

国内航路を運航するフェリー・RORO貨物船・コンテナ船の 諸元と燃料消費の特徴 Specifications and Fuel Consumption of Ferry, RORO Cargo Ship and Container Ship on Domestic Lines

鈴木 武*・佐々木 友子**

Takeshi SUZUKI and Tomoko SASAKI

要旨: 長距離貨物輸送が消費するエネルギーと排出するCO₂を削減していくためには、船舶輸送の効率向上と利用拡大が重要である。その検討に必要な基礎情報を得るため、日本国内の長距離航路でフェリー、RORO貨物船およびコンテナ船を運航する船会社に対し、運航する船舶の形状、積載能力、運動能力、航路の運航状況についての質問票調査を行った。質問票調査によって得られたデータをもとに、調査の対象とした国内長距離航路を運航するフェリー、RORO貨物船およびコンテナ船についての各種指標を整理するとともに、燃料消費関数を推定した。

キーワード: 内航貨物船, 船舶諸元, 燃料消費量

1. はじめに

1992年にリオデジャネイロで開催された「環境と開発に関する国際連合会議」、1997年に京都で開催された「第3回気候変動枠組条約締約国会議」などを経て、地球温暖化対策としての温室効果ガスの削減が世界的な関心事になっている。また、日本ではそうした状況に加え、2011年の東北地方太平洋沖地震津波による福島第一原子力発電所の事故を契機とした原子力発電所の運転停止による電力の使用制限と石炭・LNGの消費増大と世界的な消費の増大による原油価格の上昇によって、温室効果ガスの削減に対するCOPでの政府の取組方針に変化がみられるものの、温室効果ガスの削減は引き続き日本の社会にとって重要な課題になっている。

国内の長距離貨物輸送によって消費される化石燃料は多くの量になり、化石燃料の消費削減とその燃焼によって生成・排出されるCO₂の削減は、地球の温暖化防止のみならず、日本の経済競争力の回復、新産業の創出・育成、雇用の

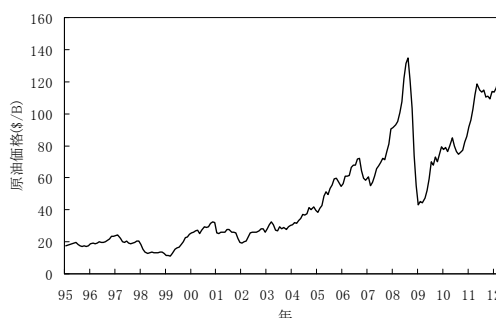


図-1 原油輸入価格の推移¹⁾

* 正会員 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部, ** 国土技術政策総合研究所 港湾研究部

拡大のためにも重要な課題である。

一般貨物の長距離輸送においては、トラック、鉄道、船舶等の輸送機関を比較的自由に選択することができる。そうした一般貨物の長距離輸送を担う交通機関の中で、船舶はエネルギー効率に優れ、しかもトンキロベースでかなり多く利用されている輸送手段である。そのため、船舶輸送のエネルギー効率と利用性を高めていくことが、化石燃料の消費とCO₂排出の削減を実現していくために重要である。

船舶輸送を通じた化石燃料の消費削減とCO₂の排出削減を導く政策を実施していくためには、適切な政策オプションを案出し、その効果を評価することが必要である。そして、その評価を行うためには、一般貨物の長距離輸送を担う船舶についての情報の収集・整理と燃料消費の特性を把握することが前提になる。

船舶の燃料消費量の把握に関しては既に幾つかの研究があり、代表的なものは次のとおりである。

シップ・アンド・オーシャン財団(2001)²⁾は、外航のバルカー、タンカーおよびコンテナ船について実態調査と船会社へのアンケート調査により船舶の1日あたりの燃料消費量と積載能力の関係式を船齢別に作成した。また木原ら(2002)³⁾は、外航の撒積貨物船1隻、タンカー2隻、コンテナ船1隻の燃料消費量を運航記録をもとにして推計し、対象4船について速力、主機関および輸送量との関係を整理した。鈴木(2009)⁴⁾は内航RORO貨物船の運航記録をもとに運航距離あたりの燃料消費量を船舶の大きさと運航速度から推計する式を作成した。また内航コンテナ船についても、その船舶諸元と内航RORO貨物船の主機の燃料消費特性をもとに内航RORO貨物船と同様の推定式を作成した。船舶の燃料消費量の推定に関するこれまで

の研究は、外航船を対象にしたものが主流である。内航船を対象にした研究は、RORO貨物船についてのみ実績値をもとに推計がなされているが、その他の船種についてはそのような取り組みは行われていない。またその後、燃費性能が向上した新造船が就航するとともに、2011年の東北地方太平洋沖地震津波による被害を受けて日本の経済が大きく変化し、船舶の運航状況も変化したため、燃料消費の実態も変化したと考えられる。

