

国内フェリー・RORO船航路の需要予測に基づいた船舶 主要目の決定と航路の採算性に関する研究

正員 久保 登^{*} 正員 勝原光治郎^{*}
正員 大和 裕幸^{**} 正員 道田 亮^{***}

A study on determining specifications of vessels and profit of a ship company
by an estimation for cargo demand analysis on ferry or RORO-ship lines

by Noboru Kubo, *Member* Mitujirou Katuhara, *Member*
Hiroyuki Yamato, *Member* Ryoji Michida, *Member*

Summary

Domestic shipping companies should decide whether a new or existing line is profitable or not. We propose a method to find profitability for an examining sea line and proper specifications of a ship for it. The method is made of PC programs including an estimating method of cargo demand and calculate a fleet condition, ship specifications and shipping account for a long haul ferry or RORO ship line.

1. はじめに

国内フェリー航路やRORO船航路は、国内長距離ユニットロード物流需要の10%を担っているが、小回りの利く車載貨物の特性や、直線的長距離航路による低コストで低環境負荷という海運の特性などを生かした輸送手段として、今後の発展が期待されている。

これらフェリー・RORO船航路が、事業として発展していくために、現状の改革や新規航路の検討が絶えず行われるであろう。その場合に経営者の各種情報収集に基づく経営判断があるが、現状では必ずしも合理的根拠に拠らない「経験と勘」で経営をせざるを得

ない状況がある。例えば、日本経済の変化、大口顧客との契約更改、航路運賃の改定、船舶リプレース、新規航路開設、競合他社の運賃改定等経営変化などに際して、最適な航路条件や船舶主要目は何であるか、採算性はどうかなどを判断しなければならないが、これらを診断する技術がないことによる面もある。もし、これらの航路診断方法があれば、船社の経営改善や戦略立案に役立たせることはもとより、最終的には経営者の判断がこの方法より優先させるとしてもその判断の適否の経験をこの方法の活用によって蓄積することができるであろう。

航路に就航させる船舶は航路の需要に見合うように設計すべきことは言うまでもない。従来は、航路の需要を決めてしまえばその後の設計は需要を気にすることなく行えばよかった。しかし、運賃や速度などの航路条件によって需要が変わることを考慮すると、種々

* 独立行政法人 海上技術安全研究所

** 東京大学大学院 新領域創成科学研究科

*** 石川島播磨重工業株式会社

原稿受理 平成14年7月10日

秋季講演会において講演 平成14年11月14, 15日

の航路条件に対して需要を求め、その需要に便数や車両レーン数など設計の自由度も考慮して各種の船舶を設計し、その船価を見積もり、この船舶を投入したときの船社の採算性を計算し、多数の設計例の中でよいものを選ぶことにすれば合理的である。従来も船社の経営者の頭の中はこのような思考が行われていて、その中の最適なものを作成所に提示していたと考えられる。上述の方法は船社経営者の思考プロセスを明示して数値化し合理的に判断できるようにすることである。

このように物流需要を考慮した船舶設計が行われれば、造船所の側も船社に船型を提案することができる。航路に対する提案を造船所からも受けられれば、船社にとっても有益である。また、船社事業の展開に融資する金融関係がこの事業への判断を下す際の判断材料をこの方法で得ることもできる。起業家のツールとしても活用を期待できる。

2. 手法の概要

本研究で用いた手法は以下のものである。まず、著者らの開発した需要予測プログラムで、検討航路の計算の前提となる予測需要量を算出する（このプログラムについては、次節で概説する。詳しくは文献1を参照されたい）。この需要予測は、一つの検討航路について数通りの所要時間・運賃を設定することができる。

次に需要予測によって検討航路に割り付けられた予測需要量を輸送するのに必要な船舶の積載量（ペイロード）と投入船舶隻数を求める。ここでペイロードと船舶隻数は、当該航路の1日の便数を数通り設定することで、複数の組み合わせを求めておく。

この後、算出されたペイロードを基に、そのペイロードに見合った、フェリーまたはRORO船の主要目を計算する。

さらに、求められた主要目を持つ船舶の船価と投入隻数から、その船を運用した場合の当該航路の年間採算を計算する。

3. 需要予測

3.1 需要予測プログラム

検討航路の主要目および採算計算の基礎となる予測需要量は、前節で触れた、著者らの開発した国内フェリー・RORO船航路需要予測プログラムによった。このプログラムは、実際の航路、鉄道、道路を模した全国規模の物流経路ネットワーク(Fig.1)を計算機上に設定し、拡張犠牲量モデルを用いて、ネットワーク上を流れる貨物の経路選択を計算するものである。



