ulsan	Yokohama	Singapore
中東	Ras Tanura	—	5.2	14.3	73.0	9.2	10.2	8.4	8.2	16.5
欧州	Ras Lanuf	—	—	73.0	—	—	—	—	—	5.0
アジア	Ardjuna	—	—	5.0	12.0	16.5	19.8	14.3	13.6	73.0
アフリカ	Cape Lopez	—	9.6	13.2	—	5.3	5.6	5.1	5.0	6.8
米国	La SaLina	17.3	20.0	—	—	5.8	6.1	5.5	7.9	5.7

表7 各リンクの計算結果船腹量

(単位: 万トン)

計算船腹量	製油地				
	米国	欧州	中東	アジア	日本
原油	—	0.0	0.0	525.0	0.0
生油	0.0	—	0.0	0.0	0.0
産地	0.0	—	0.0	1425.0	25.0
地	3725.0	2275.0	—	1450.0	2325.0
	0.0	0.0	0.0	—	0.0

実績値データが必要となるが、このような形のデータが存在しないため、全世界の海上荷動量・全世界の必要船腹量・各リンクの年間実績輸送量より実績船腹量の推定を行った。そして、この実績船腹量と計算結果船腹量の比較・検討を行った。

文献(6)の1997年の海上荷動量と船腹量のデータから全世界の平均就航回転数を求めた。また、文献(9)より、1997年の各リンクの年間原油輸送量実績値を求めた。そして、各リンクの原油輸送量実績値を平均就航回転数で割ることによって、各リンクの実績船腹量の算出を行った。この結果を表8に示す。表7、表8の総船腹量を比較すると、実績船腹量との誤差は6.6%である。

また、各リンクの比較を表9に示す。表より中東－米国間で誤差が大きいものの、他の地域間では誤差が10%以下と小さい。日本を見ると、誤差は1%程度である。リンクごとの輸送機関における量を決定するこのモデルは、機関選択モデルとしても捕らえることができる。他の研究の機関選択モデル⁽¹⁰⁾では、誤差が30%程度になっているのも珍しくない。したがって、今回のモデルで一部誤差が20%程度となっている個所もあるが、誤差の絶対値から見ると、良好の推定を行うことのできるモデルであるといえる。そこで、今回のモデルを用い、日本を中心とし

表8 各リンクの推定船腹量

(単位: 万トン)

実績船腹量	製油地				
	米国	欧州	中東	アジア	日本
原油	—	202.1	3.2	63.5	39.0
生油	664.6	—	6.3	52.7	7.0
産地	1145.5	—	25.5	364.1	18.8
地	1206.5	2418.5	—	2282.0	2287.2
	97.3	1.3	1.3	—	133.8

表9 推定船腹量と計算結果船腹量の比較

実績船腹量と計算船腹量との比較	製油地				
	米国	欧州	中東	アジア	日本
原油	—	-1.8%	0.0%	4.2%	-0.4%
生油	-6.0%	—	-0.1%	-0.5%	-0.1%
産地	-10.4%	—	-0.2%	9.6%	0.1%
地	22.9%	-1.3%	—	-7.5%	0.3%
	-0.9%	0.0%	0.0%	—	-1.2%

た航路について必要船腹量を検討することとした。

6. 原油価格が変動した場合の日本向けタンカー船隊の検討

価格が変動した場合のタンカー船隊の推定を行った。ここでは、日本と最も原油取引が多く、石油関連業界が日常的に注目し、かつ過去に日本の国民生活に大きな影響を与えた中東原油価格が変化した場合について検討を行った。原油価格は、年平均価格より±30ドル/KL程度は通常変化している。そのため、価格変動により、必要船腹量がどのように変化するかについて感度分析を行った。また、特に変動幅が大きかった湾岸危機や第1次石油危機と同様の価格になった場合についても検討することとした。その結果、次の3つの事がわかった。

① 輸送ルートについて

図8は湾岸危機程度価格が上昇した場合、日本の調達ルートの変化を示したものである。

原油調達を4章の図7と比較して見ると、アフリカ－日本の輸送ルートができたのに対し、製品販売ルートでは日本－アジアの製品ルートがなくなっている。

このように中東原油価格の変化によって、製油企業の利益を最大にするために、調達、販売における輸送ルートが変化する可能性があることがわかり、製油企業のサプライチェーンがどのように変化するかのかの推定が可能となった。また日本を中心とした輸送ルートの変化は、そこだけに留まらず、世界全体にもどのように影響を及ぼすかが推定できるようになったといえる。

したがって、船会社が、原油価格の変動を基に石油企業の調達ルートの変化への対処方法の検討を行うための基礎ができたことになる。

図8 日本の調達ルートの変化一例

② 船腹量について

図9は原油価格変動による日本向け船腹量変化を示したものである。日本向け航路においてサービスを行う船腹量の線は、2章の表1において世界のギャップ量は9.9%であることから、日本向けについてのギャップ量も同様と仮定し、算出したものである。

この図の船腹量の変化を見ると、原油価格が下がる場合もしくは価格上昇量が2ドル/KL未満である場合は、必要船腹量には変化はみられない。しかしながら原油価格が2ドル/KL程度上がると、図8のように石油企業がコスト最小を図って調達先を大きく変更する可能性があり、アフリカからの調達が増える場合、必要船腹量は増加することとなる。

