

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1340 March 2018

船舶の排水量に関する回帰式の提案

米山 治男

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 研究内容	4
3. 排水量データの作成	4
3.1 船舶諸元データ	4
3.2 排水量データの作成方針	5
3.3 クルーズ船の満載排水量データ	5
3.4 満載排水量と空載排水量の関係	7
3.5 排水量データの総数	7
4. 排水量回帰式の計算方法	8
4.1 回帰式の計算方針	8
4.2 回帰分析手法	8
4.3 回帰式のカバー率別評価	8
5. 満載排水量の回帰式の計算結果	9
5.1 概要	9
5.2 満載排水量の回帰式の考察	9
5.3 現行技術基準の回帰式との比較	15
5.4 船種ごとの満載排水量の回帰式の比較	17
5.5 満載排水量の回帰式の提案	18
6. 空載排水量の回帰式の計算結果	18
6.1 概要	18
6.2 空載排水量の回帰式の考察	18
6.3 満載排水量の回帰式との比較	24
6.4 船種ごとの空載排水量の回帰式の比較	26
6.5 空載排水量の回帰式の提案	27
7. 結論	27
8. おわりに	28
謝辞	28
参考文献	28
記号表	29

Proposal of Regression Equations for Displacement Tonnage of Ships

Haruo YONEYAMA*

Synopsis

In this study, I calculated and evaluated the regression equations of displacement tonnage of ships by carrying out the statistical analysis using the latest ship specification data. In the calculation, I employed full load displacement tonnage and ballasted displacement tonnage for 10 kinds of ships: cargo ship, container ship, oil tanker, roll-on/roll-off (RORO) ship, pure car carrier (PCC), LPG carrier, LNG carrier, passenger ship, short-to-medium distance ferry and long distance ferry. As a result of this study, I proposed that the regression equations of displacement tonnage of ships for the coverage rate of 75% should be used for calculating the berthing energy of a ship when designing fenders.

Key Words: displacement tonnage of ship, regression equation, coverage rate, statistical analysis, fender design

* Director, Coastal and Ocean Engineering Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5114 e-mail: yoneyama@pari.go.jp

船舶の排水量に関する回帰式の提案

米山 治男*

要 旨

本研究では、最新の船舶諸元データを用いて統計解析を行い、船舶の接岸力（接岸エネルギー）を求める際に必要となる船舶の排水量（満載排水量，空載排水量）と載貨重量トン数あるいは総トン数との回帰式を計算して、その結果について検討した。この結果を基に、船舶の満載時および空載時の排水量の算定式として、貨物船，コンテナ船，タンカー，ロールオン・ロールオフ（RORO）船，自動車専用（PCC）船，LPG 船，LNG 船，旅客船，中短距離フェリー（航海距離 300km 未満）および長距離フェリー（航海距離 300km 以上）の 10 種類の船種ごとに、カバー率 75%に対する船舶の満載排水量および空載排水量の回帰式を提案した。

キーワード：船舶の排水量，回帰式，カバー率，統計解析，防舷材の設計

* 海洋研究領域長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5114 e-mail: yoneyama@pari.go.jp

1. はじめに

近年、スケールメリットによるコスト削減を目的として船型の大型化が進展しており、船舶の標準諸元が変化してきている。しかし、現行の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(日本港湾協会, 2007) (以下、現行技術基準と記す) に基づいて防舷材を設計する際には、最近の船舶の諸元データを基にした船舶の排水量の回帰式が提示されていないため、このような船型の大型化を考慮した船舶の接岸力を算出することができない状況にある。

現行技術基準では、船舶の種類(船種)によって、船舶の載貨重量トン数(DWT)あるいは総トン数(GT)から船舶の満載時の排水量(DT)を算定する回帰式が提示されている。これらの船舶の排水量の回帰式は、高橋ら(2006)、米山ら(2006)による検討成果を基に設定されている。高橋ら(2006)は、当時最新の船舶の諸元データを用いて、10種類の船種の区分に対して船舶の排水量(排水トン数)の線形回帰式を提示している。また、米山ら(2006)は、これらの線形回帰式の誤差の標準偏差に対して船舶の載貨重量トン数あるいは総トン数を考慮することにより、船舶の排水量の回帰式を算定し直している。しかし、以上の検討で用いられた船舶諸元データは、現時点から10年以上前のものであり、現行技術基準に提示されている船舶の排水量の回帰式は、現在の船舶の排水量データの状況と異なっている可能性があると考えられる。

そこで、本研究では、最新の船舶諸元データを用いて、現行技術基準に提示されている船舶の接岸力を求める際に必要となる船舶の排水量の回帰式を更新することを目的とする。具体的には、2016年時点における船舶諸元データを用いて統計解析(回帰分析)を行い、船舶の排水量(DT)と載貨重量トン数(DWT)あるいは総トン数(GT)との回帰式を計算して、その結果について検討する。そして、この回帰式の検討結果を基にして、船舶の排水量(DT)の算定式を提案する。ここでは、船種は現行技術基準と同様に貨物船等の10種類とし、船舶の排水量(DT)として満載排水量(DT_F)および空載排水量(DT_B)を対象とする。なお、船舶の満載排水量に関する統計解析については、概ね10年ごとに満載排水量の回帰式の提案が行われてきている(片山ら, 1970; 寺内ら, 1980; 浜田ら, 1991; 赤倉ら, 1998; 高橋ら, 2006)。

2. 研究内容

船舶の接岸力とは、防舷材を設計する際に用いる船舶の接岸エネルギーを意味する。船舶の接岸エネルギーを

算定するときには一般的に船舶の満載時の排水量(満載排水量)を用いるため、通常は船舶の排水量としては満載排水量を用いる。そこで、本研究では、基本となる船舶の排水量の回帰式として、船舶の満載排水量の回帰式を算定している。一方で、バルク船等においては空載状態(あるいは減載状態)で入港する場合もあることから、従来よりも合理的な防舷材の設計を行うためには、船舶の空載時の排水量(空載排水量)についての回帰式が必要な場合もあると想定される。そこで、船舶の載貨重量トン数あるいは総トン数から船舶の空載排水量を算定する回帰式も求めることとする。

本研究では、まず、排水量データの作成を行い、対象とする船種ごとに船舶の排水量(満載排水量(DT_F), 空載排水量(DT_B)), 載貨重量トン数(DWT)および総トン数(GT)の船舶諸元データを整理する。この整理されたデータを用いて、統計解析(回帰分析)により、船舶の排水量(DT)と載貨重量トン数(DWT)あるいは総トン数(GT)との回帰式を計算する。また、得られた回帰式の特徴について考察するとともに、現行技術基準において提示されている回帰式と比較検討する。船舶の空載排水量については、船舶の満載排水量の回帰式と比較検討する。最後に、これらの検討結果に基づいて、船舶の満載時および空載時の排水量の算定式を提案する。なお、ここでいう船舶の排水量とは船舶による排水体積を重量で表したものであり、船舶の排水トン数と同義である。また、本資料では、排水量(DT)と表示する場合には、満載排水量(DT_F)と空載排水量(DT_B)の両方を意味するものとする。

3. 排水量データの作成

3.1 船舶諸元データ

船舶の排水量の回帰式を求める際に採用した船舶諸元データは、以下の2種類の文献から抽出している。

- ・ Lloyd's List Intelligence Shipping Data (2017.1)
(Lloyd's List Intelligence, 2017)
- ・ 日本船舶明細書(2017年版)
(日本海運集会所, 2017)

船舶は世界中の港湾に寄港可能であることから、世界で就航中の船舶のデータを対象とすることが妥当である。そこで、Lloyd's List Intelligence Shipping Data (2017.1) (以下、LLI Data と記す) の船舶諸元データを用いることを基本とする。ただし、日本国内での就航に限定されるフェリーについては、日本船舶明細書(2017年版) (以下、日本船舶明細書と記す) に掲載されている船舶諸元データを対象とする。ここでいう船舶諸元データとは、船名、船種、

全長、型幅、総トン数、満載排水量等の船舶に関する基本的なデータのことである。なお、LLI Data については、2017年1月時点における船舶諸元データが、日本船舶明細書については、2016年6月30日現在における船舶諸元データが収録されている。なお、LLI Data および日本船舶明細書には、船舶の満載排水量のデータのみ登録されており、空載排水量のデータは登録されていない。

3.2 排水量データの作成方針

対象とする船種ごとに船舶の排水量データを作成する。本研究では、以下の10種類の船種を対象としている。

- 1)貨物船
- 2)コンテナ船
- 3)タンカー
- 4)ロールオン・ロールオフ (RORO) 船
- 5)自動車専用 (PCC) 船
- 6)LPG船
- 7)LNG船
- 8)旅客船
- 9)中短距離フェリー (航海距離300km未満)
- 10)長距離フェリー (航海距離300km以上)

これは、現行技術基準の船種の区分に基づいており、フェリーについては、航海距離により2種類に分けている。また、貨物船については、一般貨物船(箱詰め、樽詰め等の貨物運搬をする船舶)、バルク船(撒積運搬船)、鉱石専用船を含んでいる。なお、以下では、ロールオン・ロールオフ船はRORO船、自動車専用船はPCC船と略記する。

船舶の満載排水量データの作成においては、LLI Data および日本船舶明細書に登録されている船舶諸元データをそのまま用いる。表-3.1にLLI Data および日本船舶明細書から集計した船種ごとの満載排水量データの総数を示す。なお、本研究では、回帰分析のための船舶のデータ数

が少なくなることから、船舶の耐用年数(船齢)は考慮せず、LLI Data および日本船舶明細書に満載排水量が掲載されている船舶全てを解析対象としている。

ここで、旅客船については、データ数が16と少ないことや近年の日本国内への大型クルーズ船の寄港実績の増加を考慮するために、日本へ就航中のクルーズ船を運航している船会社へヒアリング調査を行い、クルーズ船の満載排水量のデータを追加することとした。

また、LLI Data および日本船舶明細書には船舶の空載排水量のデータは登録されていない。そこで、本研究では、船舶の満載時排水量と空船時排水量との回帰式(寺内ら、1980)を用いて、船舶の満載排水量のデータを空載排水量のデータに変換することとした。ここで、船舶の空船時とは、乗組員、燃料、バラスト水等を積載し、貨物を積載しない状態(すなわち、バラストコンディション状態)を意味しており、本研究では、この状態を船舶の空載時とする。

3.3 クルーズ船の満載排水量データ

旅客船については、近年増加している日本国内の大型クルーズ船を十分に考慮するために、クルーズ船社へのヒアリングにより日本の港湾に就航しているクルーズ船の満載排水量について調査し、データを追加した。日本の港湾に寄港している全てのクルーズ船に対して調査を行うことは難しいため、以下の条件で調査対象とするクルーズ船と船会社を選択した。

- ・2016年に寄港回数の多い上位10港湾に就航
- ・外国船社の10,000総トン(GT)以上のクルーズ船
- ・船会社に対象クルーズ船が2船以上所属

ただし、1年間の寄港実績が1回のみクルーズ船は除外している。

日本の港湾に対して外国船社が運航するクルーズ船の寄港回数を表-3.2に示す(国土交通省、2017)。外国船社

表-3.1 船舶の満載排水量データの総数

No.	船種	船舶数
1	貨物船	1121
2	コンテナ船	236
3	タンカー	310
4	RORO船	35
5	PCC船	61
6	LPG船	42
7	LNG船	18
8	旅客船	16
9	中短距離フェリー	54
10	長距離フェリー	32