Fig. 1 The network used in a demand estimation

あるOD（出発地と到着地）に流れる貨物は、運送事業者にとって、コストや所要時間などの運送に伴う負担が最小になる経路を通ると考えられる。そこで、このような負担を運送事業者の「犠牲量」としてとらえる。物流路ネットワークを構成する一つ一つのパス（区間）について下式(1)のような「犠牲量」を設定し、あるODの通る物流経路全体の犠牲量を式(2)のように定義する。

$$1 \text{ パスの犠牲量 (円)} \quad Gp = C + T \cdot w + F \quad (1)$$

$$1 \text{ 経路の犠牲量 (円)} \quad \Sigma Gp + a \cdot L \quad (2)$$

（ただし、C：コスト、T：所要時間、w：時間価値、a：端末距離係数、L：端末距離、F：航路補正項
Fとa・Lは航路利用の場合のみ付加）

この定義によれば、ある1つの経路全体の犠牲量はそれを構成する各パスごとの犠牲量の和となる。端末距離Lと端末距離定数aは、航路選択の際の港から離れたODの場合の選択しにくさを補正する項である。航路補正項は、航路を表すパスに限って用いるもので、各航路固有の諸条件（端末コスト、航送形態、荷役時間、便数、平均待ち時間、運賃割引など）を、プログラム上で一律に設定していることを補正する項である。時間価値w(円/hr)は、所要時間1時間を貨幣価値にした価値判断で、これによって、ある荷物経路の犠牲量も変化する。時間価値が変化するにつれて、同一ODの最小犠牲量経路が変化する。最小犠牲量の経路がそ

の時間価値範囲での貨物を受け持つと考えると、時間価値の社会的分布量から経路の貨物配分率を決めることができる。各バスの犠牲量をネットワークのバスの重みと考えれば、ある荷物の最小犠牲量経路の発見は、設定したネットワークについての「最小重み経路探索」に帰着するので、ここでは「ダイクストラ法(Dijkstra method)」を用いて最小犠牲量経路を探索した。

なお、時間価値と上式の補正項 $a \cdot L$ は、平成7年度全国貨物流動調査から経路分担率の実績値を調べ、プログラムのアルゴリズムを逆にたどって推計した。また、補正項 F は、計算した予測需要量が平成7年度全国貨物流動調査の実績と合うように調整した。

3.2 需要予測計算の結果例

この需要予測プログラムに、平成7年度全国貨物純流動調査の都道府県間ユニットロード貨物物流量ODを与え、国内長距離フェリー航路(30航路)の需要量を再現した。この状態で計算機のネットワークに新規航路を追加したり、既存航路の条件(所要時間や運賃)を変更したりすることで、検討対象とする新規航路・既存航路の需要予測を行うことができる。

Fig.2に需要予測の計算結果例を示す。なお、予測需要量の単位は、基本データとして用いた純流動調査の形式に合わせて、トン/3日としている。

残しを許容する場合は、カットオフ率は100%未満となるが消席率は常に100%となる。カットオフ率は、検討航路の上下方向の予測需要量を基準として、常に積み残しを許容する小さな船型から、逆に常に積載量に余裕のある大きな船型まで9種類を設定した。

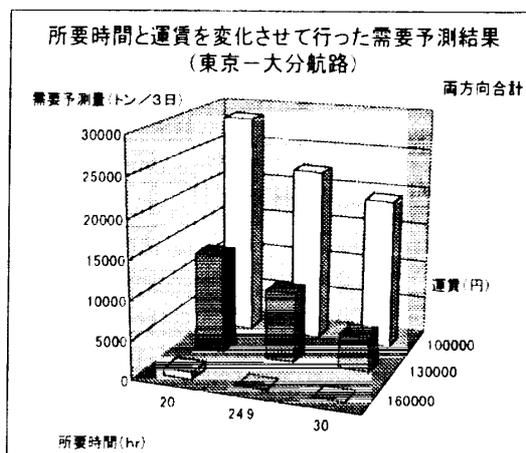


Fig. 2 An example of cargo demand estimation

4. 投入船舶の主要目の決定

4.1 船隊の設定

投入船舶の主要目決定では、まず、検討航路にどのような積載容量 $Ca[t]$ (キャパシティ) の船を何隻(隻数 Nv) 投入するかを、以下のような仮定をもとに設定する。

(1) 検討航路の上下方向の1日あたりの予測需要量を需要予測プログラムより得る。両方向の予測需要量の大きい方を $Qmax$ 、小さいほうを $Qmin$ とする。

(2) 検討航路の1日あたりの便数 Ns を設定する。本手法では、最大9通りまでの Ns を設定できるようにした。

(3) 投入船舶のカットオフ率 Cf を設定する。カットオフ率 Cf とは、Fig.3に示すような考えによる係数である。これは、本プログラムの利用者(航路事業者など)が、貨物集中期にできるだけ積み残しを避けるように余裕を持たせたり、逆に、積み残しを許容して常に高い消席率を維持したり、という選択をしようとするためのものである。積載率に余裕を持たせる場合は、カットオフ率は100%より大きくなり、積み

