日中間物流の将来予測に基づく船舶設計手法に関する研究

正員 大 和 裕 幸* 学生員 田 中 大 士*

A Design of the Liner Ship based on the Logistic Trend Prediction between China and Japan

by Hiroyuki Yamato, Member Hiroshi Tanaka, Student Member

Summary

Recently the amount of trade between China and Japan has been increasing. The trade value has grown by about 920% from 18.2 billion dollar in 1990 to 168 billion dollar in 2004. This paper presents a ship design procedure and implementation to integrate the logistic trends of the future and vessel design between China and Japan. To estimate the future logistic trends, authors made regression equation for trade value on per capita GDP of China and Japan. Several types of fleets were designed by a method which calculates the most efficient specifications depending on the travel speed, and were evaluated by the net present value of each fleet. Authors designed fleet between China and Japan, especially between Shanghai and Tokyo. And under some assumptions, the system provided a result that the fleet with four 25-knot ships offers the highest value of investment.

1. 結 言

中国は1990年から2003年まで平均9%の経済成長を続け¹⁾、それとともに日本-中国間の貿易額も急激に増加しており、1990年から2004年までの間に約9倍になっている²⁾。また、貿易を担う輸送手段はこれまで海上輸送が中心であったが、近年は輸送時間が短い航空輸送の比率が高まってきている。今後も日中間の貿易に変化が起ることが予想されるため、新しい船舶を設計する際には将来の輸送需要や物流を取り巻く政治・経済の動向に十分に注意した上で評価する必要がある。

船舶を設計する上で重要になるデータがODデータと呼ばれる2地点間の貨物流動のデータである。これをもとに船舶に対する需要量を推計し、設計した船舶を実現させるかどうかを判断することが多い。しかし、日本と中国の間の貨物に関しては貿易統計のように国間レベルの情報しか得られないため、航路編成のような地域間レベルでの情報を必要とする場面においては何らかの推計を行わなければならないのが現状である^{3),4)}。

本論文では、日本と中国の経済と物流の現状を調査する。そして、地域間の貨物流動について詳細な統計がない日中間

における地域間流動の推計手法と将来の貨物流動を予測する方法を提案し、その結果を示す。また、新しい船舶を東京-上海間に導入する場合について、物流の調査結果から運航の条件を設定し、山県の図表を用いる方法で船舶の設計を行う。最後に貨物量の予測結果に基づいて将来のキャッシュフローを計算し、設計案を投資対象としてNPV（正味現在価値）で評価する、という物流の将来予測を組み合わせた船舶の設計手法を示す。

2. 中国の経済と日中間貿易の現状

2.1 中国の経済

2003年の中国のGDPは1.4兆ドルであり世界第7位の規模であるが、一人あたりのGDPは1087ドルで世界第110位である。GDPの構成を見ると約50%を第二次産業が占めている。Fig.1は1985年から2003年までの中国のGDPと1人あたりのGDPの推移をグラフにしたものである。比較のためにFig.2に日本のGDP推移を示す。縦軸は左がGDP、右が1人あたりのGDPである。なお、2004年の総人口は12億9千万人であり、国連では2030年には14億8000万人に達すると予測している⁵⁾。

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科

原稿受理 平成17年7月1日

Fig.1 GDP trends of China

Fig.2 GDP trends of Japan

2.2 日中間貿易の現状

2004年における日本の香港を含む中国との貿易総額は22兆2千億円であり、日本の貿易額全体に占める割合は20.1%である。これはアメリカとの貿易総額20兆4800億円を上回る額であり、中国は日本の第一位の貿易相手国となっている。また、中国にとっても日本が中国最大の輸入相手国であるが、輸入と輸出を合わせた対中貿易総額では、日本は3位であり、EUが首位、アメリカが2位となっている。日本からの輸出品目としては電気機械や一般機械が多く、全体の50%近くを占めている。中国からの輸入品目は電気機械や衣類が多い。輸送手段別に貿易額を見ると海上コンテナ輸送の割合が最も高く2004年では全体の65%を占めている。航空輸送の割合が1990年には23%であったものが2004年には34%になっており、高速な輸送に対する需要が高まってきていることがわかる。日中間の輸出と輸入を合計した貿易額の推移を海上コンテナ輸送と航空輸送について示したものがFig.3である。