表-3.2 外国船社が運航するクルーズ船の寄港回数

順位	港湾名	回数
1	博多	312
2	長崎	190
3	那覇	183
4	石垣(石垣島)	91
5	平良(宮古島)	84
6	鹿児島	80
7	佐世保	62
8	横浜	40
9	広島	34
10	神戸	32
	その他	335
	合計	1,443

のクルーズ船の寄港回数は、2016年の1年間で合計1,443回であり、九州地方および沖縄地方の港湾への寄港回数が多いことがわかる。これは、近年日本の港湾へ就航している外国船社のクルーズ船の多くは、中国を拠点としており、九州地方や沖縄地方は中国に対して地理的に近いことが理由である。この表から、クルーズ船を選定するための対象港湾は、博多港、長崎港、那覇港、石垣港、平良港、鹿児島港、佐世保港、横浜港、広島港、神戸港の10港湾とした。

各港湾におけるクルーズ船の寄港実績についての詳細な情報は、各港湾管理者のホームページに掲載されている。そこで、各港湾におけるクルーズ船の船名、寄港回数等については、対象とする10港湾の港湾管理者のホームページから収集した。その結果を取りまとめて、先に示した条件を基に外国船社が運航しているクルーズ船を抽出すると、6船社が運航している19船となった。これらのクルーズ船は、LLI Dataには登録されていなかったため、総トン数、全長、喫水等の基本的な船舶諸元データについては各港湾管理者のホームページや船舶位置情報サービス (MarineTraffic, 2017) から取得した。一方、クルーズ

船の満載排水量については情報公開されていないため、船会社に対してヒアリングを実施した。このヒアリング調査は、船舶総代理店等を通して対象となる外国船社に対して行っている。

なお、日本船社が運航しているクルーズ船については、日本船舶明細書に満載排水量のデータが掲載されている。日本船社が運航している国内の大型クルーズ船は、「飛鳥II」、「ばしふいっくびいなす」、「にっぽん丸」の3船のみであり、これらのクルーズ船の満載排水量データも採用している。

表-3.3は、外国船社が運航しているクルーズ船の諸元の一覧を示す。また、表-3.4は、日本船社が運航しているクルーズ船の諸元の一覧を示す。外国船社のクルーズ船では、2016年には最大で約170,000総トン (GT) の船舶が日本に寄港している。一方、日本船社のクルーズ船では、「飛鳥II」の約50,000総トン (GT) が最大である。クルーズ船の満載排水量は、どの船舶についても概ね総トン数の1/2程度となっている。統計解析に用いるクルーズ船の満載排水量の総数は、外国船社のクルーズ船19隻と日本船社のクルーズ船3隻を合わせて合計22隻である。

表-3.3 クルーズ船の諸元 (外国船社が運航)

No.	船名	運航船社	総トン数(トン)	載貨重量トン数(トン)	全長(m)	型幅(m)	喫水(m)	満載排水量(t)
1	インシグニア	オーシャン・クルーズ	30,277	2,700	181.00	25.73	5.95	15,810
2	ノーティカ	オーシャン・クルーズ	30,277	2,948	181.00	25.46	5.95	16,147
3	コスタ・ピクトリア	コスタ・クルーズ	75,166	8,039	250.97	32.25	8.00	37,576
4	コスタ・アトランチカ	コスタ・クルーズ	85,619	8,600	292.50	32.20	8.00	44,928
5	コスタ・フォーチュナ	コスタ・クルーズ	102,669	8,200	272.19	35.50	8.30	51,190
6	コスタ・セレーナ	コスタ・クルーズ	114,261	8,900	289.59	35.50	8.30	56,650
7	スーパースター・リブラ	スタークルーズ	42,285	5,000	216.17	32.64	7.02	21,863
8	スーパースター・アクエリアス	スタークルーズ	51,309	6,731	229.84	32.10	7.01	29,347
9	スーパースター・ヴァーゴ	スタークルーズ	75,338	8,530	268.60	32.30	7.90	37,987
10	ゴールデン・プリンセス	プリンセス・クルーズ	108,865	8,418	289.51	40.20	8.45	53,412
11	サファイア・プリンセス	プリンセス・クルーズ	115,875	14,601	290.00	37.75	8.55	60,636
12	ダイヤモンド・プリンセス	プリンセス・クルーズ	115,906	14,601	290.00	37.75	8.55	60,639
13	ロストラル	ポナン	10,944	1,441	142.10	18.00	4.70	7,520
14	ル・ソレアル	ポナン	10,992	1,441	142.10	18.00	4.70	7,555
15	レジェンド・オブ・ザ・シーズ	ロイヤル・カリビアン・インターナショナル	69,472	5,200	264.26	32.00	8.07	35,983
16	マリナー・オブ・ザ・シーズ	ロイヤル・カリビアン・インターナショナル	138,279	9,616	311.12	39.03	8.60	64,633
17	ボイジャー・オブ・ザ・シーズ	ロイヤル・カリビアン・インターナショナル	138,194	11,132	311.12	38.60	8.80	67,592
18	クワンタム・オブ・ザ・シーズ	ロイヤル・カリビアン・インターナショナル	168,666	12,000	347.08	41.40	8.80	78,130
19	オペーション・オブ・ザ・シーズ	ロイヤル・カリビアン・インターナショナル	168,666	12,000	348.00	41.20	8.82	78,130

表-3.4 クルーズ船の諸元 (日本船社が運航)

No.	船名	運航船社	総トン数(トン)	載貨重量トン数(トン)	全長(m)	型幅(m)	喫水(m)	満載排水量(t)
1	飛鳥II	郵船クルーズ	50,142	7,548	240.96	29.60	8.02	30,862
2	ばしふいっくびいなす	日本クルーズ客船	26,594	4,202	183.40	25.00	6.52	15,190
3	にっぽん丸	商船三井旅客	22,472	4,196	166.65	24.00	6.55	14,563

3.4 満載排水量と空載排水量の関係

船舶の満載排水量と空載排水量との回帰式について検討している事例は少なく、港湾技研資料では、片山ら(1970)、寺内ら(1980)の2資料のみである。1980年以降も、船舶諸元に関する統計解析は概ね10年ごとに実施されているが、船舶の空載排水量については解析対象となっていない。これは、港湾施設の設計において、船舶の空載排水量を用いることがほとんどないからである。ここでは、これら2資料のうち新しい方の寺内ら(1980)に示されている船舶の満載時排水量と空船時排水量との回帰式を採用する。表-3.5に船舶の満載時排水量と空船時排水量との回帰関係(カバー率50%)について示す。この表から船舶の満載時排水量と空船時排水量との回帰式は以下ようになる。

- ・一般貨物船 $DT_B = 0.199DT_F^{1.084}$ (1)
- ・石油タンカー $DT_B = 0.383DT_F^{1.018}$ (2)
- ・鉱石専用船 $DT_B = 0.385DT_F^{1.037}$ (3)
- ・フルコンテナ船 $DT_B = 0.843DT_F^{0.955}$ (4)
- ・旅客船 $DT_B = 1.116DT_F^{0.942}$ (5)
- ・カーフェリー $DT_B = 0.875DT_F^{0.981}$ (6)

ここで、 DT_F は船舶の満載時排水量(t)、 DT_B は船舶の空船時排水量(t)である。なお、先に示したように、本研究では、空船と空載を同じ意味として用いる。

船舶の空載排水量データは、貨物船、コンテナ船、タンカー、RORO船、PCC船、LPG船、LNG船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーの10種類の船種に対して作成する必要がある。船舶の満載時排水量と空船時排水量との回帰式が対応しない船種も存在する。そこで、この回帰式がない船種については、船型が比較的類似していると考えられる船種の回帰式を適用することとした。表-3.6は、船舶の満載時排水量と空船時排水量との回帰式を対応させる船種の区分を示したものである。この表から、例えば、RORO船については、カーフェリーの回帰式を用いて空載排水量を求めることになる。

なお、船舶の空載排水量の算出方法として、満載排水量から載貨重量を差し引いて求めるという考え方もある。しかし、この場合には、載貨重量に含まれている燃料、潤滑油、バラスト水等の載貨物以外の重量も差し引いており、いわゆる軽貨排水量を計算していることになる。このため、実際の船舶の空載排水量よりも小さい排水量を算出することになるので、この方法を用いるのは適切ではないと考えられる。

表-3.5 船舶の満載時排水量と空船時排水量の関係

No.	船種	回帰式($Y = \alpha X^\beta$)		
		回帰係数 α	回帰係数 β	標準偏差
1	一般貨物船	0.199	1.084	0.083
2	石油タンカー	0.383	1.018	0.103
3	鉱石専用船	0.385	1.037	0.074
4	フルコンテナ船	0.843	0.955	0.115
5	旅客船	1.116	0.942	0.079
6	カーフェリー	0.875	0.981	0.042

表-3.6 船種の区分

No.	船種(現行技術基準)	船種(港研資料No.348)
1	貨物船	一般貨物船
2	コンテナ船	フルコンテナ船
3	タンカー	石油タンカー
4	RORO船	
5	PCC船	カーフェリー
6	LPG船	
7	LNG船	石油タンカー
8	旅客船	旅客船
9	中短距離フェリー	
10	長距離フェリー	カーフェリー

3.5 排水量データの総数

船種ごとの排水量データの総数を表-3.7に示す。この表は、表-3.1において旅客船の中にクルーズ船のデータ数22隻を追加したものである。船種ごとのデータ数では、貨物船、コンテナ船およびタンカーについては、少なくとも200以上となっており、貨物船は1,000を大きく超えている。一方、これら以外の船舶は2桁程度のデータ数しかなく、LNG船に至っては18と非常に少なくなっている。このため、統計解析により得られた船舶の排水量の回帰式について、その精度は、これらのデータ数の大小に依存していることに注意する必要がある。

なお、この表には、排水量データに対する船舶の載貨重量トン数(DWT)または総トン数(GT)の範囲も併せて

表-3.7 船舶の排水量データの総数

船種	船舶数	トン数の範囲
貨物船	1,121	100~265,600 DWT
コンテナ船	236	5,600~158,200 DWT
タンカー	310	48,000~321,300 DWT
RORO船	35	400~65,300 GT
PCC船	61	11,000~60,600 GT
LPG船	42	700~48,800 GT
LNG船	18	2,900~135,800 GT
旅客船	38	100~168,700 GT
中短距離フェリー	54	1,100~15,700 GT
長距離フェリー	32	1,400~20,600 GT

示している。本研究で算定される船舶の排水量の回帰式を用いる際には、これらのトン数の範囲内に該当する船舶に対して使用するのが適切である。

4. 排水量回帰式の計算方法

4.1 回帰式の計算方針

船舶の排水量のデータを用いて、船種ごとに排水量回帰式を推定するための統計解析（回帰分析）を行う。回帰分析では、船種ごとに船舶の載貨重量トン数（DWT）または総トン数（GT）と船舶の排水量（DT）との回帰式を算定する。また、回帰係数、標準偏差、相関係数およびカバー率別（50%、75%、90%および95%）の回帰式を求める。ここで、回帰分析においては、赤倉ら（1998）が提案している手法を参考にして、べき関数による曲線（非線形）回帰分析を行うものとした。従来の検討と同様に、貨物船、コンテナ船およびタンカーについては、船舶の載貨重量トン数（DWT）と排水量（DT）の回帰式を、これら以外の船舶については総トン数（GT）と排水量（DT）の回帰式を算定した。