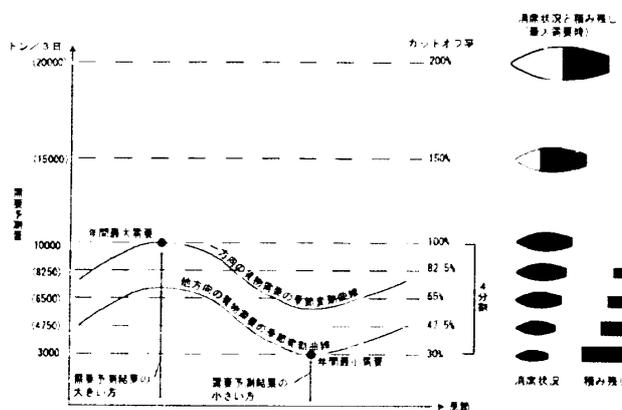


Fig. 3 Cut off rate

ある航路について、需要予測プログラムで求められた上下別の需要予測量の大きい方を年間最大需要、小さい方を年間最小需要、と仮定する。まず、双方の差を4等分して、5種類の需要量を設定し、さらに、年間最大需要の1.5倍、2倍、3倍、4倍の4種類の需要量も設定する。(たとえば、上り需要予測量 $10000t/3日$ 、のり需要予測量 $3000t/3日$ の場合は、 $3000t$ 、 $4750t$ 、 $6500t$ 、 $8250t$ 、 $10000t$ 、 $15000t$ 、 $20000t$ 、 $30000t$ 、 $40000t$ の9種類の需要予測値を設定する) 本プログラムでは、このような需要予測値の設定を、「年間最大需要(予測量) = 100%」とする「カットオフ率」で表す。上述の例だと、カットオフ率はそれぞれ、30%、47.5%、65%、82.5%、100%、150%、200%、300%、400%となる。

(4) 片道航海時間 + 荷役時間 3 時間を片道所要時間とし、これを 2 倍したものを 1 往復所要時間 T_r とする。

(5) 1 隻あたりの積載容量 C_a (単位 t) は、カットオフ率 C_f と 1 日あたり便数 N_s によって以下のように決定する。

$$C_a = C_f \times Q_{\max} / N_s$$

(6) 必要隻数 N_v (隻) は、以下のように決定する。

$$N_v = T_r / (24 / N_s)$$

(ただし、 N_v が小数の時は整数に切り上げる)

ここで、 $(24 / N_s)$ は、発時隔を表す。

4.2 船舶主要目の決定

前小節で計算された 1 隻あたりの積載容量 C_a から、投入船舶の主要目を以下のように決定する。なお、今回の計算では、貨物フェリー・RORO 船のみについて計算を行った。

(1) 積載容量 C_a [t] をすべて積み込める貨物自動車数 (15t 積トレーラー台数 N_r および 5t 積トラック台数 N_c) を以下の式によって求める。ここで積載貨物自動車中のトレーラー台数の割合 R_t は任意に設定できる。

$$C_a = 15N_r + 5N_c, \quad R_t = N_r / (N_r + N_c)$$

たとえば、

$C_a = 1000$ [t]、 $R_t = 0.5$ のときは、

トレーラー 50 [台]、トラック 50 [台]、となり、

$C_a = 1000$ [t]、 $R_t = 1$ (すべてトレーラー) のときは、

トレーラー 67 [台]、トラック 0 [台]、となる。

なお、本プログラムの初期値では、 $R_t = 1$ とした。

(2) 積載貨物自動車の車長から、投入船舶の必要レーン長 R_r [m] を求め、これから車両甲板面積を決定する。車両甲板面積と、標準の L/B (船長船幅比) から垂線間長 L_{bp} [m] と船幅 B [m] を求める。垂線間長から全長も求めるが、今回の計算では、全長 250m を越える船型は不適当とみなした。また、船幅については標準 L/B に従うと、車両甲板幅が必ずしもレーン幅の整数倍とならないので、レーン数の整数倍の車両甲板幅を持つもののうち、ここで求めた B に最も近いものと、1 レーン多いもの、1 レーン少ないもの、の 3 種類の船幅について計算をする。

(3) 積載容量 C_a にトレーラー、トラックの自重も

含めた貨物重量 W_c を求め、上記の L_{bp} 、 B とあわせて、概略載貨重量 Dwo [t] と概略排水量 Dpo [t]、概略馬力 Pso [kW] を推定する。

(4) これらの値から、深さ (全通船楼甲板深さ $D1$ [m]、隔壁甲板深さ $D2$ [m]) を求める。

(5) 上項の Dwo 、 Pso などは概略値であるので、改めて L_{bp} 、 B および $D1$ 、 $D2$ などから、船殻重量、船装重量、機装電装重量、主機重量を求め、さらに軽荷重量、載貨重量および排水量を求める。さらに、船幅 B と深さ D から復元性能を調べ、これを満たすもののみから主機出力を計算する。

(6) 上で求めた L_{bp} 、 B 、 $D1$ 、 $D2$ および排水量から、総トン数 [トン] を求める。算出式は国際総トン数の求め方によった。

以上より、船隊決定部で設定した 1 日あたり便数 1 通りにつき、カットオフ率 9 通り × 船幅 3 通り = 27 通りの船型が計算される。

5. 採算計算

5.1 概要

本手法では、予測需要量をもとに、前節で計算した各々の船型を投入した場合の、1 年間の採算を計算した。検討航路の輸送貨物量は、カットオフ率が 100% 以上の場合は予測需要量を、カットオフ率が 100% 未満の場合はペイロードを、それぞれ年間輸送量に変換する (予測需要量: トン/3 日、年間運航日数 340 日)。