今回は世界の就航可能船腹量を基にして、日本向け航路の必要船腹量を推定したが、船の運航のための直接船費や間接船費、用船料がわかれば本モデルを応用することによって、日本に必要な船腹量をどの程度確保すれば良いかということを検討することが可能となる。

③ 船型について

図10は原油価格が変動した場合の原油調達地・必要船腹量の変化を表したものである。図中の点線は現状のタンカー契約形態であり、長期契約が7割、スポット契約が3割となっている。

図9 原油価格変動と船腹量の関係

図10 原油価格変動と原油調達地・船腹量の関係

この結果を見ると、長期契約では実線のようにアジア向け中東原油価格が上昇しても、中東からの原油調達には最低約1000万トンの船腹量が必要であることがわかる。中東からの一定量の輸送需要が存在することから、このルートでは、輸送コストを下げるためにタンカーの大型化を検討することは意義のあることといえる。タンカーの大型化を検討するためには、本研究による輸送量・必要船腹量の推定を基に、更に積地や揚地の港湾の能力や水深、途中の航路の水深も併せて検討する必要がある。また、スポット契約分は原油調達先が中東からアフリカへと大きく変わる可能性がある。そのため、中東の港だけでなく、アフリカの港に入港できる船型のタンカー需要が高まることが予想され、また、輸送距離が伸びることから、さらに船腹量の不足が生じる可能性がある。

7. まとめ

原油調達から精製、石油製品の販売に至る流れを石油ロジスティクスとして捕らえた。そして、原油・製品価格の変動を考慮して、石油企業の行動を推定し、この結果から航路ごとの輸送需要を推定することにより、タンカー船隊に関する日本の船社の意思決定を支援するための石油ロジスティクスネットワークモデルを構築した。また、現状の原油・製品の取引量や船腹量と検証を行い、モデルの有効性を示した。本研究により、船社が石油企業の調達ルート変化の予測をし、その対処方法を検討するための基礎ができたことになる。

このモデルを用いて、アジア向け中東原油価格が変動した場合について、日本向け必要タンカー船隊の推定を行なった。その結果から次の2つのことをいうことができる。

① 中東の原油価格が2ドル/KL以上上昇すると、石油企業は輸入先をアフリカへと変更する可能性がある。この場合アフリカの港に入港できる船型のタンカー需要が高まることが予想され、こうした事態への対応をあらかじめ検討する必要がある。

② 原油価格が変化しても、中東からの原油調達には一定量の輸送需要が存在することから、輸送コストを下げるためにタンカーの大型化を検討することは意義のあることといえる。このためには本研究による輸送量・必要船腹量の推定を基に、更に積地や揚地の港湾の能力や水深、また途中の航路の水深も併せて検討する必要がある。

この他、港湾設備や費用、多種の船型、季節に応じたスケジューリング等について今後検討する必要

がある。

謝 辞

本研究にあたり、多くの有益なご助言をいただいた東京商船大学助手 風間富一先生に厚く御礼申し上げます。また、本研究は、運輸施設整備事業団基礎研究制度により、平成9年10月から平成12年3月まで行われた研究「97-02物流システム形成のための設計と評価手法に関する基礎的研究」を基に発展させたものであることを付記するとともに、関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 曾我正美：「石油精製・輸送モデルの開発による日韓石油産業の連帯オプションの分析」：日本航海学会論文集，第101号，pp281-289，1999.
- (2) 大和裕幸・角田智弘・小山健夫・伏見 彬：「数理計画法によるコンテナ船航路の設計手法について」，日本造船学会論文集，第184号，pp611-619，1998.
- (3) 黒川久幸・鶴田三郎・嶋 邦彦：「海上コンテナ輸送ネットワークの設計に関する研究—東・東南アジアを中心として—」：日本航海学会論文集，第101号，pp259-269，1999.
- (4) エネ庁 便り：資源エネルギー庁 [http://](http://www.enecho.meti.go.jp/energy.html)

www.enecho.meti.go.jp/energy.html

- (5) 垣見油化株式会社：石油業界DATA.
- (6) 日本郵船株式会社 調査グループ：「図解 海運市況の回顧と展望 砂上の楼閣の饗宴か？」，2000年6月.
- (7) 社団法人 日本海運集会所：「日本船舶明細書 I」，1999.
- (8) 海上保安庁：「距離表」，1995.
- (9) BLACKWELL energy research：「World Oil Trade」，1999.
- (10) 松尾俊彦・鶴田三郎・黒川久幸：「発着港湾の位置とフェリー利用に関する要因分析」：日本航海学会論文集，第103号，pp93-102，1999.

質 疑 応 答

斎藤勝彦(神戸商船大学)：備蓄されている石油についてもネットワークの中にモデル化する必要があるのでしょうか？もし、備蓄石油をロジスティクスシステムの1つとして運用することは有効な対策となる場合があるのでしょうか？

香月裕樹：現状では石油備蓄を取り壊すことができないことになっています。したがって、現状においては備蓄をネットワークの中にモデル化することは必要ないと考えています。