4.2 回帰分析手法

回帰分析では、船舶の排水量（DT）を目的変数 Y 、船舶の載貨重量トン数（DWT）または総トン数（GT）を説明変数 X とする。このとき、次式を用いて回帰分析を行うものとする。

$$Y = \alpha X^\beta \quad (7)$$

ここで、 Y は目的変数、 X は説明変数、 α および β は回帰係数である。

しかしながら、この式は、べき関数による非線形な曲線関数となっているため、このまま回帰分析を行うことはやや困難である。そこで、実際の計算では、次式のように両辺の常用対数を取ることで、回帰分析を行うのが一般的である。

$$\log Y = a + b \log X \quad (8)$$

ここで、 Y は目的変数、 X は説明変数、 a および b は直線回帰係数であり、それぞれ $a = \log \alpha$ および $b = \beta$ である。この式は、一次関数による線形な直線関数となっているため、非常に簡便に回帰分析を行うことができる。また、回帰式周りの分布形を考える場合に、その標準偏差も対数値について算定されるため、船舶の大きさ（トン数）に対

して単純増加となる標準偏差を得ることができるという特徴がある。

この直線回帰分析では、 A および B をそれぞれ a および b の推計値とすると、以下の式により回帰係数の推計値を算定することができる。

$$A = \left(\sum_{i=1}^n \log y_i - \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \sum_{i=1}^n \log x_i \right) / n \quad (9)$$

$$B = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \log x_i \log y_i - \sum_{i=1}^n \log x_i \sum_{i=1}^n \log y_i \right)}{\left\{ n \sum_{i=1}^n (\log x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \log x_i \right)^2 \right\}} \quad (10)$$

ここで、 x および y は変数、 S_{xx} は変数 x の分散、 S_{xy} は変数 x 、 y の共分散、 n はデータの個数である。

また、回帰式周りの分布形は、次式により求めることができる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{S_e}{n-2}} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left(S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} \right)} \quad (11)$$

ここで、 σ は直線回帰式周りの誤差の標準偏差、 S_e は直線回帰式周りの分散、 S_{xx} は変数 x の分散、 S_{yy} は変数 y の分散、 S_{xy} は変数 x 、 y の共分散、 n はデータの個数である。

また、回帰式の有効性を評価するために、相関係数を算定する。相関係数は次式により求めることができる。

$$R = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}} \quad (12)$$

ここで、 R は相関係数、 S_{xx} は変数 x の分散、 S_{yy} は変数 y の分散、 S_{xy} は変数 x 、 y の共分散である。この相関係数が1.0に近づくほど、回帰式の有効性が高いと評価することができる。本研究では、相関係数が0.8以上の場合において、回帰式の有効性が高いと判断することとした（高橋ら、2006）。

4.3 回帰式のカバー率別評価

回帰分析で求められる回帰式は、統計量の平均的性質、すなわち平均値を意味するものである。したがって、ある船舶の大きさに対して50%の船舶は回帰分析で得られた平均的諸元よりも大きな値を持っている。このため、船舶の載貨重量トン数（DWT）または総トン数（GT）と船舶

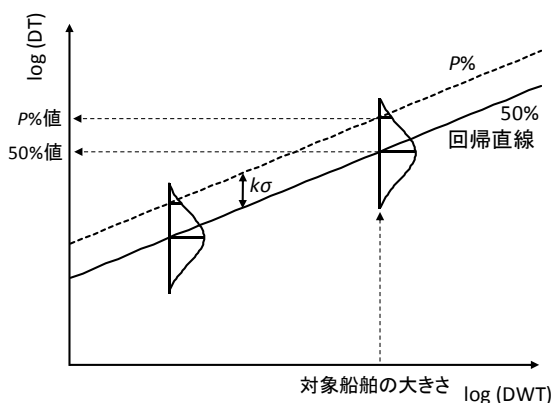


図-4.1 回帰式とカバー率の関係

の排水量 (DT) との回帰式を計算する際には、確率統計的にできるだけ多くの船舶を含有するように回帰式を決定する方がより安全側に評価することになる。すなわち、船舶の排水量の推定において、50%の船舶を含む平均的な回帰式を用いるよりも 75%程度の船舶を含む回帰式の方が、また 95%程度の船舶を含む回帰式の方がさらに船舶の排水量を大きめに算定することになる。このように、ある船舶の大きさに対して $P\%$ の船舶を含有する回帰式のことを、カバー率 (あるいは信頼度) $P\%$ に対する回帰式と呼ぶ。

ここで、カバー率とは、回帰式周りのデータ分布から推定される確率分布形の累積確率にあたり、例えば、カバー率 75%の排水量とは、その値以下の排水量をとる確率が 75%であることを意味する。すなわち、カバー率とは、回帰分析における信頼水準を表現している。

図-4.1 は、回帰分析により求められる平均的な回帰式とカバー率 $P\%$ に対する回帰式との関係を模式図で示したものである。この図では、両対数軸上における船舶の載貨重量トン数 (DWT) と排水量 (DT) が線形 (直線) 回帰されている。対象船舶の大きさ (載貨重量トン数 (DWT)) に対する船舶の排水量 (DT) は、回帰直線を用いると平均値 (50%値) を得ることができる。一方、回帰直線周りの分布形を仮定すると、例えば、カバー率 $P\%$ を考慮した船舶の排水量 (DT) の $P\%$ 値を得ることができる。このときの回帰直線周りの分布形は、実際のデータと回帰直線との誤差の分布を表しており、一般的に正規分布により

表-4.1 平行移動量とカバー率

カバー率 P	50%	60%	75%	90%	95%	99%
パラメータ k	0.000	0.253	0.674	1.282	1.645	2.326

近似される。この分布形を用いることにより、任意のカバー率 $P\%$ に対する回帰式を求めることができる。この回帰直線周りの誤差の分布形は、全てのデータの回帰直線からの誤差の分散により一意に決定される。両対数軸上においては、このカバー率 $P\%$ に対する直線は、回帰直線を平行移動したものになる。

分布形が正規分布の場合には、直線の平行移動量 $k\sigma$ のパラメータ k とカバー率 $P\%$ との関係は、表-4.1 のようになる。ここで、 σ は回帰直線周りの誤差の標準偏差である。このように、カバー率 $P\%$ に対する回帰式を求める場合には、この表を利用して回帰直線を単に $k\sigma$ ほど平行移動させた直線を計算すればよいことになる。

5. 満載排水量の回帰式の計算結果

5.1 概要

船舶の排水量回帰式の計算で得られた結果について、満載排水量について船種ごとに取りまとめて表示して考察する。船種は 10 種類であり、貨物船、コンテナ船およびタンカーの 3 船種に対しては、船舶の載貨重量トン数 (DWT) と満載排水量 (DT_F) の回帰式を求めている。また、これら以外の RORO 船、PCC 船、LPG 船、LNG 船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーの 7 船種に対しては、総トン数 (GT) と満載排水量 (DT_F) の回帰式を求めている。

5.2 満載排水量の回帰式の考察

算定した船舶の満載排水量の回帰式について、貨物船、コンテナ船、タンカー、RORO 船、PCC 船、LPG 船、LNG 船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーの順に掲載して基本統計量および回帰式の特徴について考察する。

船種ごとにカバー率別回帰係数、相関係数および標準偏差を表にして表示する。また、船種ごとに船舶の載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT) と船舶の満載排水量 (DT_F) とのカバー率別回帰式を満載排水量データとともにグラフとして表示する。回帰式を求めるためのカバー率は、50%、75%、90%および 95%の 4 種類である。ここで、カバー率別回帰係数とは、べき関数による曲線回帰式の回帰係数 (α および β) のことである。一方、相関係数および標準偏差は、両対数軸上における直線回帰式に対するものである。

(1) 貨物船

表-5.1は、貨物船の満載排水量(DT_F)と載貨重量トン数(DWT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.1は、貨物船の載貨重量トン数(DWT)に対する満載排水量(DT_F)のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

貨物船の載貨重量トン数に対する満載排水量のデータは、ほぼ線形に分布しており、カバー率50%の回帰式に対する相関係数も0.993となることから非常に強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。また、満載排水量のデータは、約50,000DWT以下の貨物船に対しては若干ばらつきがあるものの、約50,000DWT以上の貨物船に対してはカバー率75%の回帰式の付近に分布している。一方、標準偏差は0.073であり、カバー率別の回帰式の変動はやや大きくなっている。貨物船のデータ総数は1,121であり、満載排水量データの分布も考慮すれば、十分な回帰分析の精度が得られていると考えられる。

表-5.1 回帰係数および基本統計量 (貨物船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	2.609	0.924	0.993	0.073
75%	2.920	0.924		
90%	3.232	0.924		
95%	3.434	0.924		

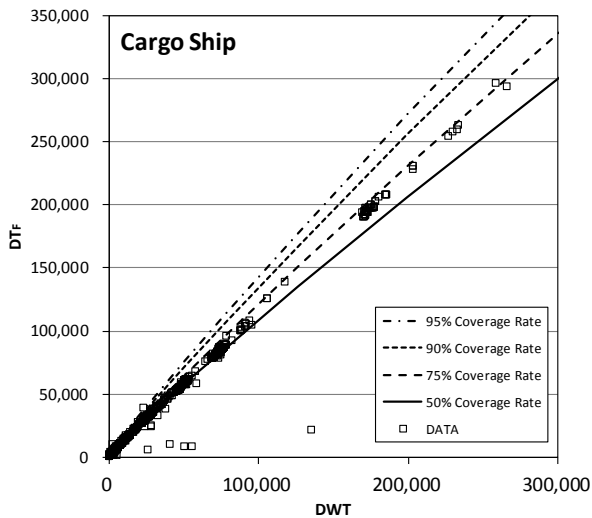


図-5.1 載貨重量トン数と満載排水量の関係 (貨物船)

(2) コンテナ船

表-5.2は、コンテナ船の満載排水量(DT_F)と載貨重量トン数(DWT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.2は、コンテナ船の載貨重量トン数(DWT)に対する満載排水量(DT_F)のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

コンテナ船の載貨重量トン数に対する満載排水量のデータは、概ね線形に分布しており、カバー率50%の回帰式に対する相関係数も0.996となることから非常に強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。また、満載排水量のデータは、全体的にカバー率50%の回帰式の付近に分布しているが、概ねカバー率75%の回帰式までに含まれるものが多くある。一方、標準偏差は0.029であり、カバー率別の回帰式の変動はとて小さい。コンテナ船のデータ総数は236であり、貨物船と比べるとデータ数が少ないものの、十分な回帰分析の精度が得られていると考えられる。

表-5.2 回帰係数および基本統計量 (コンテナ船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	1.563	0.986	0.996	0.029
75%	1.634	0.986		
90%	1.702	0.986		
95%	1.743	0.986		

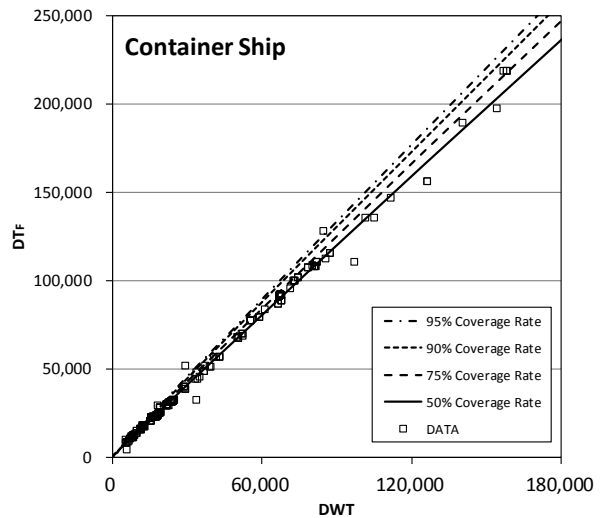


図-5.2 載貨重量トン数と満載排水量の関係 (コンテナ船)