(1) 収入

この年間輸送料にトンあたりの運賃を掛けて収入を計算する。ただし、収入には輸送量に割引した航路運賃を乗じる。

(2) 支出

また、前項で決定された投入船舶の主要目から船価、燃料費等求め支出 (コスト) を計算する。

支出 (コスト) は、内航海運の一般的なコスト計算法に従った。これは船舶経費と店費から構成され、船舶経費は船費と運航費からなる。以下に支出計算の細目を示す。

① 船費として、船員費、修繕費、船用品費、潤滑油費、保険料、固定資産税、雑費、減価償却費、金利を計上する。

② 運航費として、燃料費、港費、トラック取扱費、(旅客費、乗用車取扱費) を計上する。

③ 船主店費は船費の 10% とする。運航店費は船費 + 燃料費 + 港費 + 船主店費の 8% とする。

④ 船員費は、船員数 (予備船員を含む) に船員費単価を乗じる。

- ⑤ 修繕費は総トン数に比例する。
- ⑥ 船舶保険料、固定資産税、雑費、減価償却費、金利は船価に比例する。
- ⑦ 保険料は船舶保険料、対物賠償責任保険料、PI(船主責任相互)保険料の和である。
- ⑧ 対物賠償責任保険料は最大積載車両台数と対物賠償責任保険料率を用いて算出する。
- ⑨ PI保険料はPI保険料率と投入船隻数を用いて算出する。
- ⑩ 船価は造船所会計の概算を行う。
製造原価は材料・加工費、設計費、他経費からなり、材料・加工費は船殻材料・加工費、船装材料・加工費、機装電装材料・加工費、居住区一括外注費(フェリーのみ計算)、主機費から成る。製造原価に利益+経営費を加えて船価とする。
- ⑪ 燃料費は燃料消費量に単価を乗じる。潤滑油量は主燃料の1%とする。
- ⑫ 港費は入港回数に総トン数と単位入港費を乗じる。
- ⑬ トラック取扱費は、1台あたりの単価を用いる。

(3) 利益及び利益率を以下のように求める。

$$\text{利益} = \text{収入} - \text{支出}$$

$$\text{利益率} = \text{利益} / \text{支出}$$

6. プログラム概要

本手法に用いたプログラムは、C言語によって記述し、入力データファイル、出力データファイルとも、CSV形式またはテキスト形式を用いる。プログラムの

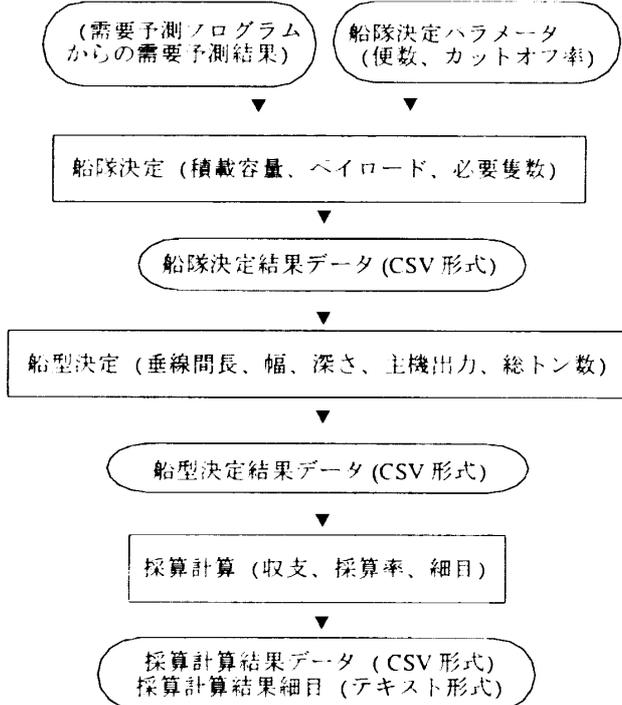


Fig. 4 Outline of the proposed method

構成は Fig.4 にしめすようになっている。

なお、現在は、需要予測プログラム部分と、船隊・船型・採算計算部の4部分を連続して計算するように設定してあるが、予測需要データや、船隊データ、船型データなどを別途用意して、プログラムの中途から計算を始めることもできる。

7. 適用例

7.1 実際の需要量を用いた主要目の試算

本手法による船型の計算が妥当であることを確かめるために、現行の長距離フェリー航路(航路長300km以上)の平成7年純流動調査の輸送実績と現状便数を用いて、各航路の計算で採算が最良を示した船型を Table 1 と Fig.5 に示した。ここでは比較しやすいように全長のみを示す。Table 1 中、値が「-」のものは現行の投入船のデータが入手できなかったもおよび、

Table 1 Overall lengths of actual and calculated ships

航路名	(実際値) (計算値)		航路名	(実際値) (計算値)	
	全長m	全長m		全長m	全長m
苫小牧・仙台	192	119.4	室蘭・大洗	192	134.3
苫小牧・大洗	170	128.3	岩内・直江津	-	113.4
苫小牧・東京	178	242.2	直江津・室蘭	-	-
舞鶴・小樽	193	163.2	新門司・徳島	166	-
川崎・宮崎	170	-	徳島・東京	166	-
新門司・大阪南港	160	181.4	新門司・東京	166	137.3
神戸・高松	-	238.9	甲浦・大阪	133	-
松山・神戸	150	155.2	細島・川崎	170	-
大分・神戸	150	128.3	新門司・堺泉北	-	129.5
新潟・小樽	193	152.2	釧路・東京	-	119.2
宮崎・大阪	-	137.3	室蘭・八戸	126	146.4
名古屋・仙台	192	146.2	苫小牧・八戸	126	126.8
名古屋・苫小牧	192	131.3	新門司・神戸	174	119.2