そうした状況を踏まえ、本研究では、日本国内の長距離航路でフェリー、RORO貨物船およびコンテナ船を運航する船会社から、船舶の形状、積載能力、運動能力、航路全体と航路区間での運航状況についての情報を質問票調査によって調べた。そして、得られた情報をもとに調査の対象とした国内長距離航路を運航するフェリー、RORO貨物船およびコンテナ船の各種指標を整理するとともに、それら船舶の燃料消費関数を作成した。

2. 質問票調査の概要

日本国内の長距離航路を運航するフェリー、RORO貨物船およびコンテナ船の船舶の特徴と燃料消費量を把握するため、2012年7月時点で片道がそれぞれ200km以上、400km以上および200km以上の航路を運航しているフェリー22隻、RORO貨物船19隻、コンテナ船18隻を抽出し、船舶を運航する船社に対し、2012年7～8月に郵送配布・郵送回収による質問票調査を行った。船舶については①GT(総トン)、②DWT(載荷重量トン)、③船長、④船幅、⑤満載喫水、⑥主機出力、⑦速力、⑧建造年を質問した。この他に、フェリーは⑨貨物区画面積、⑩貨物区画率、⑪積載可能車両数、⑫旅客定員を質問し、RORO貨物船は⑨貨物区画面積、⑩積載可能車

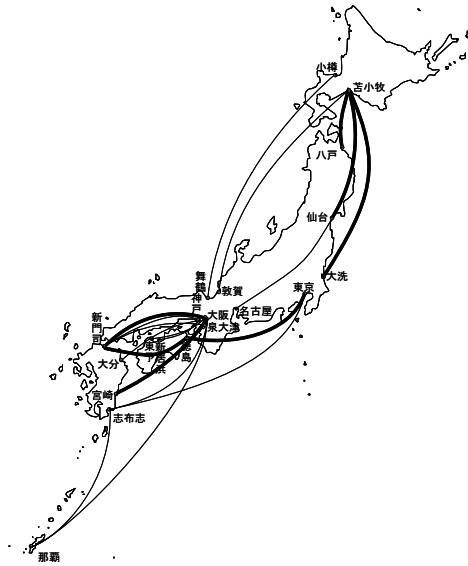


図-2 調査対象としたフェリー航路

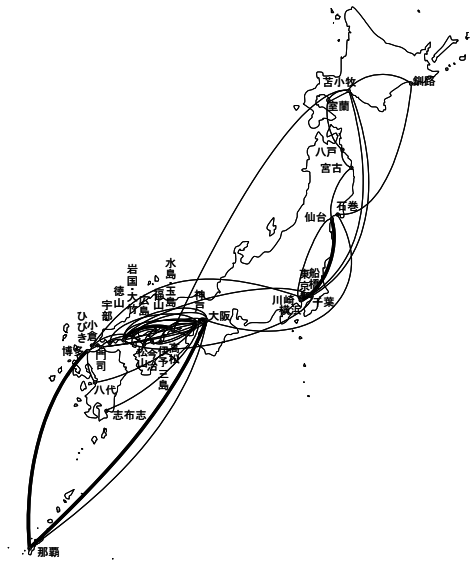


図-4 調査対象としたコンテナ船航路

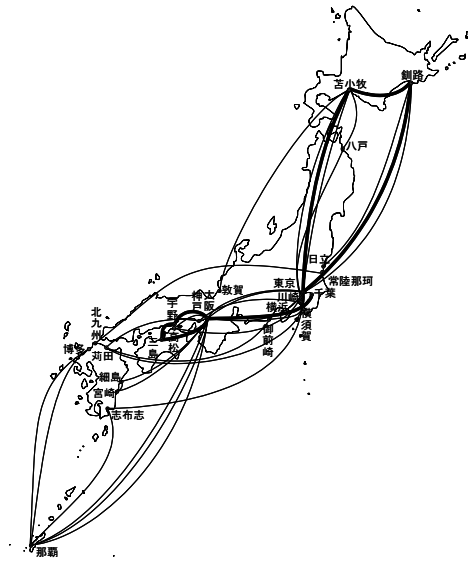


図-3 調査対象とした RORO 貨物船航路

両数を質問し、コンテナ船は⑨コンテナ積載能力を質問した。航路については①航海時間、②燃料消費量、③燃料油種を質問した。航路区間

(港から港の間)については①航海距離、②航海時間、③貨物積載率、④旅客乗船率(フェリーのみ)、⑤燃料消費量を質問した。本調査では、貨物と旅客の積載のための総床面積に対する貨物の積載のための床面積の割合を貨物区画率とし、フェリーと RORO 貨物船は床面積を基準に、コンテナ船は TEU を基準にした貨物の積載率を貨物積載率とした。フェリーは 11 社に、RORO 貨物船は 12 社に、コンテナ船は 13 社に質問票を送り、フェリーは 11 社 22 隻、RORO 貨物船は 11 社 17 隻、コンテナ船は 12 社 16 隻から回答を得た。