(3) タンカー

表-5.3 は、タンカーの満載排水量 (DT_F) と載貨重量トン数 (DWT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.3 は、タンカーの載貨重量トン数 (DWT) に対する満載排水量 (DT_F) のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

タンカーの載貨重量トン数に対する満載排水量のデータは、3 か所に集中的に団子状に固まって分布しており、カバー率 50%の回帰式に対する相関係数は 0.916 と貨物船やコンテナ船の場合と比べて小さくなっている。しかし、相関係数は 0.9 以上であることから、回帰式の有効性は高いと言える。また、満載排水量のデータは、下方に大きく外れているものもあるが、概ねカバー率 50~75%の回帰式の付近に分布している。一方、標準偏差は 0.082 であり、カバー率別の回帰式の変動はやや大きい。これらのことから、タンカーのデータ総数は 310 と十分な量であるが、回帰分析の精度は若干低いと考えられる。

表-5.3 回帰係数および基本統計量 (タンカー)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	1.486	0.976	0.916	0.082
75%	1.688	0.976		
90%	1.894	0.976		
95%	2.029	0.976		

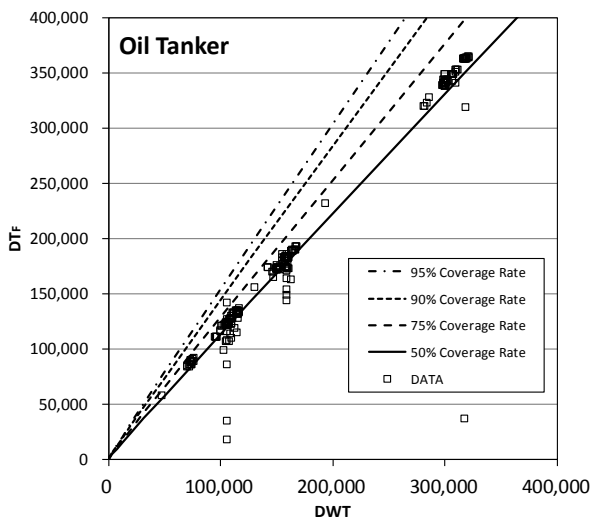


図-5.3 載貨重量トン数と満載排水量の関係 (タンカー)

(4) RORO船

表-5.4 は、RORO 船の満載排水量 (DT_F) と総トン数 (GT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.4 は、RORO 船の総トン数 (GT) に対する満載排水量 (DT_F) のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

RORO 船の総トン数に対する満載排水量のデータは、全体的にばらついて分布しているが、カバー率 50%の回帰式に対する相関係数は 0.948 となることから強い相関があり、回帰式の有効性は高いと言える。また、満載排水量のデータは、概ねカバー率 90%の回帰式よりも小さい範囲に分布しているが、カバー率 95%の回帰式よりも上方に位置するものもある。一方、標準偏差は 0.108 であり、カバー率別の回帰式の変動は大きいことがわかる。RORO 船のデータ総数は 35 と少ないが、相関係数の値と考えると、ある程度の回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-5.4 回帰係数および基本統計量 (RORO 船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	7.377	0.790	0.948	0.108
75%	8.728	0.790		
90%	10.159	0.790		
95%	11.123	0.790		

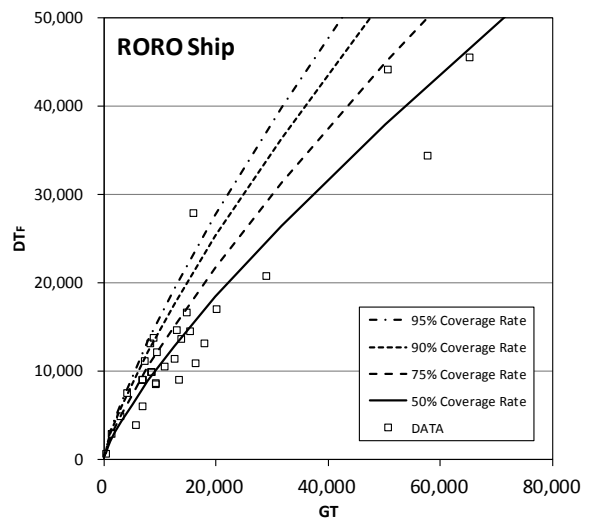


図-5.4 総トン数と満載排水量の関係 (RORO 船)

(5) PCC船

表-5.5は、PCC船の満載排水量(DT_F)と総トン数(GT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.5は、PCC船の総トン数(GT)に対する満載排水量(DT_F)のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

PCC船の総トン数に対する満載排水量のデータは、40,000~60,000GTのPCC船に対して多く分布したばらつきのあるものとなっている。一方で、カバー率50%の回帰式に対する相関係数は0.978となることから強い相関を示しており、回帰式の有効性は非常に高いと言える。また、満載排水量のデータは、カバー率50%の回帰式の周辺に分布しており、カバー率75%の回帰式以下に大半が位置している。一方、標準偏差は0.029であり、カバー率別の回帰式の変動はとて小さい。PCC船のデータ総数は61と少ないが、相関係数の値と考え合わせると、概ね十分な回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-5.5 回帰係数および基本統計量 (PCC船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	1.861	0.898	0.978	0.029
75%	1.946	0.898		
90%	2.027	0.898		
95%	2.077	0.898		

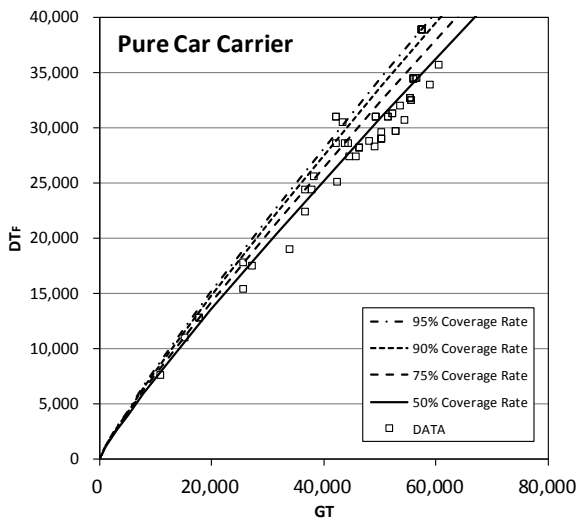


図-5.5 総トン数と満載排水量の関係 (PCC船)

(6) LPG船

表-5.6は、LPG船の満載排水量(DT_F)と総トン数(GT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.6は、LPG船の総トン数(GT)に対する満載排水量(DT_F)のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

LPG船の総トン数に対する満載排水量のデータは、3か所にある程度固まって分布しているが、相関係数は0.970となることから強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。また、満載排水量のデータは、全体的に見てカバー率50~75%の回帰式の付近に分布しており、特に10,000GT以下のLPG船に対して分布が密になっている。一方、標準偏差は0.120であり、カバー率別の回帰式の変動はとて大きいことがわかる。LPG船のデータ総数は42と少ないが、相関係数の値と考え合わせると、概ね十分な回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-5.6 回帰係数および基本統計量 (LPG船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	3.543	0.914	0.970	0.120
75%	4.268	0.914		
90%	5.048	0.914		
95%	5.581	0.914		

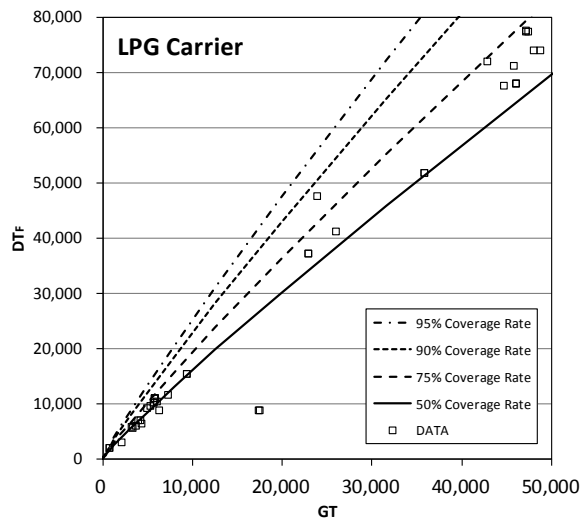


図-5.6 総トン数と満載排水量の関係 (LPG船)

(7) LNG船

表-5.7は、LNG船の満載排水量(DT_F)と総トン数(GT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.7は、LNG船の総トン数(GT)に対する満載排水量(DT_F)のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

LNG船の総トン数に対する満載排水量のデータは、約100,000GTのLNG船に対して集中して分布しており、それ以外のデータは極端に少ない。すなわち、LNG船の満載排水量の回帰式は、主に100,000GTクラスのLNG船に対するデータのばらつきで決められている。カバー率50%の回帰式に対する相関係数は0.997となることから非常に強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。また、標準偏差は0.030であり、カバー率別の回帰式の変動はとても小さい。LNG船のデータ総数は18と非常に少ないが、相関係数の値と考え合わせると、概ね十分な回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-5.7 回帰係数および基本統計量 (LNG船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	1.530	0.970	0.997	0.030
75%	1.601	0.970		
90%	1.669	0.970		
95%	1.711	0.970		

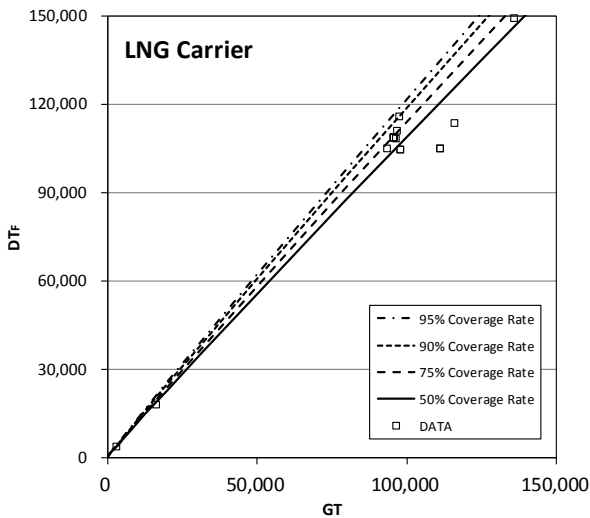


図-5.7 総トン数と満載排水量の関係 (LNG船)

(8) 旅客船

表-5.8は、旅客船の満載排水量(DT_F)と総トン数(GT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.8は、旅客船の総トン数(GT)に対する満載排水量(DT_F)のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

旅客船の総トン数に対する満載排水量のデータは、約170,000GTの旅客船に対してまで概ね一様にカバー率50%の回帰式の付近に分布している。これは、ヒアリング調査によるクルーズ船の満載排水量データを追加したことによる。また、カバー率50%の回帰式に対する相関係数は0.992となることから非常に強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。一方、標準偏差は0.101であり、カバー率別の回帰式の変動は大きいことがわかる。旅客船のデータ総数は38と少ないが、相関係数の値と考え合わせると、概ね十分な回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-5.8 回帰係数および基本統計量 (旅客船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	2.333	0.871	0.992	0.101
75%	2.730	0.871		
90%	3.146	0.871		
95%	3.424	0.871		