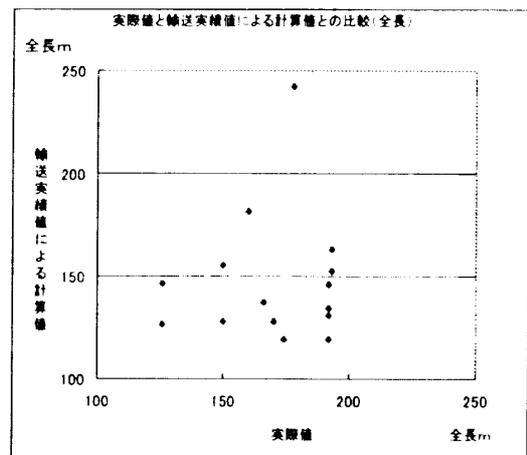


Fig. 5 Overall lengths of calculated ships vs. actual ones

計算値が極端に小さく採算の点から現実的な船型が計算できなかったものである（計算のもとになる純流動調査の輸送量データが極端に小さかったなど）。

Table 1・Fig.5より、実際の需要量から算出できた船型は、計算に考慮しなかった条件などの影響で、必ずしも現実に最良のものであるかどうか言えないが、現実値と同程度の値であるので、現実的な値であると判断した。

Table 2 Results of cargo demand estimation (Tokyo - Oita and Nagoya - Oita route)

東京一大分(航路長926km) 予測需要量(t/3days)				
	所要時間(hr)	20	24.9	30
運賃(円)	100,000	13,467	9,407	8,843
	130,000	6,851	5,987	3,685
	160,000	695	78	0
大分一東京(航路長926km) 予測需要量(t/3days)				
	所要時間(hr)	20	24.9	30
運賃(円)	100,000	15,168	12,876	10,392
	130,000	5,969	3,039	800
	160,000	212	0	0
名古屋一大分(航路長683km) 予測需要量(t/3days)				
	所要時間(hr)	14	18.3	22
運賃(円)	70,000	28,114	24,260	22,776
	100,000	3,681	2,316	1,946
	130,000	159	0	0
大分一名古屋(航路長683km) 予測需要量(t/3days)				
	所要時間(hr)	14	18.3	22
運賃(円)	70,000	8,876	6,090	5,002
	100,000	1,288	77	39
	130,000	0	0	0

7.2 予測需要量を用いた計算例

7.2.1 概要

次に、本手法を国内の仮想の新規航路に適用する。まず、需要予測プログラムで予測需要量データを算出し、この結果に今回の手法を適用する。需要予測計算では、多数の船隊・船型計算結果から、利益率のよいものを抽出するために、Table 2のような複数の航路条件（所要時間と運賃の組み合わせ）を用いて計算を行った。

この予測需要量を用いて、以下のような便数・カットオフ率を設定し、船隊・船型・採算計算を行った。

●便数：0.5, 0.86, 1, 1.5, 2, 3 (便/日) の6通り

(注・0.86便/日は「7日に6便」を表す)

●カットオフ率：100%未満：4通り、100%以

上：100, 150, 200, 300, 400(%)の9通り

●船幅：3通り（船型計算において）

これによって、この後の船型・採算計算では、所要時間3通り×運賃3通り×便数6通り×カットオフ率9通り×船幅3通り=1458通りの計算を行い、採算の上位の結果を検討する。

7.2.2 東京・大分航路、名古屋・大分航路

まず、現状では航路設定がない東京・大分間と、名古屋・大分間に航路を設定し計算した。Table 3に東京・大分航路の船隊の計算結果の一部を示す。表の左端のIndexは、計算の際の所要時間、運賃、便数、カットオフ率の組み合わせを表すもので、それぞれIndexの「万・千・百・十位」に対応する。表中のIndex11110は、それぞれの1番目の設定値（所要時間20時間、運賃100000円、便数0.5便/日、カットオフ率400%）を用いたことを示す。Indexの一の位は、この後の船型計算の際の3種類の船幅を示すものである。

Table 3 Result of fleet calculation (partial)

Index	輸送時間(h)	輸送費用(¥/台)	便数(便/日)	航海船速(kts)	必要隻数(隻)	ペイロード(t)	カットオフ率(%)
11110	20	100000	0.5	25.97	1	33245	400
11120	20	100000	0.5	25.97	1	24934	300
11130	20	100000	0.5	25.97	1	16622	200
11140	20	100000	0.5	25.97	1	12467	150
11150	20	100000	0.5	25.97	1	8311	100
11160	20	100000	0.5	25.97	1	6971	83.88
11170	20	100000	0.5	25.97	1	5631	67.76
11180	20	100000	0.5	25.97	1	4292	51.64
11190	20	100000	0.5	25.97	1	2952	35.51

Table 4に東京・大分航路の船型計算の結果の一部を示す。Index11111~11113は、全長が大きすぎたり、復元性能を満たさないなど、有効な船型が計算できず、-1の表示となっている。以降、Index11193ではじめて船型が算出されたことがわかる。