以上のような中国経済の発展や日中貿易の増加から今後の二国間を輸送される貨物量の増加が予想され、それに合わせた輸送システムの設計が重要になると考えられる。

Fig.3 Trends of trade between China and Japan

3. 日中間貨物流動の将来予測

3.1 貨物流動の推計と将来予測手法

船舶を設計する上で、将来の貨物輸送需要を知ることは仕様を決定するためにも重要なことである。しかし、日中間の物流に関して輸送需要の情報である品目別のコンテナ数で表された貨物流動に関する統計は存在しないため、何らかの方法で推計する必要がある。そこで本章では、正確な貨物流動の統計が存在しない地域間の貨物流動量を推計する方法と、将来の貨物量を予測する方法を示す。この方法では品目毎の地域間コンテナ流動量を推計することができる。なお、ここでいう『地域』とは、日本では『関東』や『近畿』、中国では『華中』や『華北』といったレベルの区分である。

1. 貿易統計から得られる輸出額、輸入額を目的関数とし、GDPや人口などを説明変数として貿易額に関する回帰式のモデルを作成する。その際に、説明変数間に強い相関関係が存在すると、相関係数が極端に高くなったり符号が逆転したりするといった多重共線性の問題が生じることがあるので注意する必要がある。
2. 基準とする年の貿易統計から海上コンテナ輸送されている貨物の品目毎の重量の値を得る。はじめから重量の予測モデルを作成しないのは、貿易統計には重量が示されていない品目が存在するためである。ここで重量が示されていない貨物の割合が高すぎないか確認する。
3. 得られた重量の値と鶴田らの研究³⁾で調査された40品目についてのコンテナ数と重量の換算値を用いることで、コンテナ数で表現された貨物量を得る。
4. ステップ1で得られたモデルに説明変数の将来予測値を代入することで輸出入額の将来予測値を得る。
5. 貿易統計の分析より、「貿易品目の構成が将来も変化しない」、「貨物量は貿易額に比例する」という仮定をおき、ステップ3で得た貨物量を用いてコンテナ数で表現された貨物の総量の将来予測値を得る。

6. ステップ 5 で得られた貨物量を地域ごとの総生産額に応じて配分することにより、現在の地域間の貨物流動量の推計から将来予測までを行う。地域ごとの総生産額で貨物量を配分する方法をとった理由は、3.2 でも示すように経済規模が貨物流動量に与える影響が大きいと考えられるためである。地域間の流動量の計算例として、中国の A 点から日本の B 点へ移動する貨物量を考える場合は以下の式(1)で決定される。

$$Q_{AB} = Q_{中日} \cdot \frac{GDP_A}{GDP_{中}} \cdot \frac{GDP_B}{GDP_{日}} \quad (1)$$

Q_{XY} : X から Y へ向かう貨物量(TEU)

GDP_x : X の総生産額(各国通貨)

3.2 日中物流の地域間流動量推計と将来予測結果

予測にあたっては運輸政策研究機構の調査報告書で用いられているモデル⁶⁾や宮下のモデル⁷⁾を参考にして、最終的には日本と中国の一人あたり GDP を説明変数とした式(2)のような対数線形回帰型の貿易額予測モデルを作成した。Fig.4 は輸入額のモデルによる予測値と実際の値を、Fig.5 は輸出額のモデルによる予測値と実際の値をプロットしたグラフである。Table.1 と Table.2 にそれぞれ 1990 年から 2003 年までのデータを用いた輸出入額予測モデルのパラメータに関する情報を記す。表中の t 値とは、被説明変数を説明する上での貢献度を示す指標であり、絶対値の大小によって係数の有意性を判断することができる。

$$\ln Y_i = \alpha_1 + \alpha_2 \ln CGDP_i + \alpha_3 \ln JGDP_i \quad (2)$$

Y_i : i 年目の輸出額または輸入額(\$)

$CGDP_i$: i 年目の中国の 1 人あたり GDP(\$)

$JGDP_i$: i 年目の日本の 1 人あたり GDP(\$)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: 係数

Fig.4 Estimation of import value by Eq.(2)