回答が得られた船舶の航路は図-2~4 のとおりである。図内の航路を表す細線は船舶が 1 隻、太線は船舶が 2 隻であることを表している。

3. 船舶の形状

回答が得られた船舶の形状についての基本統計量は表-1~3 のとおりである。

表-1 船舶形状の基本統計量（フェリー）

項目	GT	DWT	船長	船幅	満載喫水
N	22	22	22	22	22
Min	6,266	1,800	134.0	21.0	5.0
Max	17,345	6,649	224.8	27.5	7.2
Mean	11,781	5,083	175.4	25.4	6.4
SD	3,139	1,212	21.8	2.0	0.5

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。

注2) 単位は, GT, DWTがt, 船長, 船幅満載喫水がmである。

表-2 船舶形状の基本統計量（RORO 貨物船）

項目	GT	DWT	船長	船幅	満載喫水
N	17	17	17	17	17.0
Min	2,187	2,241	121.1	16.7	5.0
Max	13,950	7,376	173.3	27.0	7.3
Mean	8,444	5,367	151.5	23.6	6.6
SD	3,253	1,502	16.8	2.7	0.6

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。

注2) 単位は, GT, DWTがt, 船長, 船幅満載喫水がmである。

表-3 船舶形状の基本統計量（コンテナ船）

項目	GT	DWT	船長	船幅	満載喫水
N	16	16	16	16	15
Min	498	1,365	73.9	11.8	3.7
Max	5,818	5,427	137.3	20.0	6.8
Mean	1,256	2,357	89.8	14.2	4.5
SD	1,419	1,380	15.8	2.4	0.9

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。

注2) 単位は, GT, DWTがt, 船長, 船幅満載喫水がmである。

フェリーとRORO貨物船のDWTの平均値は5,100tと5,400tで1割弱の差しかないが, GTの平均値はフェリーが12,000t, RORO貨物船が8,000tでDWTに対して開きが大きい。フェリーに旅客区画があるためと考えられる。コンテナ船のDWTの平均値は2,400tで, フェリーやRORO貨物船の半分程度である(図-5(a))。

船長はGTと線形関係にある(図-5(b))。最小自乗法で求められる直線は, 傾きが0.00820, 切片が80.2, 相関係数が0.999である。

船幅もGTと線形関係にある(図-5(c))。最小自乗法で求められる直線は, 傾きが0.00110, 切片が13.1, 相関係数が0.986である。

満載喫水はGTよりもDWTと対応が良く, DWTと線形関係にある(図-5(d))。最小自乗法で求められる直線は, 傾きが0.000705, 切片が

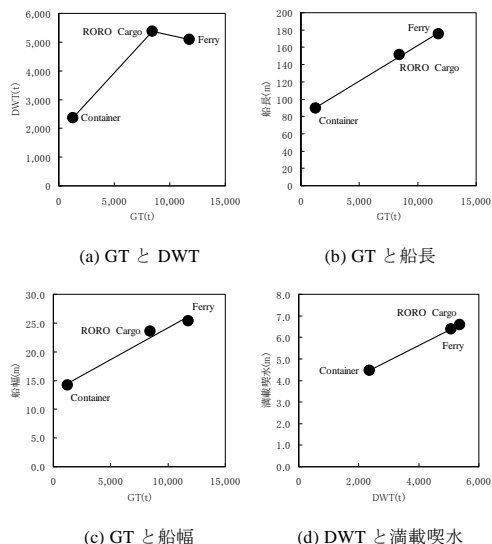


図-5 船舶形状の特徴

2.8, 相関係数が1.000である。

4. 船舶の積載・運動能力

回答が得られた船舶の積載能力および運動能力についての基本統計量は表-4~6のとおりである。

この集計においては, コンテナが全て20f型であり, その貨物積載量が20t, 12mシャシの貨物積載量が20t, 8tトラックが3.7t, 乗用車の車両重量が2.0tとしたときの重量基準での貨物の積載能力をフェリーおよびRORO貨物船の貨物積載能力とした。

主機出力はGTと線形関係にある(図-6(a))。最小自乗法で求められる直線は, 傾きが1.88, 切片が-553, 相関係数が0.988である。

速力はGTと線形関係にある(図-6(b))。最小自乗法で求められる直線は, 傾きが0.000968, 切片が12.4, 相関係数が0.996である。

建造年の平均値は, フェリーが1999年, RORO貨物船が2001年, コンテナ船が2002年

表-4 船舶能力の基本統計量（フェリー）

項目	貨物区画面積	貨物区画率	貨物積載能力	旅客定員	主機出力	速力	建造年
N	19	18	22	22	22	22	22
Min	3,658	0.40	514	92	11,760	19.4	1,988
Max	8,900	0.90	3,793	877	47,660	30.5	2,011
Mean	6,617	0.68	1,958	544	22,841	23.4	1,999
SD	1,744	0.13	1,041	286	7,371	2.6	5.1