Table 4 Result of ship specifications (partial)

Index	全長(m)	垂線間長(m)	船幅(m)	深さ(m)	主機MCR(kW)	実用出力(kW)	主機台数	燃費(t/h)	総積載量(t)	総トン数	トレーラ積載台数	トラック積載台数	レーン数
11111	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11112	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11113	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11193	182	165	33	6	19,084	12,176	2	5	6,267	14,374	96	0	10
11281	190	173	27	7	14,335	12,901	2	4	5,469	12,817	166	0	8
11282	7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11283	170	155	30	7	20,713	18,641	2	5	5,435	12,232	166	0	9
11291	6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11292	5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11293	148	134	24	7	10,942	9,848	2	3	3,983	8,458	114	0	7

Table 5 Result of account calculation (Tokyo - Oita)

利益率順位	Index	利益率	全長m	垂線間長m	船幅m	レーン数	主機MCR kW	常用出力 kW	主機台数	総トン数	トレーラ積載台数	トラック積載台数
1	21451	1.187	179	162	26.6	8	6220	5599	2	11546	158	0
2	22251	1.143	165	150	23.5	7	6087	5478	2	9264	127	0
3	21453	1.138	160	145	29.7	9	7100	6390	2	10978	156	0
4	21551	1.117	175	159	20.4	6	5569	5012	2	8921	117	0
5	31553	1.086	122	111	23.5	7	2491	2242	2	5681	94	0
6	22253	1.074	145	132	26.6	8	7164	6447	2	8704	127	0
7	31353	1.057	194	176	29.7	9	4136	3723	2	13415	189	0
8	21553	1.056	152	138	23.5	7	6561	5905	2	8247	117	0
9	31453	1.019	144	131	26.6	8	3320	2986	2	8210	126	0
10	11453	1	189	172	29.7	9	15990	14391	2	13853	184	0

利益率順位	Index	経費 t/h	深さm	積貨重量t	所要時間hr	フェリー料金円	年間輸送量	便数	航海船速kt	必要便数	ペイロードt	カットオフ率%
1	21451	1.5	6.3	4909	24.9	100000	1287600	15	20.7	4	2352	100
2	22251	1.5	6	4130	24.9	130000	598700	0.9	20.7	2	1914	100
3	21453	1.7	6.1	4890	24.9	100000	1287600	1.5	20.7	4	2352	100
4	21551	1.6	5.9	3878	24.9	100000	1287600	2	20.7	5	1764	100
5	31553	0.8	4.5	3117	30	100000	1039700	2	17	6	1424	100
6	22253	1.8	5.8	4111	24.9	130000	598700	0.9	20.7	2	1914	100
7	31353	1.1	5.3	5626	30	100000	1039700	1	17	3	2647	100
8	21553	1.6	5.8	3853	24.9	100000	1287600	2	20.7	5	1764	100
9	31453	0.8	4.8	3962	30	100000	1039700	1.5	17	5	1898	100
10	11453	3.9	6.5	5954	20	100000	1516800	1.5	26	3	2770	100

Table 6 Result of account calculation (Nagoya - Oita)

利益率順位	Index	利益率	全長m	垂線間長m	船幅m	レーン数	主機MCR kW	常用出力 kW	主機台数	総トン数	トレーラ積載台数	トラック積載台数
1	31651	1.303	179	163	23.5	7	3371	3034	2	9867	138	0
2	31653	1.276	158	144	26.6	8	3511	3160	2	9328	138	0
3	31553	1.274	193	176	32.8	10	4602	4142	2	14628	208	0
4	21651	1.251	190	173	23.5	7	6085	5477	2	11395	147	0
5	21653	1.237	168	153	26.6	8	6591	5932	2	10705	147	0
6	21561	1.096	196	178	26.6	8	6643	5979	2	13117	171	0
7	31561	1.069	183	167	26.6	8	3794	3415	2	11358	160	0
8	21563	1.06	175	159	29.7	9	7251	6526	2	12464	171	0
9	31563	1.053	164	149	29.7	9	3950	3555	2	10855	160	0
10	31663	0.994	139	126	23.5	7	3156	2841	2	6914	107	0

利益率順位	Index	経費 t/h	深さm	積貨重量t	所要時間hr	フェリー料金円	年間輸送量	便数	航海船速kt	必要便数	ペイロードt	カットオフ率%
1	31651	0.8	5	4250	22	70000	2277600	3	17.3	7	2080	100
2	31653	0.9	5	4239	22	70000	2277600	3	17.3	7	2080	100
3	31553	1.1	5.5	6060	22	70000	2277600	2	17.3	5	3120	100
4	21651	1.5	6.4	4617	18.3	70000	2426000	3	21	6	2216	100
5	21653	1.6	6.3	4598	18.3	70000	2426000	3	21	6	2216	100
6	21561	1.6	6.3	5249	18.3	70000	2426000	2	21	4	2576	77.5
7	31561	0.9	5.2	4819	22	70000	2277600	2	17.3	5	2409	77.2
8	21563	1.8	6.1	5231	18.3	70000	2426000	2	21	4	2576	77.5
9	31563	1	5.1	4809	22	70000	2277600	2	17.3	5	2409	77.2
10	31663	0.8	4.7	3429	22	70000	2277600	3	17.3	7	1606	77.2