Table.1 Estimated parameters of import model

	α_1	α_2	α_3
Regression Coefficient	6.92	1.34	0.80
t-value	3.32	18.53	3.78
Adjusted R-square	0.97

Fig.5 Estimation of export value by Eq.(2)

Table.2 Estimated parameters of export model

	α_1	α_2	α_3
Regression Coefficient	4.90	1.29	1.01
t-value	1.34	9.87	2.71
Adjusted R-square	0.92		

これらのグラフと相関係数を見ると、この予測モデルは実際のデータを良く再現していると言える。輸出のモデルについては 2002 年、2003 年といった近年の大きく伸びている傾向をとらえ切れていないようにも見えるが、直近のデータだけを採用してモデルを作れば良いとも限らない。実際に 1997 年のアジア通貨危機などの影響で経済の状況が変化していると考えて 1998 年から 2003 年までの値だけを用いてモデルを作成し将来予測を行ったところ、現在の 20 倍の貨物量になるというあまり現実的とは言えない予測結果になる。そのため、今回は Table.2 の値を採用することとする。モデル作成におけるデータの採用範囲については慎重に行う必要があるといえる。

将来予測は、上記の結果に基づいて

- ① 日中ともに順調な経済成長(日本：日本経済研究センターの中間ケース、中国：UFJ 総研の発表値)
- ② 日本の経済が停滞(日本：日本経済研究センターの停滞ケース、中国：中間ケース UFJ 総研の発表値)
- ③ 中国の成長が鈍化(日本：日本経済研究センターの停滞ケース、中国：UFJ 総研の発表値における成長率が 5 年後ろにスライド、つまり成長率が 2 分の 1)

というシナリオ設定して GDP の値を変化させることで将来の貨物量予測を行った。それぞれに示したように、GDP の

値は日本経済研究センター⁸⁾、UFJ 総研⁹⁾が発表している値を利用した。成長率は Table.3 に、GDP の推移を Fig.6 に示す。この値を式(2)に代入することにより将来の貿易額の予測値が得られ、3.1 に示した方法により将来のコンテナ数を予測することができる。貨物の重量・コンテナ数の基準は2002 年とした。コンテナ数の将来予測結果が Fig.7 (日本への輸入)、Fig.8 (日本からの輸出) であり、2015 年の数値をまとめたものが Table.4 である。2015 年の貨物量は、輸入が2004 年の2.2 倍から5 倍に、輸出が2 倍から4 倍になるという結果を得た。なお、これらのシナリオでは北京オリンピックのような特殊事情は考慮していない。

Table.3 The Economic Growth Rate of China and Japan

		Economic Growth Rate (%)	
Period		2006~2010	2011~2015
Japan	Scenario1	1.0	0.5
	Scenario2, 3	0.1	-0.1
China	Scenario1,2	7.2	6.7
	Scenario3	3.6	3.4

Fig.6 Future trends of GDP

Fig.7 Prediction result of import cargoes

Fig.8 Prediction result of export cargoes

Table.4 The prediction of marine transportation between China and Japan in 2015

Scenario	Export to China		Import from China	
	Value (billion \$)	Container (1000TEU)	Value (billion \$)	Container (1000TEU)
1	163.7	3325	307.7	7406
2	149.6	3038	286.3	6892
3	75.5	1533	137.6	3312

以上のような推計方法や予測結果により、正確な貨物流動の統計が存在しない地域間の将来の貨物流動量を推計することができる。シナリオ2 のケースについて、2005 年、2010 年、2015 年における推計されたOD 表を Table.5 から Table.10 に示す。これらの表中の数字はコンテナ数の総量であるが、実際には40 品目について計算してある。表の値は小数第一位で四捨五入した値を記してある。日本では東京を含む関東地域が、中国では上海を含む華中地域の貨物量が多いという結果となった。各地域は以下のように定義・分類を行い、総生産額は Table.11 に示す2002 年の値を用いている¹⁾¹⁰⁾。

(日本)

- ・ 北海道、東北：北海道、青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島、新潟
- ・ 関東：茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨、長野
- ・ 中部：富山、石川、福井、岐阜、静岡、愛知、三重
- ・ 近畿：滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和歌山
- ・ 中国：鳥取、島根、岡山、広島、山口
- ・ 四国：徳島、香川、愛媛、高知
- ・ 九州：福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島、沖縄