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。

注2) 単位は, 貨物区画面積がm², 貨物積載能力がt, 旅客定員が人, 主機出力がkW, 速力がknである。

表-5 船舶能力の基本統計量（RORO貨物船）

項目	貨物区画面積	貨物積載能力	主機出力	速力	建造年
N	15	17	17	17	17
Min	1,850	920	4,531	17.0	1,990
Max	14,109	4,000	23,850	23.7	2,010
Mean	6,365	2,717	13,501	21.1	2,001
SD	3,208	927	4,214	1.8	5.0

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。

注2) 単位は, 貨物区画面積がm², 貨物積載能力がt, 主機出力がkW, 速力がknである。

表-6 船舶能力の基本統計量（コンテナ船）

項目	コンテナ積載能力	主機出力	速力	建造年
N	16	16	16	16
Min	60	735	9.0	1,991
Max	334	9,985	20.6	2,011
Mean	162	2,387	13.4	2,002
SD	85	2,128	2.9	6.5

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。

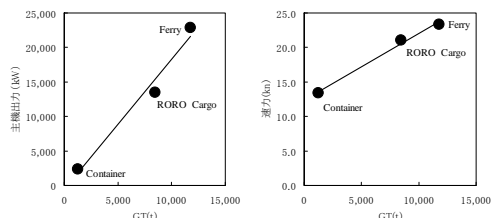
注2) 単位は, コンテナ積載能力がTEU, 主機出力がkW, 速力がknである。

である。これらの船舶は1996年頃, 2002年頃, 2006年頃そして2010年に船舶の建造が多い。また, フェリーは2005年以降, RORO貨物船は2007年以降の建造が少ない(図-7)。

5. 航路指標

航路についての基本統計量は表-7~9のとおりである。

ここでは, 航海距離は航路1周の距離であり, 航海時間は船舶が航海している時間の航路1周分の合計値である。航海速度は航路ごとに航海距離を航海時間で除したものとし, その平均および標準偏差等は航路を単位として算出した統計値である。



(a) GTと主機出力

(b) GTと速力

図-6 船舶の主機出力と速力

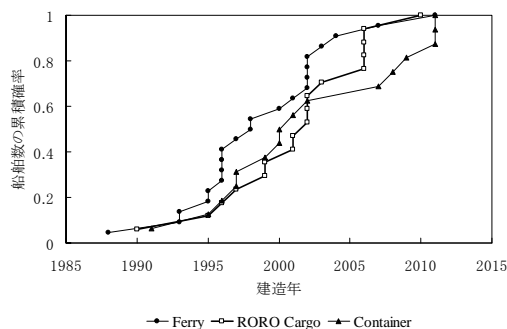


図-7 船舶の建造年

船種別の航海距離, 航海時間, 航海速度および燃料消費量は図-8のとおりである。図中の黒丸がデータの平均値, バーの上端が最大値, 下端が最小値である。

航海距離の平均値はRORO貨物船が最も長く, 2,390kmである。次に長いのがコンテナ船で1,820km, そして最後がフェリーで1,414kmである(図-8(a))。

航海時間を平均値で見るとコンテナ船が最も長く80.6h, 次いでRORO貨物船が68.0h, フェリーが37.4hである(図-8(b))。それらの結果, 航海速度の平均値は, フェリーが最も大きくて37.1km/h, 次いでRORO貨物船が35.0km/h, コンテナ船が22.7km/hである(図-8(c))。フェリーの航海速度が速いのは旅行者がより短時間で

表-7 航路指標の基本統計量（フェリー）

項目	航海距離	航海時間	航海速度	燃料消費量
N	22	22	22	22
Min	416	14.7	28.4	21.5
Max	3,430	90.0	51.8	246.0
Mean	1,414	37.4	37.1	110.0
SD	849	22.2	5.5	71.7

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。
 注2) 単位は, 航海距離がkm, 航海時間がh, 航海速度がkm/h, 燃料消費量がtである。

表-8 航路指標の基本統計量（RORO貨物船）

項目	航海距離	航海時間	航海速度	燃料消費量
N	17	17	17	17
Min	879	32.5	27.0	19.1
Max	4,102	115.0	39.8	187.8
Mean	2,390	68.0	35.0	116.0
SD	889	24.5	3.3	45.5

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。
 注2) 単位は, 航海距離がkm, 航海時間がh, 航海速度がkm/h, 燃料消費量がtである。

表-9 航路指標の基本統計量（コンテナ船）

項目	航海距離	航海時間	航海速度	燃料消費量
N	16	16	16	16
Min	422	21.0	13.8	4
Max	3,385	144.0	31.2	155
Mean	1,820	80.6	22.7	33
SD	802	33.9	4.2	36.3