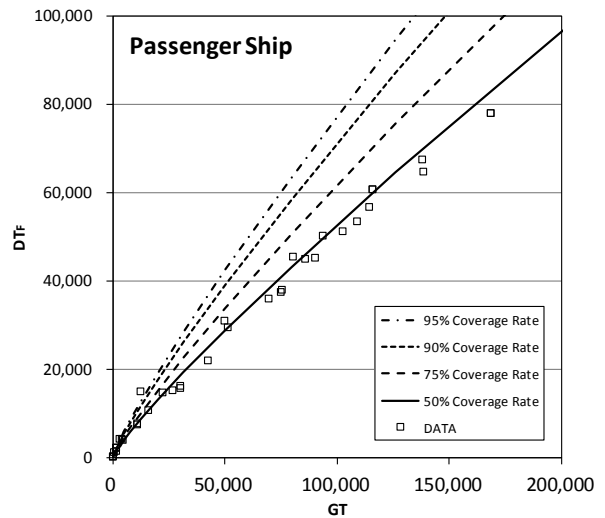


図-5.8 総トン数と満載排水量の関係 (旅客船)

(9) 中短距離フェリー

表-5.9 は、中短距離フェリーの満載排水量 (DT_F) と総トン数 (GT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.9 は、中短距離フェリーの総トン数 (GT) に対する満載排水量 (DT_F) のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

中短距離フェリーの総トン数に対する満載排水量のデータは、約 4,000GT 以下のフェリーに対してはカバー率 90%の回帰式以下に分布し、約 4,000GT 以上のフェリーに対してはカバー率 75%の回帰式以下に分布している。また、カバー率 50%の回帰式に対する相関係数は 0.905 であり、10 船種の中で最も小さい値を示している。しかし、相関係数は 0.9 以上であることから、回帰式の有効性は高いと言える。一方、標準偏差は 0.113 であり、カバー率別の回帰式の変動は大きい。中短距離フェリーのデータ総数は 54 と少なく、相関係数の値も小さいことから、10 船種の中で回帰分析の精度は最も低いと考えられる。

表-5.9 回帰係数および基本統計量 (中短距離フェリー)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	4.179	0.855	0.905	0.113
75%	4.980	0.855		
90%	5.834	0.855		
95%	6.411	0.855		

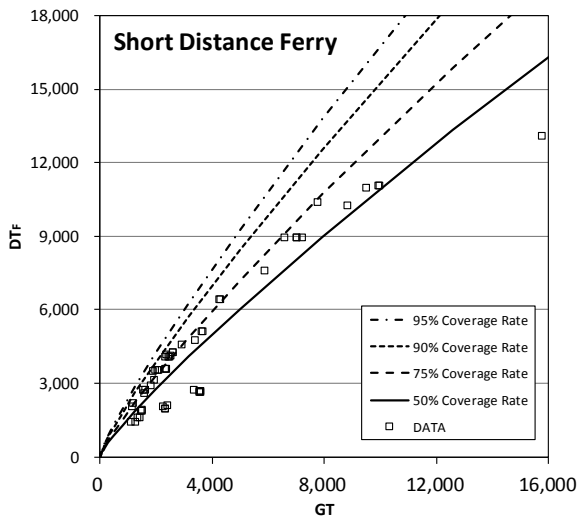


図-5.9 総トン数と満載排水量の関係 (中短距離フェリー)

(10) 長距離フェリー

表-5.10 は、長距離フェリーの満載排水量 (DT_F) と総トン数 (GT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-5.10 は、長距離フェリーの総トン数 (GT) に対する満載排水量 (DT_F) のカバー率別回帰式を満載排水量データとともに示したものである。

長距離フェリーの総トン数に対する満載排水量のデータは、全体的にばらついており、カバー率 90%の回帰式以下に位置するものが多いことがわかる。一方で、カバー率 50%の回帰式に対する相関係数は 0.972 となることから強い相関を示しており、回帰式の有効性は非常に高いと言える。また、標準偏差は 0.040 であり、カバー率別の回帰式の変動はかなり小さくなっている。長距離フェリーのデータ総数は 32 と少ないが、相関係数の値と考え合わせると、概ね十分な回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-5.10 回帰係数および基本統計量 (長距離フェリー)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	14.482	0.735	0.972	0.040
75%	15.409	0.735		
90%	16.296	0.735		
95%	16.850	0.735		

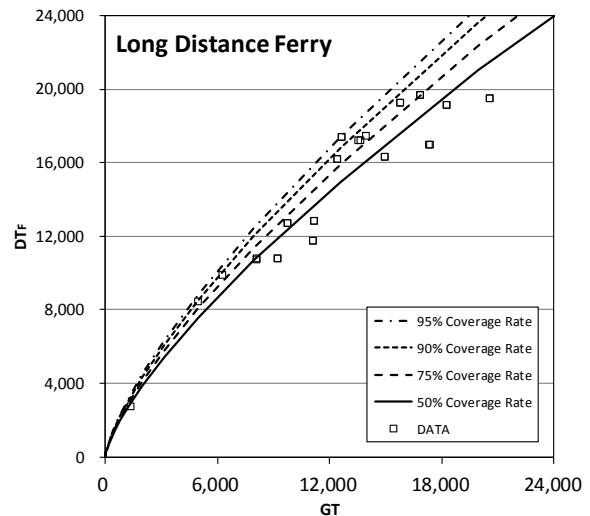


図-5.10 総トン数と満載排水量の関係 (長距離フェリー)

5.3 現行技術基準の回帰式との比較

現行技術基準には、船舶の満載時の排水量の算定式として以下の式が提示されている。

・貨物船 $DT_F = 1.174DWT$ (13)

・コンテナ船 $DT_F = 1.385DWT$ (14)

・タンカー $DT_F = 1.235DWT$ (15)

・RORO 船 $DT_F = 1.022GT$ (16)

・PCC 船 $DT_F = 0.751GT$ (17)

・LPG 船 $DT_F = 1.400GT$ (18)

・LNG 船 $DT_F = 1.118GT$ (19)

・旅客船 $DT_F = 0.573GT$ (20)

・中短距離フェリー $DT_F = 1.279GT$ (21)

・長距離フェリー $DT_F = 1.240GT$ (22)

ここで、 DT_F は船舶の満載排水量 (t)、 GT は船舶の総トン数 (トン)、 DWT は船舶の載貨重量トン数 (トン) である。

これらの式は、船舶の載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT) と船舶の満載排水量 (DT_F) との関係が線形回帰式で表現できるとの仮定の基に、両者の関係をカバー率 75%の回帰式として定式化したものである。

図-5.11～図-5.20は、それぞれ10船種に対して現行技術基準における回帰式と本研究で算定したカバー率 75%の回帰式を比較して示したものである。これらの図を見ると、貨物船、コンテナ船、タンカーおよびLNG船については、現行技術基準における回帰式と本研究で算定したカバー率 75%の回帰式は、非常に良く一致していることがわかる。また、RORO船、PCC船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーについても回帰式の形状

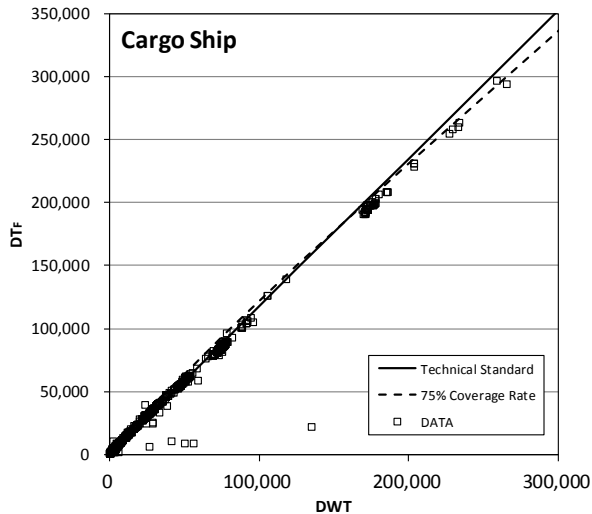


図-5.11 技術基準の回帰式との比較 (貨物船)

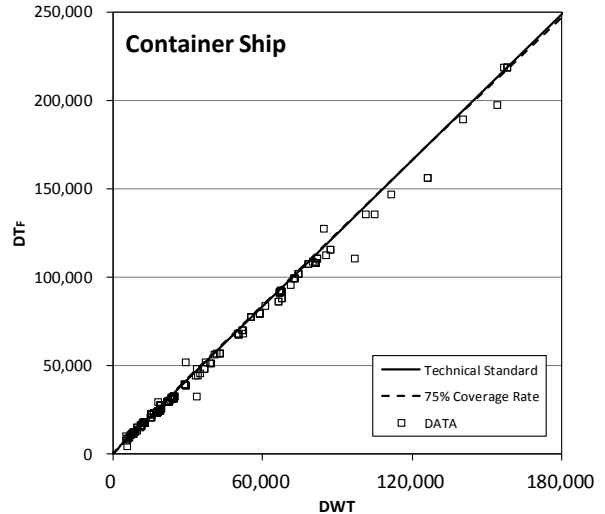


図-5.12 技術基準の回帰式との比較 (コンテナ船)

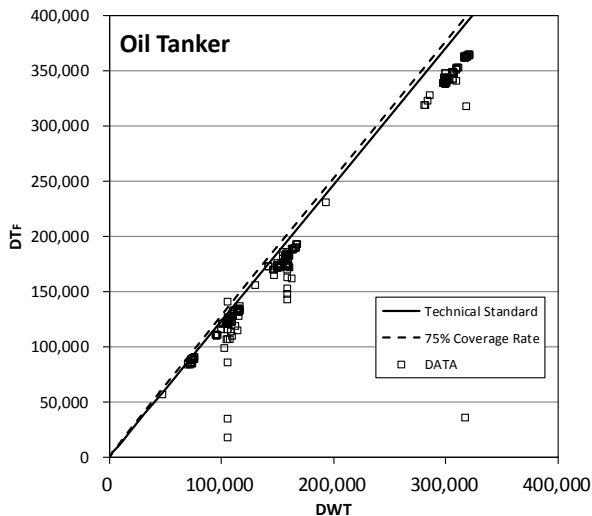


図-5.13 技術基準の回帰式との比較 (タンカー)

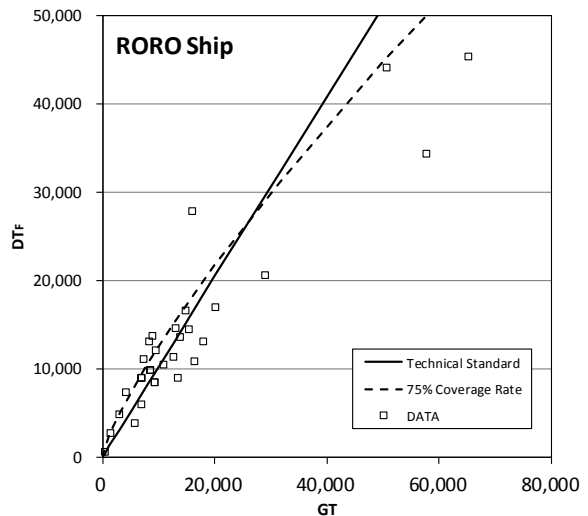


図-5.14 技術基準の回帰式との比較 (RORO 船)