(中国)

- ・ 華中：江西、安徽、湖北、上海、浙江、江蘇
- ・ 華南：海南、広西壮族自治区、湖南、福建、広東
- ・ 華北：山西、天津、北京、河北、河南、山東
- ・ 西南：西藏自治区、貴州、重慶、雲南、四川

- ・ 西北：寧夏回族自治区、青海、甘肅、新疆ウイグル族自治
自治区、内蒙古自治区、陝西
- ・ 東北：吉林、黒龍江、遼寧

Table.5 OD matrix of import in 2005 (1000TEU/year)

O \ D	Hokkaido ・ Tohoku	Kan to	Chu bu	Kin ki	Chu goku	Shi koku	Kyu syu	Total
Central China	69	210	83	88	31	15	52	549
South China	48	145	58	61	22	10	36	379
North China	60	181	72	76	27	13	45	475
South West	21	63	25	27	10	5	16	166
North West	14	44	17	18	7	3	11	115
North East	23	71	28	30	11	5	18	186
Total	235	714	284	299	107	51	178	1869

Table.6 OD matrix of import in 2010 (1000TEU/year)

O \ D	Hokkaido ・ Tohoku	Kan to	Chu bu	Kin ki	Chu goku	Shi koku	Kyu syu	Total
Central China	122	370	147	155	56	27	92	969
South China	84	256	102	107	38	18	64	670
North China	106	320	127	134	48	23	80	838
South West	37	112	44	47	17	8	28	293
North West	25	77	31	32	12	6	19	202
North East	41	126	50	53	19	9	31	328
Total	416	1261	502	528	189	90	314	3300

Table.7 OD matrix of import in 2015(1000TEU/year)

O \ D	Hokkaido ・ Tohoku	Kan to	Chu bu	Kin ki	Chu goku	Shi koku	Kyu Syu	Total
Central China	255	773	308	323	116	55	193	2023
South China	176	534	213	224	80	38	133	1398
North China	220	669	266	280	100	48	167	1751
South West	77	234	93	98	35	17	58	611
North West	53	162	64	68	24	12	40	423
North East	86	262	104	110	39	19	65	686
Total	868	2634	1048	1102	395	189	656	6892

Table.8 OD matrix of export in 2005 (1000TEU/year)

O \ D	Central China	South China	North China	South West	North West	North East	Total
Hokkaido ・ Tohoku	33	23	29	10	7	11	113
Kanto	101	69	87	30	21	34	343
Chubu	40	28	35	12	8	14	136
Kinki	42	29	36	13	9	14	143
Chugoku	15	10	13	5	3	5	51
Shikoku	7	5	6	2	2	2	25
Kyusyu	25	17	22	8	5	8	85
Total	263	182	228	79	55	89	896

Table.9 OD matrix of export in 2010 (1000TEU/year)

O \ D	Central China	South China	North China	South West	North West	North East	Total
Hokkaido ・ Tohoku	56	39	49	17	12	19	192
Kanto	171	118	148	52	36	58	583
Chubu	68	47	59	21	14	23	232
Kinki	72	49	62	22	15	24	244
Chugoku	26	18	22	8	5	9	87
Shikoku	12	8	11	4	3	4	42
Kyusyu	43	29	37	13	9	14	145
Total	448	310	388	135	94	152	1526

Table.10 OD matrix of export in 2015(1000TEU/year)

O \ D	Central China	South China	North China	South West	North West	North East	Total
Hokkaido ・ Tohoku	112	78	97	34	23	38	383
Kanto	341	236	295	103	71	116	1161
Chubu	136	94	117	41	28	46	462
Kinki	143	99	123	43	30	48	486
Chugoku	51	35	44	15	11	17	174
Shikoku	24	17	21	7	5	8	83
Kyusyu	85	59	73	26	18	29	289
Total	892	616	772	269	186	302	3038

Table.11 Gross Regional Product in 2001

Region	Gross Regional Product (billion \$)
Central China	378.63
South China	261.71
North China	327.68
South West	114.41
North West	79.10
North East	128.39
Hokkaido・Tohoku	513.96
Kanto	1560.09
Chubu	620.45
Kinki	652.68
Chugoku	233.97
Shikoku	111.77
Kyusyu	388.69