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。
 注2) 単位は, 航海距離がkm, 航海時間がh, 航海速度がkm/h, 燃料消費量がtである。

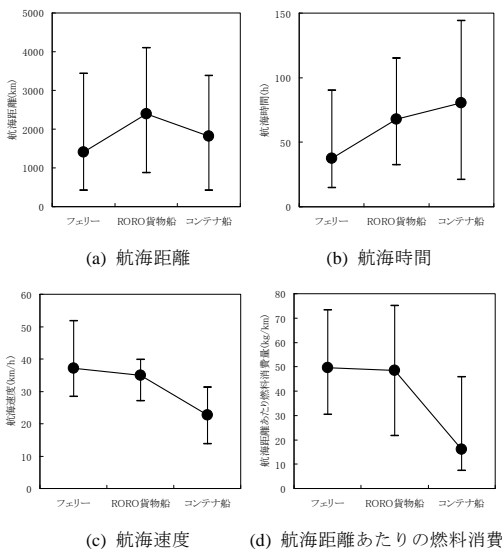


図-8 航路指標の特徴

の移動を求めるためと考えられる。

航路を1周する際の燃料消費量を航路1周の航海距離で除して求めた航海距離あたりの燃料消費量を比較する。このとき、フェリーは旅客輸送機能を併せ持つため、使用した燃料を貨物区画と旅客区画の面積比で案分し、それをそれぞれの寄与分とし、貨物分のみを対象として計算する。計算の結果、航海距離あたり燃料消費量の平均値はフェリーが最も大きく49.6kg/km、次いでRORO貨物船が48.6kg/kmとフェリーと概ね同じである(図-8(d))。最後がコンテナ船で16.0kg/kmである。それらを各船のDWTで除すとDWT基準のトンキロあたり燃料消費量になる。フェリーが最大で0.0098kg/t/km, RORO貨物船が0.0091kg/t/km, コンテナ船が最小で0.0068kg/t/kmである。

6. 航路区間指標

貨物や旅客の積載・乗船状況は航路区間ごとに異なる。それらを考慮した分析を行うため航路区間を単位とした分析を行う。航路区間についての基本統計量は表-10~12のとおりである。

ここでは、航路区間を「ある港から次の港までの船舶が運航する区間」として整理している。航海距離は運航区間の航路の距離であり、航海時間は運航区間を航海する時間であって、停泊状態を含まない時間としている。航海速度は航路区間ごとに航海距離を航海時間で除したものとし、その平均および標準偏差は航路区間を単位として算出した統計値である。

フェリーは旅客輸送機能を併せ持つため、使用した燃料を貨物区画と旅客区画の面積比で案分し、それをそれぞれの寄与分とし、貨物分のみを対象として計算する。また、コンテナ船にみられる距離の短い航路区間は運航以外の要因による燃料消費の影響が大きくなると考えられ

表-10 航路区間指標の基本統計量 (フェリー)

項目	航海距離	航海時間	航海速度	積載率	乗船率	燃料消費量
N	52	52	52	44	44	44
Min	208	7.3	26.3	0.20	0.02	6.7
Max	1,284	39.0	53.1	1.00	0.49	54.8
Mean	598	15.8	37.1	0.76	0.24	28.4
SD	263	6.5	5.2	0.18	0.14	13.3

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。

注2) 単位は, 航海距離がkm, 航海時間がh, 平均速度がkm/hである。

表-11 航路区間指標の基本統計量 (RORO貨物船)

項目	航海距離	航海時間	航海速度	貨物積載率	燃料消費量
N	56	56	56	56	56
Min	60	2.5	23.8	0.03	1.3
Max	1,259	40.0	39.8	1.00	77.0
Mean	725	20.6	34.6	0.66	33.3
SD	360	10.1	3.7	0.29	20.8

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。

注2) 単位は, 航海距離がkm, 航海時間がh, 平均速度がkm/h, 燃料消費量がtである。

表-12 航路区間指標の基本統計量 (コンテナ船)

項目	航海距離	航海時間	航海速度	積載率	燃料消費量
N	57	57	57	57	57
Min	59	3.0	13.9	0.00	0.6
Max	1,416	53.0	32.2	1.00	65.1
Mean	506	22.7	21.4	0.48	8.8
SD	371	14.4	4.8	0.30	11.6

注1) Nは標本数, Minは最小値, Maxは最大値, Meanは平均値, SDは標準偏差である。

注2) 単位は, 航海距離がkm, 航海時間がh, 平均速度がkm/h, 燃料消費量がtである。

るため, 航海距離が50km以下の航路区間のデータを除外して分析を行う。

航路区間の航海距離は平均値でRORO貨物船が725km, フェリーが598km, コンテナ船が506kmの順番である(図-9(a))。

航路区間の航海時間は平均値でRORO貨物船が22.7h, コンテナ船が18.4h, フェリーが15.8hであり, 航路全体ではコンテナ船が長く, フェリーが短いものの, 航路区間ではどの船種もそれほど大きな違いはない(図-9(b))。