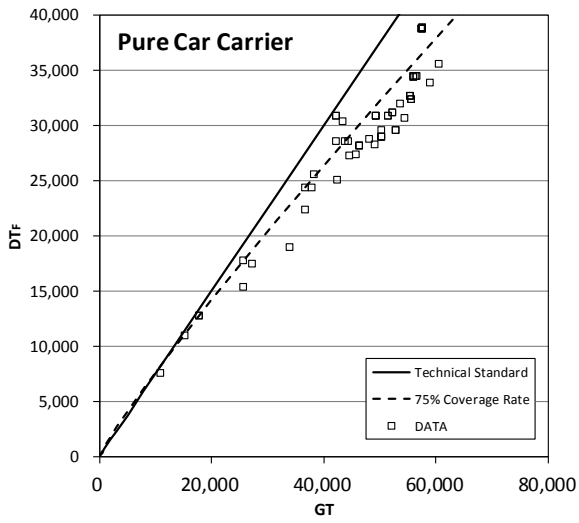


図-5.15 技術基準の回帰式との比較 (PCC 船)

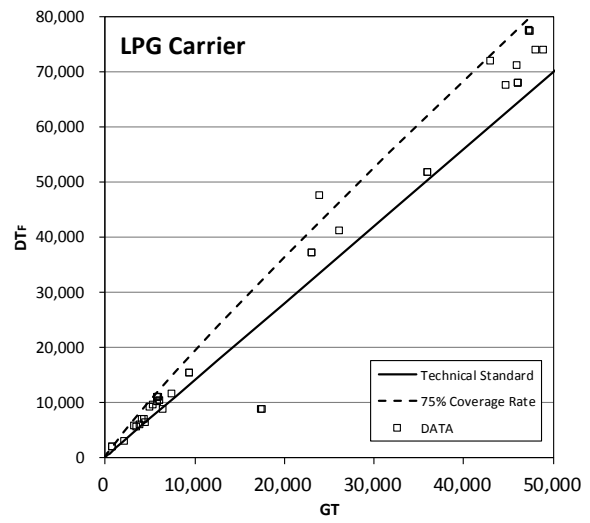


図-5.16 技術基準の回帰式との比較 (LPG 船)

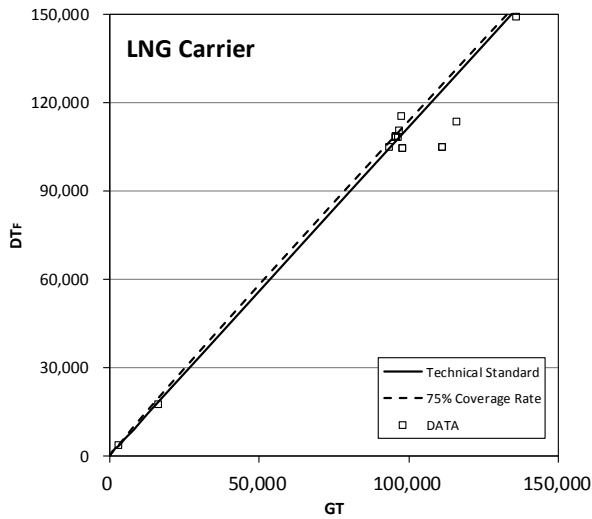


図-5.17 技術基準の回帰式との比較 (LNG 船)

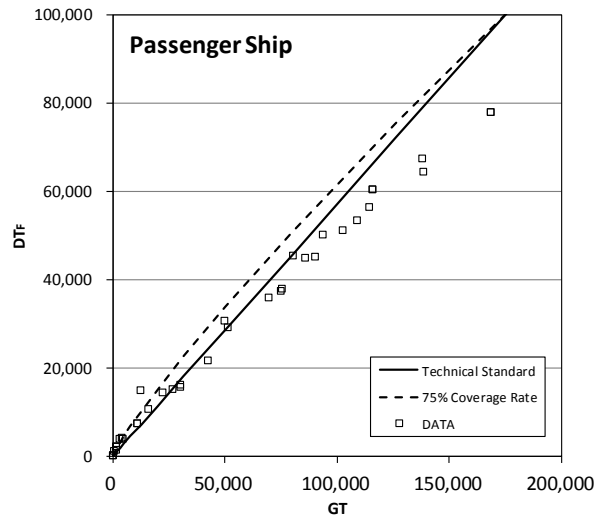


図-5.18 技術基準の回帰式との比較 (旅客船)

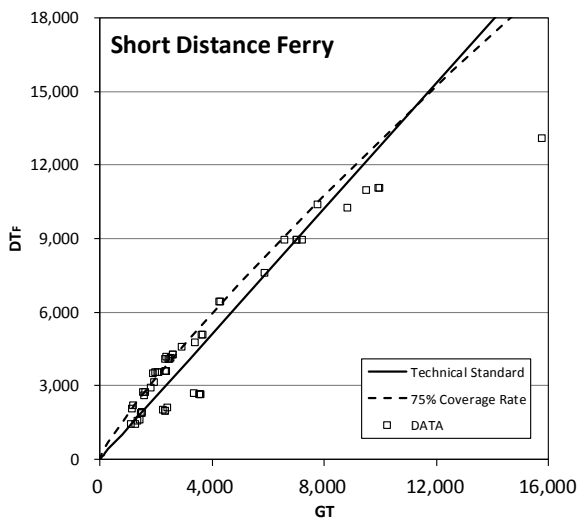


図-5.19 技術基準の回帰式との比較 (中短距離フェリー)

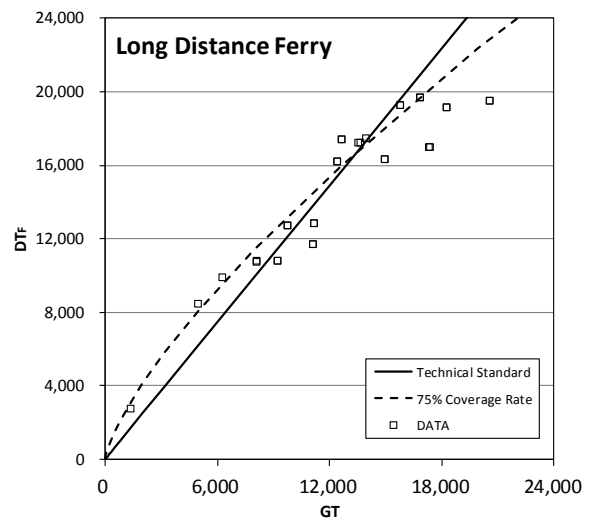


図-5.20 技術基準の回帰式との比較 (長距離フェリー)

が直線あるいは曲線といった相違はあるものの、両者は概ね一致している。一方、LPG 船については、両者の差異が大きく、本研究で算定した回帰式の方が大きい満載排水量を推定することになる。これらの傾向は、現行技術基準における回帰式を算定したときの船舶の諸元データと本研究で用いた船舶の諸元データが異なっていることと、回帰分析の方法が直線回帰と曲線（べき関数）回帰のように異なっていることが原因と考えられる。しかし、全体的に見ると、当然のことながら、曲線（べき関数）回帰に基づいた回帰式の方が船舶の満載排水量データの分布により整合していると言える。以上のことから、本研究で算定したカバー率 75%の満載排水量の回帰式を用いて、船舶の満載排水量を算定することは妥当であると考えられる。

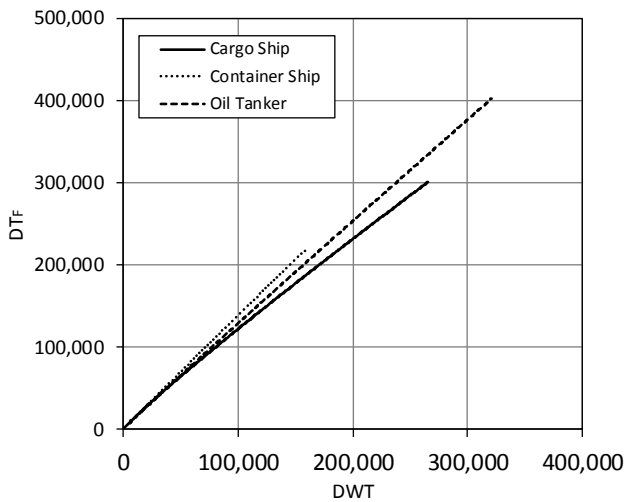


図-5.21 船種ごとの満載排水量の回帰式の比較
(貨物船, コンテナ船, タンカー)

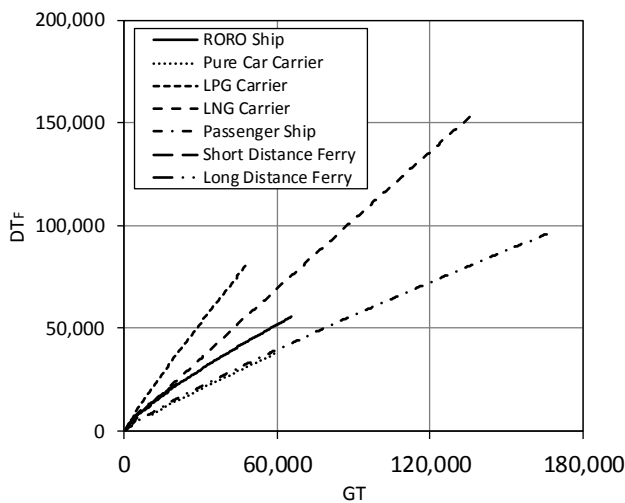


図-5.22 船種ごとの満載排水量の回帰式の比較
(RORO 船, PCC 船, LPG 船, LNG 船,
旅客船, 中短距離フェリー, 長距離フェリー)

5.4 船種ごとの満載排水量の回帰式の比較

船舶の載貨重量トン数 (DWT) あるいは総トン数 (GT) と船舶の満載排水量 (DT_F) との回帰式について、ここでは船種ごとの満載排水量の回帰式を相互に比較する。

図-5.21 は、貨物船、コンテナ船およびタンカーの載貨重量トン数 (DWT) に対するカバー率 75%の満載排水量 (DT_F) の回帰式を比較して示す。また、図-5.22 は、RORO 船、PCC 船、LPG 船、LNG 船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーの総トン数 (GT) に対するカバー率 75%の満載排水量 (DT_F) の回帰式を比較して示す。さらに、図-5.23 は、図-5.22 の横軸が 30,000GT 以下の部分を拡大して示したものである。貨物船、コンテナ船およびタンカーについては、100,000DWT 以下の船舶に対しては回帰式の相違はほとんどないが、それ以上の船舶に対しては貨物船、タンカー、コンテナ船の順に満載排水量を小さめに推定する回帰式となっている。ただし、いずれの船舶に対しても全体的に見れば、満載排水量の回帰式の差異は大きくはない。一方、RORO 船、PCC 船、LPG 船、LNG 船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーについては、PCC 船と旅客船、RORO 船と中短距離フェリーと長距離フェリーがそれぞれ同じような傾向の回帰式となっているが、LPG 船および LNG 船に対する回帰式はこれらとは異なっている。同じ総トン数の船舶に対して、最も大きい満載排水量を推定するのは LPG 船の回帰式、また最も小さい満載排水量を推定するのは PCC 船および旅客船の回帰式であり、その差は約 2~3 倍である。このような回帰式の特徴は、船舶の船型、すなわち船舶が運搬している貨物の種類に大きく依存すると考えられる。