4. 船舶の設計・評価手法と東京－上海間の 船舶設計問題への適用

4.1 貨物量の将来予測と統合された設計・評価手法

本章では、貨物量の将来予測結果と共に、貨物データや経路データ、船舶設計や物流コスト計算の方法を利用して新しい船舶を設計し評価する一連の手法を提案する。その手順は以下のとおりである。

1. 船舶を新たに設計する区間において競合することになる既存の輸送機関についての調査を行う。
2. 調査結果から新しい船舶のサービス水準を決定し、複数の輸送機関が競合する中で、新しく設計する船舶に対する需要を推計する。その際に3章で示した貨物量の将来予測の手法とその結果も用いる。
3. 船舶の設計知識と物流コストの関係を定式化し、船舶の設計を行う。設計案は複数用意する。
4. 設計した船舶それぞれの収支を貨物量の将来予測結果のもとで計算し、将来のキャッシュフローを現在価値に換算する NPV 法で投資対象としての比較・評価を行い、最適なものを選択する。
5. 良い結果を得られない場合は、その結果を設計にフィードバックし、新しい設計案について再度評価を行う。

船舶の設計においては燃料の消費量と積載能力を見積もることに重点を置いている。式(3)で表される抵抗の計算については、基準とする船舶のデータを住吉の式(式(4))に代入して形状係数 K を求め、Fig.9 に示す山形の図表(縦軸：剰余抵抗係数、横軸：フルード数)より谷(ホロー)となっている点からフルード数を決定する方法をとっている。剰余抵抗係数

とは、式(5)に示す剰余抵抗を計算する際の係数である。決定された値を全ての設計案に適用するため、フルード数は式(6)で定義されるものであることから、この方法では速度が大きくなるにつれて船型が大きくなる傾向がある。また、積載能力は船長と船幅に比例するものとして計算を行っている。

$$R = (1 + K)R_f + R_r \quad (3)$$

R ：全抵抗

R_f ：摩擦抵抗

R_r ：剰余抵抗

K ：形状係数

$$K = 0.0905 + 15.1 \frac{C_b}{\left(\frac{L}{B}\right)^2 \sqrt{\frac{B}{d}}} \quad (4)$$

L ：船長

B ：船幅

d ：喫水

C_b ：方形係数

$$R_r = \frac{1}{2} r_R \rho_w \nabla^{2/3} V^2 \quad (5)$$

r_R ：剰余抵抗係数

ρ_w ：水の密度

∇ ：排水量

V ：速度

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{Lg}} \quad (6)$$

F_n ：フルード数

g ：重力加速度

Fig.9 Residual resistance and Froude number ($C_b = 0.6$, liner)

設計した船舶の評価に利用する NPV とは、一連の定期的なキャッシュフローと割引率に基づいて、投資の正味現在価値を表すものである。投資の正味現在価値とは、将来行われる一連の支払い（負の値）とその収益（正の値）を、現時点での現在価値に換算したものである。ここでの現時点とは、投資を決定した時点もしくは、投資を始めた時点のことである。また、割引率は任意の値であり、通常は経営陣により、年間のインフレ率や借入金の利息、事業のリスク等を考慮して決定される。NPV の単位は、実際の金額（円・ドル etc）で表される。式(7)のように年度ごとのフリーキャッシュフロー（＝収入－運航経費－間接費） A_i を現在価値に換算して足しあわせたものから投資額 P を減じたものが、NPV となる。これらの方法は田中¹¹⁾、山内¹²⁾などで用いられている。なお、本論文では法人税や固定資産税などの税金は企業の運営形態によって異なると考えられるため、計算には含まないこととする。

$$NPV = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{(1+r)^i} - P \quad (7)$$