Table 7 Results of cargo demand estimation (Tokyo - Osaka route)

運賃(円)\所要時間(hr)	14	18.3	22
70000	2810	2648	2640
100000	0	0	0
130000	0	0	0

運賃(円)\所要時間(hr)	14	18.3	22
70000	9102	8751	6898
100000	0	0	0
130000	0	0	0

ついて、採算10位までのもののIndex番号、採算率、その他の主要目を採算率順に示すとTable 5, Table 6 となった。

7.2.3 東京・大阪航路

さらに、現在、陸上物流の大動脈である、東京・大阪にフェリー航路を設定し、本手法を適用した。需要予測の航路条件(所要時間、運賃)と予測需要量は以下の通りとなった(Table 7)。

Table 8 Result of account calculation (Tokyo-Osaka)

利益率順位	Index	利益率	全長m	垂線間長m	船幅m	レーン数	主機MCR kW	常用出力 kW	主機台数	総トン数	トレーラ積載台数	トラック積載台数
1	31251	0.388	190	172	23.5	7	8221	5599	2	11421	147	0
2	31253	0.364	168	153	26.6	8	6741	6067	2	10729	147	0
3	31453	0.238	124	113	20.4	6	6085	5476	2	9351	83	0
4	31351	0.229	182	147	23.5	7	6542	5888	2	9122	125	0
5	31263	0.209	145	135	23.5	7	7169	6452	2	8098	115	0
6	31353	0.205	143	130	26.6	8	7574	6817	2	8564	125	0
7	21253	0.095	183	148	29.7	9	25902	23312	2	11802	154	0
37	11253	0.135	179	183	32.8	10	62457	58212	2	14112	193	0
55	11251	0.321	198	180	29.7	9	91389	82250	2	14664	193	0

利益率順位	Index	経費 t/h	深さm	積貨重量t	所要時間hr	フェリー料金円	年間輸送量	便数	航海船速kt	必要便数	ペイロードt	カットオフ率%
1	31251	1.5	6.3	4820	22	70000	689800	0.9	21.1	2	2605	100
2	31253	1.7	6.2	4601	22	70000	689800	0.9	21.1	2	2605	100
3	31453	1.5	5.4	2885	22	70000	689800	1.5	21.1	4	1262	100
4	31351	1.8	6.1	4020	22	70000	689800	1	21.1	3	1890	100
5	31263	1.8	5.9	3748	22	70000	689800	0.9	21.1	2	1738	100
6	31353	1.9	5.9	4004	22	70000	689800	1	21.1	3	1890	100
7	21353	6.4	6.7	5256	18.3	70000	875100	1	26.7	2	2398	100
37	11253	15.4	7	8008	14	70000	910200	0.9	49.2	2	2910	100
55	11251	22.5	7	8133	14	70000	910200	0.9	49.2	2	2910	100

所要時間と運賃の設定の組み合わせでは、運賃70000円の場合のみ需要が予測された。これは、10万円、13万円の運賃設定が高すぎたことが主な原因と考えられる(東京から大阪までの特急列車の高速道路料金は約3万円である)。

東京・大阪航路の採算率も含めた主要目について採算率上位8位を含む10例をTable 8に示した。

8. 考察

前節のTable 2を見ると、東京・大分航路では、Index番号の上二桁が21, 22, 31のもの(以下単に21,31などと呼ぶ)が、名古屋・大分航路では同じく21, 31が上位を占めている。Index番号上二桁と所要時間・運賃の関係はTable 9のとおりである。Table 2も併せて見ると、これら

Table 9 Calculation conditions and index numbers

運賃(円)\所要時間(hr)	20	24.9	30
100000	11000	21000	31000
130000	12000	22000	32000
160000	13000	23000	33000

運賃(円)\所要時間(hr)	14	18.3	22
70000	11000	21000	31000
100000	12000	22000	32000
130000	13000	23000	33000

(11000~33000はIndex番号)

(Table 9 太字部分)は所要時間よりも運賃が安い航路条件に当たる。Table2によれば、短い所要時間で安価な航路条件(Index 11000)に大量の貨物が集まるが、この場合、コストのかかる高速の船舶を用い、安い運賃で営業することになるので、採算計算上では、必ずしも望ましいとはいえない状態であるということがわかる。

東京・大阪航路では、採算率が正になるのはすべて31,21の航路条件のものである。航路条件11は、東京・大阪間を14時間で結ぶものだが、需要予測計算において、東京港付近、大阪港付近の船速制限区間を長くし、巡航速度約50ノットの超高速船としたので、船価や燃料費が極めて高くなり、採算割れとなった。

また、これらの計算例のカットオフ率はほとんどが100%で、ちょうど需要量分の輸送能力(常に満載でかつ積み残しがない)をもつ船型が採算上有利という現実的な解を導出している。

また、船型主要目についても、利益率のよい船型が種々あるので、どの船型を選ぶかは航路の経営判断にゆだねられる。計算に入れられなかった条件やリスクの可能性なども考慮のうえ、最適船型を選べるようにすることが望ましいと考える。