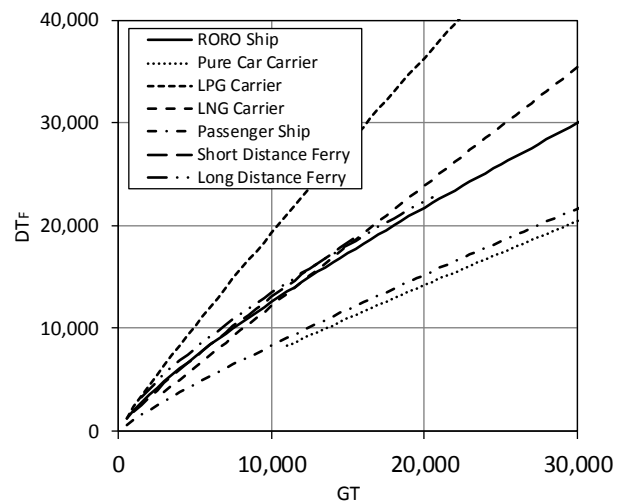


図-5.23 船種ごとの満載排水量の回帰式の比較
(図-5.22 の 30,000GT 以下の部分の拡大図)

5.5 満載排水量の回帰式の提案

船種ごとの船舶の載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT) と船舶の満載排水量 (DT_F) との回帰式の計算結果として、カバー率 75%に対する回帰係数および基本統計量の一覧を表-5.11 に示す。相関係数については、全ての船種に対する回帰式について 0.9 以上であり、満載排水量の回帰式の有効性は高いと言える。また、回帰式周りの誤差の標準偏差については、約 0.03~0.12 の範囲にあり、船種ごとに大きく異なっている。

カバー率 75%に対する船舶の満載排水量の回帰式を以下に示す。本研究では、これらの回帰式を船舶の接岸エネルギーを求める際に用いる船舶の満載時の排水量の算定式として提案する。

$$\cdot \text{貨物船} \quad DT_F = 2.920DWT^{0.924} \quad (23)$$

$$\cdot \text{コンテナ船} \quad DT_F = 1.634DWT^{0.986} \quad (24)$$

$$\cdot \text{タンカー} \quad DT_F = 1.688DWT^{0.976} \quad (25)$$

$$\cdot \text{RORO 船} \quad DT_F = 8.728GT^{0.790} \quad (26)$$

$$\cdot \text{PCC 船} \quad DT_F = 1.946GT^{0.898} \quad (27)$$

$$\cdot \text{LPG 船} \quad DT_F = 4.268GT^{0.914} \quad (28)$$

$$\cdot \text{LNG 船} \quad DT_F = 1.601GT^{0.970} \quad (29)$$

$$\cdot \text{旅客船} \quad DT_F = 2.730GT^{0.871} \quad (30)$$

$$\cdot \text{中短距離フェリー} \quad DT_F = 4.980GT^{0.855} \quad (31)$$

$$\cdot \text{長距離フェリー} \quad DT_F = 15.409GT^{0.735} \quad (32)$$

ここで、 DT_F は船舶の満載排水量 (t)、 GT は船舶の総トン数 (トン)、 DWT は船舶の載貨重量トン数 (トン) である。

これらの式を用いることにより、船種ごとに、船舶の載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT) から船舶の満載排水量 (DT_F) を算定することができる。

6. 空載排水量の回帰式の計算結果

6.1 概要

船舶の排水量回帰式の計算で得られた結果について、空載排水量について船種ごとに取りまとめて表示して考察する。船種は 10 種類であり、貨物船、コンテナ船およびタンカーの 3 船種に対しては、船舶の載貨重量トン数 (DWT) と空載排水量 (DT_B) の回帰式を求めている。また、これら以外の RORO 船、PCC 船、LPG 船、LNG 船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーの 7 船種に対しては、総トン数 (GT) と空載排水量 (DT_B) の回帰式を求めている。

6.2 空載排水量の回帰式の考察

算定した船舶の空載排水量の回帰式について、貨物船、コンテナ船、タンカー、RORO 船、PCC 船、LPG 船、LNG 船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーの順に掲載して基本統計量および回帰式の特徴について考察する。

船種ごとにカバー率別回帰係数、相関係数および標準偏差を表にして表示する。また、船種ごとに船舶の載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT) と船舶の空載排水量 (DT_B) とのカバー率別回帰式を空載排水量データとともにグラフとして表示する。回帰式を求めるためのカバー率は、50%、75%、90%および 95%の 4 種類である。ここで、カバー率別回帰係数とは、べき関数による曲線回帰式の回帰係数 (α および β) のことである。一方、相関係数および標準偏差は、両対数軸上における直線回帰式に対するものである。

表-5.11 回帰係数および基本統計量の一覧 (満載排水量)

船種	船舶数	回帰係数(カバー率75%)		相関係数	標準偏差
	N	α	β		
貨物船	1,121	2.920	0.924	0.993	0.073
コンテナ船	236	1.634	0.986	0.996	0.029
タンカー	310	1.688	0.976	0.916	0.082
RORO船	35	8.728	0.790	0.948	0.108
PCC船	61	1.946	0.898	0.978	0.029
LPG船	42	4.268	0.914	0.970	0.120
LNG船	18	1.601	0.970	0.997	0.030
旅客船	38	2.730	0.871	0.992	0.101
中短距離フェリー	54	4.980	0.855	0.905	0.113
長距離フェリー	32	15.409	0.735	0.972	0.040

(1) 貨物船

表-6.1は、貨物船の空載排水量(DT_B)と載貨重量トン数(DWT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.1は、貨物船の載貨重量トン数(DWT)に対する空載排水量(DT_B)のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

貨物船の載貨重量トン数に対する空載排水量のデータは、ほぼ線形に分布しており、カバー率50%の回帰式に対する相関係数も0.993となることから非常に強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は0.079であり、カバー率別の回帰式の変動はやや大きくなっており、満載排水量の場合の標準偏差0.073よりも多少大きい値である。これらのことから、満載排水量の場合と同様に、十分な回帰分析の精度が得られていると考えられる。

表-6.1 回帰係数および基本統計量 (貨物船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	0.563	1.002	0.993	0.079
75%	0.636	1.002		
90%	0.710	1.002		
95%	0.758	1.002		

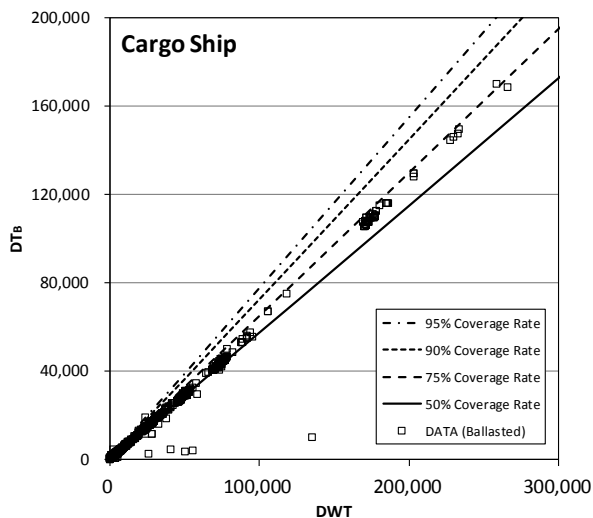


図-6.1 載貨重量トン数と空載排水量の関係 (貨物船)

(2) コンテナ船

表-6.2は、コンテナ船の空載排水量(DT_B)と載貨重量トン数(DWT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.2は、コンテナ船の載貨重量トン数(DWT)に対する空載排水量(DT_B)のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

コンテナ船の載貨重量トン数に対する空載排水量のデータは、概ね線形に分布しており、カバー率50%の回帰式に対する相関係数も0.996となることから非常に強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は0.028であり、カバー率別の回帰式の変動はとて小小さくなっており、満載排水量の場合の標準偏差0.029とほとんど変わらない。したがって、満載排水量の場合と同様に、十分な回帰分析の精度が得られていると考えられる。

表-6.2 回帰係数および基本統計量 (コンテナ船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	1.291	0.941	0.996	0.028
75%	1.348	0.941		
90%	1.401	0.941		
95%	1.433	0.941		

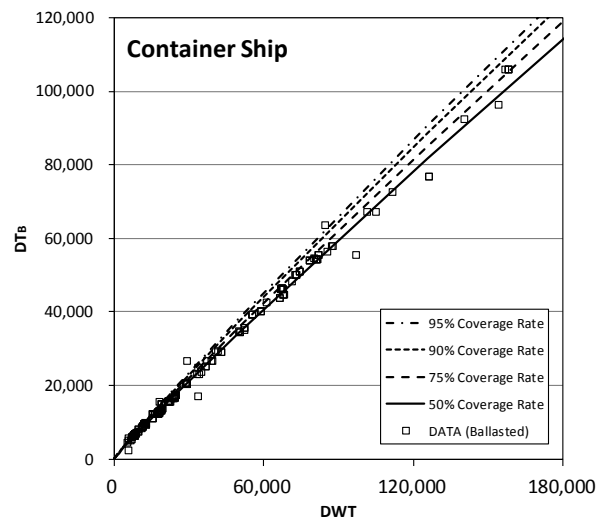


図-6.2 載貨重量トン数と空載排水量の関係 (コンテナ船)

(3) タンカー

表-6.3 は、タンカーの空載排水量 (DT_B) と載貨重量トン数 (DWT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.3 は、タンカーの載貨重量トン数 (DWT) に対する空載排水量 (DT_B) のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

タンカーの載貨重量トン数に対する空載排水量のデータは、3 か所に集中的に団子状に固まって分布しており、カバー率 50%の回帰式に対する相関係数は 0.916 となっている。しかし、相関係数は 0.9 以上であることから、回帰式の有効性は高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は 0.084 であり、カバー率別の回帰式の変動はやや大きくなっており、満載排水量の場合の標準偏差 0.082 とほとんど変わらない。以上のことから、満載排水量の場合と同様に、回帰分析の精度は若干低いと考えられる。

表-6.3 回帰係数および基本統計量 (タンカー)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	0.573	0.994	0.916	0.084
75%	0.653	0.994		
90%	0.734	0.994		
95%	0.787	0.994		

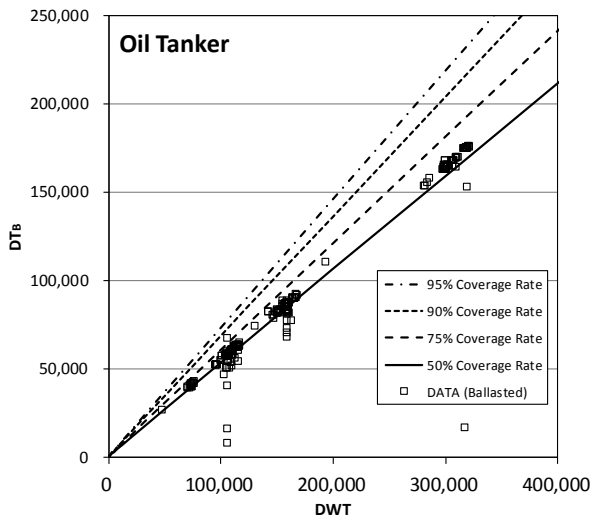


図-6.3 載貨重量トン数と空載排水量の関係 (タンカー)

(4) RORO船

表-6.4 は、RORO 船の空載排水量 (DT_B) と総トン数 (GT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.4 は、RORO 船の総トン数 (GT) に対する空載排水量 (DT_B) のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