NPV：投資の正味現在価値

P：投資額

A_i ：i 年目の予測フリーキャッシュフロー

N：評価するキャッシュフローの年数

r：割引率

4.2 東京－上海間の船舶設計問題への適用

ここでは、第3章において貨物量が多いと推計された関東－華中間に新しい船舶を設計するという例題を設定し、東京－上海間について船舶を設計し評価を行う。

4.2.1 東京－上海間航路の現状

東京－上海間の航海距離は 1056 海里である¹³⁾。国際輸送ハンドブック(2003)¹⁴⁾によると、東京と上海を結ぶコンテナ船航路は太平洋航路や東南アジア航路を除いても 9 本存在している。これらの航路を利用した平均輸送日数は 7 日である。この航路で利用されているコンテナ船のうち最も速度が速いものは 19 ノットであるが、平均の速度は 18 ノット程度であり、容量の平均値は 750TEU である。通関費用などの諸費用を含めた輸送費用は 20 フィートコンテナ 1 個あたり 12 万円程度であるとの試算¹⁵⁾がある。計算方法を以下に示す。

・ 中国内の距離 1km あたりのトラック運賃は、20FT コンテナ 6 元

・ 上海港から日本の港まで、20FT コンテナ積みした時の通関・輸送費用内訳

*上海港雑費・三検（動植物検疫・商品検査・衛生検査）

費用・輸出通関料→計 700 元

*上海港 THC（コンテナ取扱料）→370 元

*海上運賃→400 ドル

*BAF（燃料代調整費）・YAS（PI レート調整費）→計 40 ドル

*日本港 CY（コンテナヤード）使用料→24,200 円

*輸入通関料→11,800 円

*輸入取引料→10,000 円

1 ドル 120 円、1 元 15 円とすれば合計約 12 万円

近年の日中間の航路においては、2003 年に上海と博多を結ぶサービスを開始した上海スーパーエクスプレスが注目を集めている。この航路は東京と上海を直接結ぶものではないが、通関手続きや他の輸送機関との接続を工夫することにより、上海から東京への輸送日数を航空輸送並みの 3.5 日、40 フィートコンテナ 1 個の輸送費用を航空輸送よりも安い 30 万円程度としている¹⁶⁾。現在は週 2 便の運航を行っている。

東京－上海間の輸送においては航空輸送が最も高速な輸送手段であり、飛行時間が 3 時間程度、全体の輸送日数は 3 日程度となっている。運航頻度は 1 日 10 便程度と多いが、飛行機 1 機が輸送できる貨物量は貨物専用機でも 120 トン程度である。また運賃が 1 キロあたり 300 円程度と高いことも特徴である。20 フィートコンテナ 1 個（10 トンと仮定）を航空輸送する場合、約 300 万円もの費用がかかることになる。以上のように、各輸送機関はそれぞれ輸送日数や運賃について特徴的であることがわかる。

4.2.2 サービス水準の決定と需要の推計

東京－上海間航路の現状と第 2 章で示した高速輸送に対する需要の高まりなどを考慮して、以下のような輸送サービスを提供できるような船舶を設計することとする。

- ・ 航海時間は 48 時間以内であり、輸送時間全体では 4 日以内となる
- ・ 輸送費用は上海スーパーエクスプレスよりも安くなる
- ・ 1 日 1 便運航する

上記のようなサービスは既存のコンテナ船よりも輸送時間が短くなるため、高速な輸送を望む種類の貨物が多く利用するものと考えられる。そこで、この船舶を利用する貨物について以下のような仮定をおき、Table.12 のような将来の需要の推計結果を得た。

- ・ 推計した OD 表の関東－華中間の貨物について、上海スーパーエクスプレスなどの航路の現状を考慮して、機械、

工業品、食料品、繊維製品、電気製品、冷凍食品の 50% が利用する、つまり、関東→華中間の貨物量の 1.44%、華中→関東間の貨物の 3.39%がこの船隊の需要となる。

- ・ 将来の貨物量の推移は第3章のシナリオ2のようになる。
- ・ コンテナ 1TEU は 12m のトレーラー1 台と同等である。

Table.12 Estimated demand for new fleet (TEU/day)

Year	2005	2007	2009	2011	2013	2015
Export	35	45	55	71	95	120
Import	174	224	278	367	498	640

4.2.3 使用する船舶の仕様の決定

設計する船舶は、荷役時間が短くなる RORO 船とする。ここでは北海道－東京間を実際に運航している高速フェリーを設計のための基準として採用する。Table.13 はそのフェリーの仕様を表している¹⁷⁾。船価は著者らが想定した値である。基準とした船舶はフルード数が約 0.35 となるが、今回設計する船舶は高速で運航することから C_b は 0.6 程度が妥当であると考え、山形の図表からフルード数を 0.33 とし、運航速度を変更することで設計を行った。Table.14 は設計された船舶仕様の例である。積載容量は船長×船幅の値に比例させて計算している。