上記の各計算結果には、船隊・船型・採算についての細目がテキストファイルで出力される。以下に東京・大分航路の採算最良の例(Index21451)の細目データを示す。なお、データ中、「計算対象：RORO船」とあるが、今回は貨物フェリーとRORO船を設計上区別していない。

東京 大分(Index21451)
 ●●●●●採算決定プログラム出力●●●●●
 航路長 926.00 (km)
 運賃 100,000.0 (円/台)
 便数 1.5 (便/日)
 航海船速 20.7 (kts)
 必要隻数 4 (隻)
 ベイロード 2,351.80 (t)
 カットオフ率 100 (%)
 償却年数 15 (年)
 金利 5.0000 (%)
 固定資産税率 0.7000 (%)
 船舶保険料率 0.8178 (%)
 対物賠償責任保険：トレーラー 376,200 (円/台・年)
 対物賠償責任保険：トラック 188,100 (円/台・年)
 P I 保険料 1,200,000 (円/年)
 年間運行日数 340 (日/年)
 燃料単価 (C重油) 22,100 (円/t)
 船員費 12,000,000 (円/人・年)
 部員費 4,000,000 (円/人・年)
 予備船員割合 0.00 (%)
 予備部員割合 0.00 (%)
 港費単価 7 (円/回・GT)

***** 計算結果 21451 *****

★計算対象：RORO船

▼船型
 全長 178.5 (m)
 垂線間長 162.3 (m)
 全幅 26.6 (m)
 深さ 6.3 (m)
 レーン数 8
 主機MCR/台 6,220 (kW/台)
 主機NOR/台 5,598 (kW/台)
 主機台数 2 (台)

燃料消費量 1.5 (t/h)
 船価 6,185 (百万円)

▼人貨
 旅客数 0 (人)
 船員数 9 (人)
 部員数 9 (人)
 トレーラー (12m) 積載台数 156 (台)
 トラック (8t) 積載台数 0 (台)
 載貨重量 4,908.6 (t)

▼採算
 年間総輸送量 1,199,418.025 (t)
 年間収入 8,395,927 (千円)
 年間支出 3,839,336 (千円)
 <船舶経費>
 船員費合計 432,000 (千円)
 部員費合計 144,000 (千円)
 修繕費 121,930 (千円)
 船用品費 42,260 (千円)
 潤滑油費 51,122 (千円)
 船舶保険料 209,747 (千円)
 対物賠償責任保険料 234,749 (千円)
 P I 保険料 4,800 (千円)
 固定資産税 173,181 (千円)
 雑費 30,926 (千円)
 金利 309,252 (千円)
 減価償却費 371,102 (千円)
 船主店費 167,202 (千円)
 <運航費>
 燃料費 753,190 (千円)
 港費 41,221 (千円)
 貨物取扱費 541,963 (千円)
 運航店費 210,691 (千円)
 年間利益 4,556,591 (千円)

9. まとめ

9.1 結論

本稿では、多数の設計例の中で採算性のよい航路条件・船隊・船型を選ぶという、航路診断および船型主要目決定方法を示した。この手法は、種々の航路条件(所要時間と運賃)を設定して求めた物流需要予測値から、その需要に便数や車両レーン数など設計の自由度も考慮して各種の船舶を設計し、その船価を見積もり、この船舶を投入したときの船社の採算性を計算するものである。

物流需要の実際値を用いて求めた主要目等は、現状の一般的な値と比較して、妥当なものであった。更に、新規航路についてこの手法を適用した。この結果、高速化すると船価や燃料費が高く、需要増による収入増を上回る傾向が見いだされた。

9.2 今後の課題

本研究で示した計算例では、2つの検討航路とも、最良の採算率が1.2~1.3程度(売り上げがコストの2.2~2.3倍程度)となり、これらの航路の経営には非常に有利な結果となっている。しかし、実際には、どのような航路でも、多大な経営努力を行って事業性を確保しているのが現実の姿であり、今回の計算結果が直ちに検討航路の事業性の良好さを示しているのではないと考えられる。

従って、今後はさらに実際の事業性に近い結果が得られるような計算条件を盛り込んでゆきたい。また、

今回は貨物フェリー・RORO船のみを検討対象としたが、旅客フェリーにも本手法を適用できるように改良する予定である。

謝 辞

本研究は、運輸施設整備事業団の基礎的研究制度と調査研究制度および(社)日本造船研究協会SR501の助成を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 久保登、勝原光治郎、菅直往、金相賢、李永雨、犠牲量モデルを用いた国内フェリー・RORO船航路需要のネットワーク解析手法に関する研究、日本造船学会論文集191号(掲載予定) 2002年5月
- 2) 運輸省・建設省編、第6回物流センサス(平成7年全国

貨物純流動調査、平成9年9月

- 3)「運輸経済統計要覧」平成7年度、運輸省運輸政策局情報管理部編
- 4)「年報—平成6年—事業と道路統計」日本道路公団
- 5)「全国フェリー・旅客船ガイド」1997上期号、日刊海事通信社
- 6)「道路時刻表」1997、道路整備促進期成同盟会全国協議会発行
- 7) 勝原光治郎、フェリー航路の国内物流ネットワーク分析、海運経済研究第32号、日本海運経済学会、1998年10月