航路区間の航海速度は平均値でフェリーが37.1km/h, RORO貨物船が34.6km/h, コンテナ船が19.8km/hの順番である(図-9(c))。航路全体の航海速度の平均値と大きな違いはない。

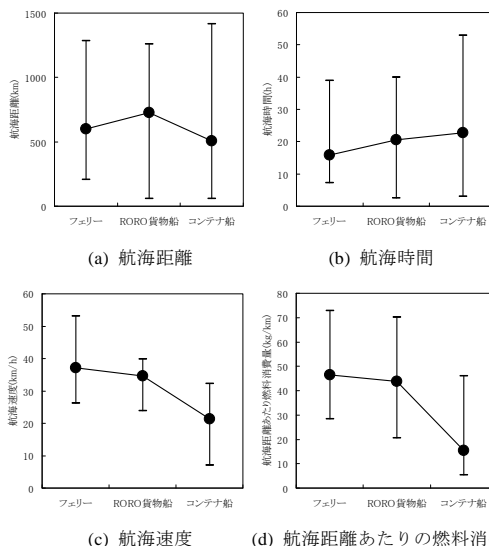


図-9 航路区間指標の特徴

航路区間の航海距離あたりの燃料消費量は平均値でフェリーが46.5kg/km, RORO貨物船が43.9kg/km, コンテナ船が15.5kg/kmである(図-9(d))。航路全体と同じ傾向ではあるが, 航路区間の方がやや小さくなっている。

7. 燃料消費関数

7.1 フェリーおよびRORO貨物船

他の輸送機関に比べて大きい躯体を持ち, 低速で運航する船舶は, 船舶の航走にともない発生する海水の流体抵抗が, 船舶が航行中に消費するエネルギーの中で最も大きなエネルギー消費要素である。そのため船舶の燃料消費量は海水の流体抵抗に概ね比例すると考え, 航海距離あたりの燃料消費量が船舶の前面投影面積と速度の2乗に比例すると考える。船舶の形状が概ね相似であれば, GTとDWTが比例する一方で, 船舶の前面投影面積が船舶の総重量の2/3乗に比例する。フェリーおよびRORO貨物船は実際の積載貨物重量が船体重量に比してそれほど大

表-13 燃料消費関数の係数推定結果
(フェリー)

係数	係数值	t 値	Cor	N
k_1	1.66×10^{-4}	5.0	0.82	44
k_2	9.78×10^{-5}	4.3	0.82	44

注1) Corは燃料消費量の観測値に対する推計値の相関係数である。
注2) Nはサンプル数である。

表-14 燃料消費関数の係数推定結果
(RORO 貨物船)

係数	係数值	t 値	Cor	N
k_1	1.16×10^{-4}	3.2	0.59	56
k_2	8.41×10^{-5}	2.4	0.67	56

注1) Corは燃料消費量の観測値に対する推計値の相関係数である。
注2) Nはサンプル数である。

きくないため、航海時の船舶の総重量はそのGTあるいはDWTに概ね比例すると考える。それらより、1航路区間ごとのフェリーおよびRORO貨物船の航海距離あたりの燃料消費量を以下の関数型で表現できると考える。

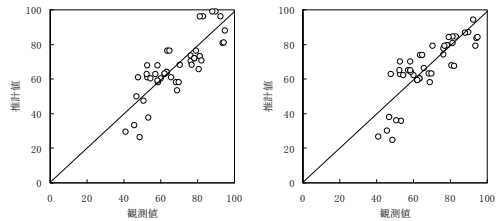
$$FO = k_1 \cdot DWT^{2/3} \cdot V^2 \quad (1a)$$

$$FO = k_2 \cdot GT^{2/3} \cdot V^2 \quad (1b)$$

FOは船舶の航海時の航海距離あたりの燃料消費量(kg/km)、 k_1 と k_2 は定数、DWTは船舶の載貨重量トン、GTは船舶の総トン、Vは区間平均の航海速度(km/h)である。

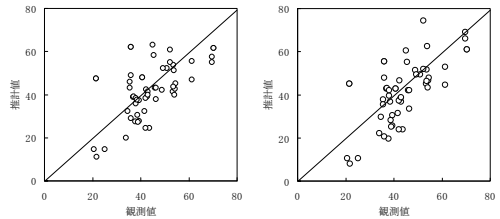
航路区間ごとの航海距離あたりの燃料消費量と区間平均の航海速度、そして船舶のDWTまたはGTを使い、最小自乗法で式(1)の係数を推定した。

推定された係数の値は、フェリーの場合、 k_1 が 1.66×10^{-4} 、 k_2 が 9.78×10^{-5} 、である(表-13)。このときt値は k_1 が5.0、 k_2 が4.3であり、各推定値の有意性は高い。この係数を使って求められる航海距離あたりの燃料消費量はフェリー1隻の燃料消費量であり、旅客輸送の寄与分を含んでいる。そのため、貨物輸送の寄与分のみを