Table.13 Specification of the type ship

Loa	199[m]	Capacity	12m Truck	161
Lpp	187.7[m]		Car	46
B	24.5[m]	Passenger		12
D	21.3[m]	MCR		64800[ps]
d	6.9[m]	Deadweight		5618[t]
GT	12520[ton]	V_s		30[knot]
Price	5[billion yen]	C_b		—

Table.14 The most efficient specifications ($C_b=0.6$, $F_n=0.33$)

V_s [knot]	22.5	25	27.5	30	32.5	35
Capacity [12m truck]	63	103	161	241	350	495
MCR[1000HP]	17.4	33.3	60.5	105	174	280
L_{pp} [m]	126	155	188	223	262	304
Displacement [1000m ³]	7.45	12.1	19.0	28.5	41.4	58.5
B[m]	14.3	19.0	24.5	30.9	38.2	46.6

4.2.4 評価のための条件設定

運航費の計算条件を Table.15 の様に設定した。これらの数値は主に「テクノスーパーライナーの事業運営システムに関する調査」報告書¹⁸⁾で採用されているものである。船価の

推計は基準船の価格を約 50 億円と設定し、260,000 円/ton として計算した。ただし、ton は排水トンである。

Table.15 Conditions for calculating operating cost

Crew [person]	20
SFC [g/HP/hr]	116
Price of fuel [million yen/ton]	0.020
Operating days [day/year]	350
Manning cost [million yen/person/year]	8
Number of voyage [voyage/year]	700
Grease cost / fuel cost [%]	1
Maintenance cost / ship price [%]	3
Insurance cost / ship price [%]	1.4
Indirect cost / direct cost [%]	10
Price of ship [million yen/ton]	0.26

1 日 1 便のサービスを維持するために必要な隻数は運航速度と荷役時間によって異なる。今回は荷役時間を 3 時間と設定した。運航コストとしては上記のほかに港湾での入港料や岸壁使用量が必要になる。これらは船舶の総トン数に比例して決定されるので、今回は初期設定の船舶の値をもとに船長×船幅の値で比例させて計算した。入港料は 1 総トン数あたり 2.7 円、岸壁使用量は 1 総トン数あたり 12.8 円とした。メンテナンスコストにおいては年 1 回定期検査を行うとしたが、時期は特に定めていない。以上の項目について、船舶の速度に関する運航コストの条件を Table.16 に示すように設定した。

Table.16 Conditions for calculating operating cost depending on operating speed

V_s [knot]	22.5	25	27.5	30	32.5	35
Travel time [hr]	46.9	42.2	38.4	35.2	32.5	30.2
Number of ships	5	4	4	4	3	3
Ship price [billion yen / ship]	2.0	3.2	5.0	7.5	10.9	15.4
GT[thousand ton]	4.9	8.0	12.5	18.7	27.2	38.4

4.2.5 評価結果

2005 年の始めに投資を行うと同時にサービスを開始するという条件で、運賃を 14.5 万円として計算を行った。Table.17 は 25 ノットの船舶を例としての収支の試算結果を表にしたものである。NPV を計算する際の割引率は、海運市況が変動の大きいものであることから、利子率よりも高い 10%とした。

Table.17 Income and expenditure of 25 knot fleet

Year		2005	2010	2015
Income [billion yen]		7.0	8.3	10.5
Cost [billion yen]	Fuel & Grease	2.3	2.3	2.3
	Port	0.1	0.1	0.1
	Manning	0.6	0.6	0.6
	Maintenance	0.4	0.4	0.4
	Insurance	0.2	0.2	0.2
	Indirect cost	0.4	0.4	0.4
Cash Flow [billion yen]		3.1	4.3	6.5
NPV [discount rate : 10%]		-10.0	2.9	15.3