(a) DWT 使用 (b) GT 使用

図-10 航海距離あたりの燃料消費量の観測値と推計値(フェリー)



(a) DWT 使用 (b) GT 使用

図-11 航海距離あたりの燃料消費量の観測値と推計値(RORO貨物船)

求めるには、式(1)から算出される航海距離あたりの燃料消費量に貨物の寄与率を乗じる必要がある。

RORO貨物船の式(1)の係数の推定値は、 k_1 が 1.16×10^{-4} 、 k_2 が 8.41×10^{-5} である(表-14)。このときt値は k_1 が3.2、 k_2 が2.4であり、各推定値の有意性は高い。その値を使って推計した航海距離あたりの燃料消費量と調査によって得た航海距離あたりの燃料消費量を比較すると、図-10~11のとおりとなる。

フェリーの場合の相関係数は、DWTを使用した場合もGTを使用した場合も0.82である。RORO貨物船の場合の相関係数は、DWTを使用した場合が0.59、GTを使用した場合が0.67である。また推定に使用したサンプルの数はフェリーが44、RORO貨物船が56である。

フェリーと RORO 貨物船の燃料消費量を貨物積載率を加えた式（後述の式(2)）を使って GT を説明変数とした場合の当てはめを行うと、相関係数はフェリー0.82, RORO 貨物船 0.68 となり、説明変数を増やしても相関係数がほとんど向上しない。

DWT および航海速度の平均値を式(1)に代入して距離あたりの船舶の燃料消費量を求め、それを貨物積載能力および貨物積載率の平均値で除すことにより、t・km あたりの燃料消費量を求めることができる。フェリーについては貨物の寄与分とするため、得られた値に貨物区画率を乗じる。求めるとフェリーが 0.031kg, RORO 貨物船が 0.024kg となった。

内航海運輸送統計⁵⁾によれば貨物船の燃料消費量が 2011 年 2 月時点で 0.015l/t/km であり、C 重油の密度が 0.96kg/l である⁹⁾から、内航海運輸送統計の対象となっている船舶全体の燃料消費量は 0.014kg/t/km になる。それに対し燃料消費関数から求めた平均的な燃料消費量はフェリーが 2.1 倍, RORO 貨物船が 1.6 倍である。

7.2 コンテナ船

他の輸送機関に比べて大きい躯体を持ち、低速で運航する船舶は、船舶の航走にともない発生する海水の流体抵抗が、船舶が航行中に消費するエネルギーの中で最も大きなエネルギー消費要素である。そのため船舶の燃料消費量は海水の流体抵抗に概ね比例すると考え、航海距離あたりの燃料消費量が船舶の前面投影面積と速度の 2 乗に比例すると考える。船舶の形状が概ね相似であれば、船舶の前面投影面積は船舶の総重量の 2/3 乗に比例する。コンテナ船の総重量は船舶の自重と積載貨物重量の和に比例する。そして、自重は DWT に、貨物積載量は DWT

表-15 燃料消費関数の係数推定結果 (コンテナ船)

係数	係数値	t 値	Cor	N
k_3	9.05×10^{-5}	3.5	0.93	57
k_4	2.09	1.8		

注 1) Cor は燃料消費量の観測値に対する推計値の相関係数である。
注 2) N はサンプル数である。

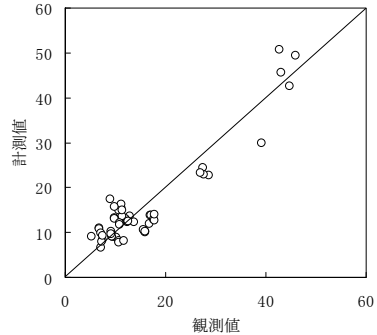


図-12 航海距離あたりの燃料消費量の観測値と推計値 (コンテナ船)

と貨物積載率の積に概ね比例すると考えられる。それらより、1 航路区間ごとのコンテナ船の航海距離あたりの燃料消費量を以下の関数形で表現できると考える。

$$FO = k_3 \cdot ((k_4 + LF) \cdot DWT)^{2/3} \cdot V^2 \quad (2)$$

FO は船舶の航海時の燃料消費量 (kg/km), k_3 と k_4 は定数, DWT は船舶の載貨重量トン, LF は貨物積載率, V は区間平均の航海速度 (km/h) である。

船舶ごとの DWT, 貨物積載率, 航路区間ごとの航海速度および航海距離あたりの燃料消費量を使い、最小自乗法で式(2)の係数を推定する。

推定された係数の値は、 k_3 が 9.05×10^{-5} , k_4 が 2.09 である(表-15)。このとき t 値は k_3 が 3.5, k_4 が 1.8 であり、各推定値の有意性は高い。推定された係数値を使って推計した燃料消費量と調査によって得た燃料消費量を比較すると、図