Fig.10 は各速度の船舶を 2005 年に購入して運航する場合の 2015 年までのキャッシュフローの NPV を計算した結果である。このグラフより、25 ノットの船舶が投資対象としての価値が最も高いという結果が得られた。高速になると評価が悪くなる原因としては、本論文で用いた設計方法では高速船の船価が非常に高く見積もられることが考えられる。Fig.11、Fig.12 は、各船速の船隊の輸送量が日中間航路の総輸送需要のうちに占める割合を表したものである。これらの船隊に対する輸送需要は輸出では総輸送需要の 1.44%、輸入では 3.29% であるが、速度が小さい船舶は積載量が小さくなるために需要をカバーできていない。そのために、速度が小さい船舶の評価が悪くなっていると考えられる。

Fig.10 NPV of each speed of fleet

Fig.11 Ratio of each fleet's transportation amount to the entire transportation demand in volume (export)

Fig.12 Ratio of each fleet's transportation amount to the entire transportation demand in volume (import)

5. 結 言

本論文では、貨物量の将来予測と船舶の設計・評価方法を組み合わせて行う手法を提案した。また、その過程において中国経済と日中間貿易の現状を統計データや文献調査により明らかにした。

貨物量の将来予測方法は、日本と中国の 1 人あたり GDP を用いた対数線形回帰モデルを作成することによって予測する方法を提案した。この方法を用いて実際に貨物量の将来予測を行ったところ、2015 年の貨物量は、輸出が 2004 年の 2 倍から 4 倍に、輸入が 2.2 倍から 5 倍になるという結果を得た。

現在東京ー北海道間を運航しているフェリーをベースに住吉の式や山県の図表を用いて RORO 船を設計し、貨物量の将来予測結果を地域ごとの総生産額に応じて配分した OD の下で東京ー上海間に運航する場合について投資対象としての評価を NPV 法により行ったところ、25 ノットの船舶を導入する場合は最も投資対象として価値があるという結果を得た。

謝 辞

本研究では独立行政法人海上技術安全研究所・物流研究センターのセンター長 勝原光治郎博士をはじめとする独立行政法人海上技術安全研究所・物流研究センターの方々には必要な資料の収集から研究の全般にわたる助言を頂きました。また、東京大学大学院教授 湯原哲夫博士、東京海洋大学教授 鶴田三郎博士、助教授 黒川久幸博士、財団法人日本造船技術センター 鷲尾祐秀博士には研究会においてさまざまな面から助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中華人民共和国国家統計局：中国統計年鑑 2004、中国統計出版社、2004
 - 2) 財務省：貿易統計, <http://www.customs.go.jp/toukei/info/>
 - 3) 鶴田三郎他：国際海上貨物流動における相互依存関係について、日本物流学会誌、pp.96-105、2000
 - 4) 小坂浩之他：環太平洋地域における国際コンテナ分布貨物量の推計、日本物流学会誌、Vol.8, pp.87-95、2000.5
 - 5) United Nations Population Division: *World Population Prospects 2002*, United Nations, 2003
 - 6) (財)運輸政策研究機構：長期輸送需要予測に関する調査報告書、2001
 - 7) 宮下國生：日本物流業のグローバル競争、千倉書房、2002
 - 8) 日本経済研究センター：日本経済研究センター長期経済予測、2001
 - 9) UFJ 総合研究所：2015 年の中国(長期経済予想)、2003.1
 - 10) 内閣府：県民経済計算、
<http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/kenmin/h14/main.html>
 - 11) 田中謙司：シミュレーションによる幹線輸送システムとその適合船舶仕様の決定手法に関する研究、東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻修士論文、2000
 - 12) 山内康友：複数モードの競合区間における輸送システムの設計に関する研究、東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻修士論文、2003
 - 13) 海上保安庁：距離表、1995 年
 - 14) オーシャンコマース：2003 年版 国際輸送ハンドブック、2002
 - 15) 中小企業基盤整備機構：中小企業国際化支援レポート, <http://j-net21qa.smrj.go.jp/fQA.php?qid=296>
 - 16) 織研新聞：2003 年 11 月 14 日記事、
<http://www.senken.co.jp/column/k200311.htm>
 - 17) 鷲尾祐秀：高速船の位置づけと果たすべき役割、日本造船学会誌、Vol.867, pp.310-319、2002.5
 - 18) 海事産業研究所：「テクノスーパーライナーの事業運営システムに関する調査」報告書、1997
-