-12 のとおりであり、相関係数は 0.93 である。また推定に使用したサンプルの数は 57 である。

船舶ごとの DWT の平均値、航路区間ごとの積載率と航海速度の平均値を式(2)に代入して航海距離あたりの船舶の燃料消費量を求め、それを貨物積載能力の平均値で除すことにより、TEU・kmあたりの燃料消費量が 0.14kg と求められる。1TEU あたりの貨物積載重量を 11t/TEU とすると、t・km あたりの燃料消費量は 0.013kg となる。

内航海運輸送統計⁵⁾によれば貨物船の燃料消費量が 2011 年 2 月時点で 0.015l/tkm であり、C 重油の密度が 0.96kg/l である⁶⁾から、内航海運輸送統計の対象となっている船舶全体の燃料消費量は 0.014kg/tkm になる。その燃料消費量は燃料消費関数から求めた平均的なコンテナ船の燃料消費量よりも若干大きい。

7.1 で平均値を使って求めたフェリーおよび RORO 貨物船の t・km あたりの燃料消費量と比較すると、フェリーが最も大きく 0.031kg、次いで RORO 貨物船が 0.024kg、コンテナ船が 0.013kg となり、コンテナ船が最も燃料消費量が少ない。

日本における消費エネルギーの削減と CO2 排出の削減を実現していくためには、燃料消費量推計式から分かるように、減速運航、貨物積載率の向上、船舶の大型化を進めていくとともに、フェリー、RORO 貨物船およびコンテナ船、中でも平均船齢が大きいフェリーのエネルギー効率を高めていくことが重要である。同時に、よりエネルギー消費の少ないコンテナ船や RORO 貨物船を使った貨物輸送を拡大していくことの重要性も高いといえる。

8. まとめ

国内航路の一般貨物輸送における消費エネル

ギー削減と CO2 排出削減に関する政策を分析するための基礎情報を得るため、国内航路でフェリー、RORO 貨物船およびコンテナ船を運航する船会社に対し、運航する船舶の諸元と燃料消費量に関する質問票調査を 2012 年 7～8 月に実施した。その結果を基に、調査の対象とした国内航路を運航するフェリー、RORO 貨物船およびコンテナ船の形状、積載能力、運動能力、航路の運航状況に関する指標を整理するとともに、各種船舶ごとに燃料消費を求める関数を作成した。

謝辞

本研究は科学研究費補助金（基盤研究 B 課題番号 22360212）の助成を受けたものである。本研究に協力をいただいた方々に感謝する。

引用・参考文献

- 1) 財務省:貿易統計, 1995-2012.
- 2) シップ・アンド・オーシャン財団:船舶からの温室効果ガス(CO2 等)の排出削減に関する調査研究報告書, 2001.
- 3) 木原洗ら:船舶への LCA の適用に関する調査研究, 海上技術安全研究所報告, Vol.2, No.2, pp35-62, 2002.
- 4) 鈴木武:長距離内航 RORO 貨物船輸送における燃料価格上昇の影響, 海洋開発論文集, Vol.25, 土木学会, pp1089-1094, 2009.
- 5) 国土交通省:内航海運輸送統計月報 2 月分, 2011.
- 6) 石油連盟:流出油性状変化データベース, <http://www.pcs.gr.jp/doc/keijihenka/jdatabase.html>, 2012.8 access.

著者紹介

鈴木 武（正会員）

国土技術政策総合研究所沿岸海洋・防災研究部（神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1），昭和 58 年 3 月東北大学工学部土木工学科卒業，同年 4 月運輸省入省，平成 10 年より港湾技術研究所勤務，平成 13 年より国土技術政策総合研究所勤務となり，現在同研究所部長，博士（工学），土木学会会員。

E-mail : suzuki-t92y3@ysk.nilim.go.jp

佐々木 友子

国土技術政策総合研究所港湾研究部（神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1），平成 18 年 3 月九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻修了，同年 4 月国土交通省入省，平成 23 年 9 月より国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾システム研究室研究官。

E-mail : sasaki-t92y2@ysk.nilim.go.jp

Specifications and Fuel Consumption of Ferry, RORO Cargo Ship and Container Ship on Domestic Lines

Takeshi SUZUKI and Tomoko SASAKI

ABSTRACT: To enhance transport efficiency and usability of ship transportation is important, in order to reduce energy consumption and CO2 emission of domestic cargo transportation on long distance route. For obtaining basic information to consider the measures for ship transportation, we surveyed ship specifications and performances on routes of ferries, RORO cargo ships and container ships on domestic long distance routes through shipping companies. We calculated statistic indicators of ships and routes, and functions to explain fuel consumption of ferry, RORO cargo ship and container ship on domestic long distance route.

KEYWORDS: *domestic cargo ship, specification of ship, fuel consumption*