RORO 船の総トン数に対する空載排水量のデータは、全体的にばらついて分布しているが、カバー率 50%の回帰式に対する相関係数は 0.948 となることから強い相関があり、回帰式の有効性は高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は 0.106 であり、カバー率別の回帰式の変動は大きくなっており、満載排水量の場合の標準偏差 0.108 とほとんど変わらない。以上のことから、満載排水量の場合と同様に、ある程度の回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-6.4 回帰係数および基本統計量 (RORO 船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	6.214	0.775	0.948	0.106
75%	7.329	0.775		
90%	8.506	0.775		
95%	9.297	0.775		

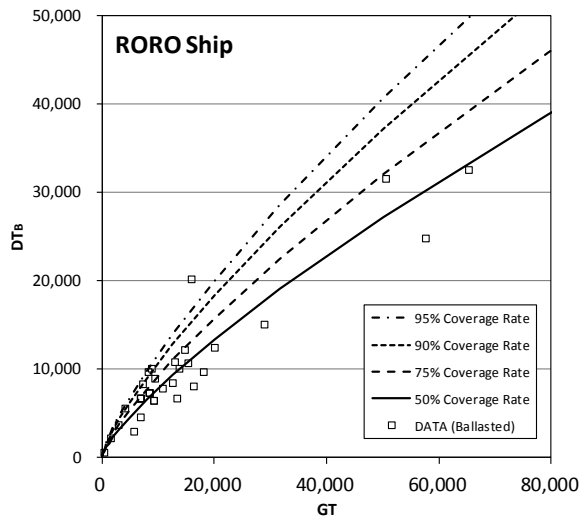


図-6.4 総トン数と空載排水量の関係 (RORO 船)

(5) PCC船

表-6.5は、PCC船の空載排水量(DT_B)と総トン数(GT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.5は、PCC船の総トン数(GT)に対する空載排水量(DT_B)のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

PCC船の総トン数に対する空載排水量のデータは、40,000~60,000GTのPCC船に対して多く分布したばらつきのあるものである。一方で、カバー率50%の回帰式に対する相関係数は0.978となることから強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は0.028であり、カバー率別の回帰式の変動はとても小さく、満載排水量の場合の標準偏差0.029とほとんど変わらない。したがって、満載排水量の場合と同様に、概ね十分な回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-6.5 回帰係数および基本統計量 (PCC船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	1.609	0.881	0.978	0.028
75%	1.682	0.881		
90%	1.750	0.881		
95%	1.792	0.881		

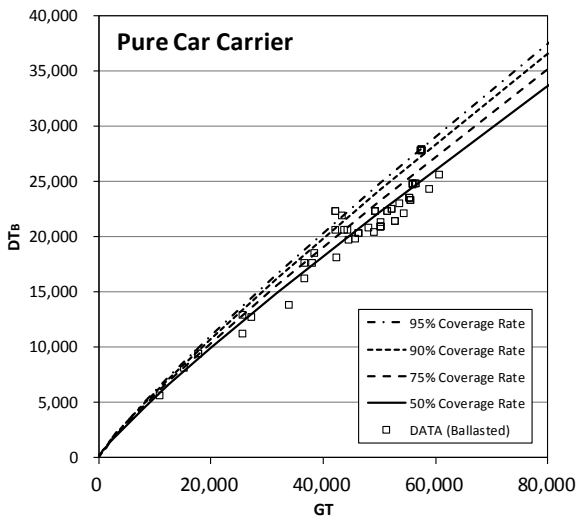


図-6.5 総トン数と空載排水量の関係 (PCC船)

(6) LPG船

表-6.6は、LPG船の空載排水量(DT_B)と総トン数(GT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.6は、LPG船の総トン数(GT)に対する空載排水量(DT_B)のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

LPG船の総トン数に対する空載排水量のデータは、3か所にある程度固まって分布しているが、相関係数は0.970となることから強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は0.122であり、カバー率別の回帰式の変動はとても大きくなっているが、満載排水量の場合の標準偏差0.120とほとんど変わらない。したがって、満載排水量の場合と同様に、概ね十分な回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-6.6 回帰係数および基本統計量 (LPG船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	1.388	0.930	0.970	0.122
75%	1.678	0.930		
90%	1.991	0.930		
95%	2.205	0.930		

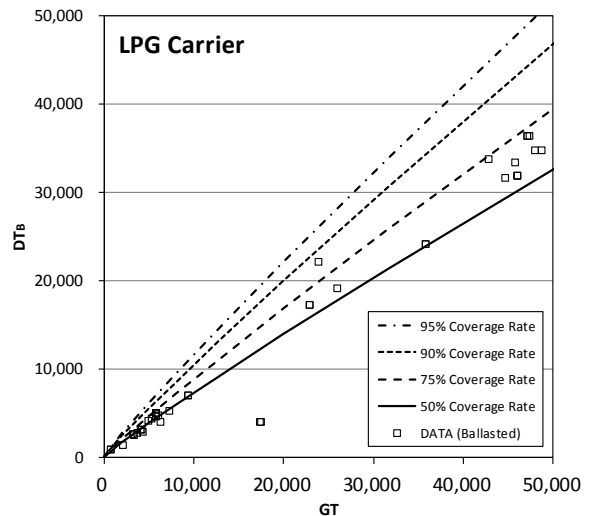


図-6.6 総トン数と空載排水量の関係 (LPG船)

(7) LNG船

表-6.7は、LNG船の空載排水量(DT_B)と総トン数(GT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.7は、LNG船の総トン数(GT)に対する空載排水量(DT_B)のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

LNG船の総トン数に対する空載排水量のデータは、約100,000GTのLNG船に対して集中して分布しており、それ以外のデータは極端に少ない。カバー率50%の回帰式に対する相関係数は0.997となることから非常に強い相関があり、回帰式の有効性は非常に高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は0.030であり、カバー率別の回帰式の変動はとても小さく、満載排水量の場合の標準偏差と全く同じである。したがって、満載排水量の場合と同様に、概ね十分な回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-6.7 回帰係数および基本統計量 (LNG船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	0.590	0.988	0.997	0.030
75%	0.619	0.988		
90%	0.645	0.988		
95%	0.662	0.988		

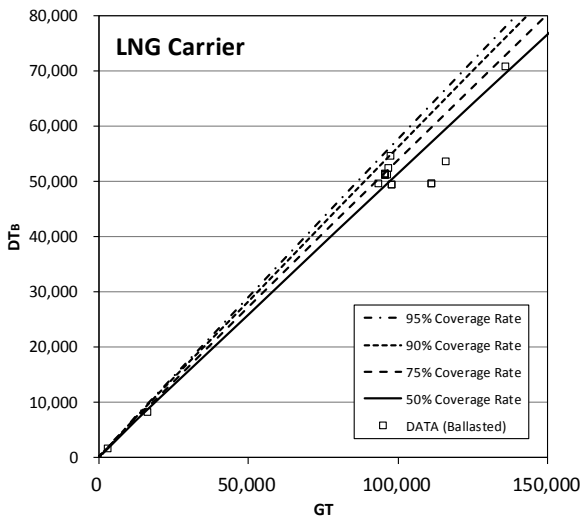


図-6.7 総トン数と空載排水量の関係 (LNG船)

(8) 旅客船

表-6.8は、旅客船の空載排水量(DT_B)と総トン数(GT)との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.8は、旅客船の総トン数(GT)に対する空載排水量(DT_B)のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

旅客船の総トン数に対する空載排水量のデータは、約170,000GTの旅客船に対してまで概ね一様にカバー率50%の回帰式の付近に分布している。また、カバー率50%の回帰式に対する相関係数は0.992となり非常に強い相関を示し、回帰式の有効性は非常に高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は0.095であり、カバー率別の回帰式の変動は大きく、満載排水量の場合の標準偏差0.101よりも多少小さい値である。よって、満載排水量の場合と同様に、概ね十分な回帰分析の精度は得られていると考えられる。

表-6.8 回帰係数および基本統計量 (旅客船)

カバー率	回帰係数		相関係数	標準偏差
	α	β		
50%	2.479	0.820	0.992	0.095
75%	2.875	0.820		
90%	3.286	0.820		
95%	3.558	0.820		

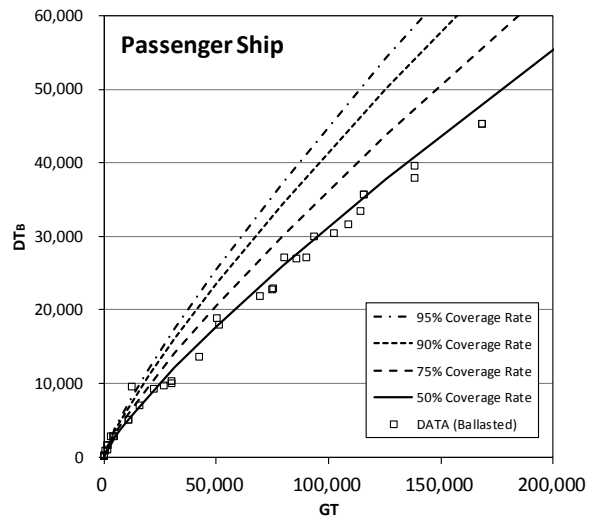


図-6.8 総トン数と空載排水量の関係 (旅客船)

(9) 中短距離フェリー

表-6.9 は、中短距離フェリーの空載排水量 (DT_B) と総トン数 (GT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.9 は、中短距離フェリーの総トン数 (GT) に対する空載排水量 (DT_B) のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

中短距離フェリーの総トン数に対する空載排水量のデータは、カバー率 75~90%の回帰式以下に分布している。また、カバー率 50%の回帰式に対する相関係数は 0.905 で、10 船種の中で最も小さい値であるが、相関係数は 0.9 以上であるため、回帰式の有効性は高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は 0.111 であり、カバー率別の回帰式の変動は大きく、満載排水量の場合の標準偏差 0.113 よりも多少小さい値である。よって、満載排水量の場合と同様に、10 船種の中で回帰分析の精度は最も低いと考えられる。

(10) 長距離フェリー

表-6.10 は、長距離フェリーの空載排水量 (DT_B) と総トン数 (GT) との回帰分析から得られた回帰係数と基本統計量を示す。また、図-6.10 は、長距離フェリーの総トン数 (GT) に対する空載排水量 (DT_B) のカバー率別回帰式を空載排水量データとともに示したものである。

長距離フェリーの総トン数に対する空載排水量のデータは、全体的にばらついて分布している。一方で、カバー率 50%の回帰式に対する相関係数は 0.972 となることから強い相関を示しており、回帰式の有効性は非常に高いと言える。相関係数は、満載排水量の場合と同じ値であり、回帰式に対する空載排水量のデータの分布も概ね同じ特徴を示している。一方、標準偏差は 0.039 であり、カバー率別の回帰式の変動はかなり小さく、満載排水量の場合の標準偏差 0.040 とほとんど変わらない。したがって、満載排水量の場合と同様に、概ね十分な回帰分析の精度は確保できていると考えられる。

表-6.9 回帰係数および基本統計量 (中短距離フェリー)

カバー率	回帰係数		相関係数 R	標準偏差 σ
	α	β		
50%	3.559	0.838	0.905	0.111
75%	4.227	0.838		
90%	4.936	0.838		
95%	5.415	0.838		

表-6.10 回帰係数および基本統計量 (長距離フェリー)

カバー率	回帰係数		相関係数 R	標準偏差 σ
	α	β		
50%	12.044	0.721	0.972	0.039
75%	12.800	0.721		
90%	13.523	0.721		
95%	13.974	0.721		

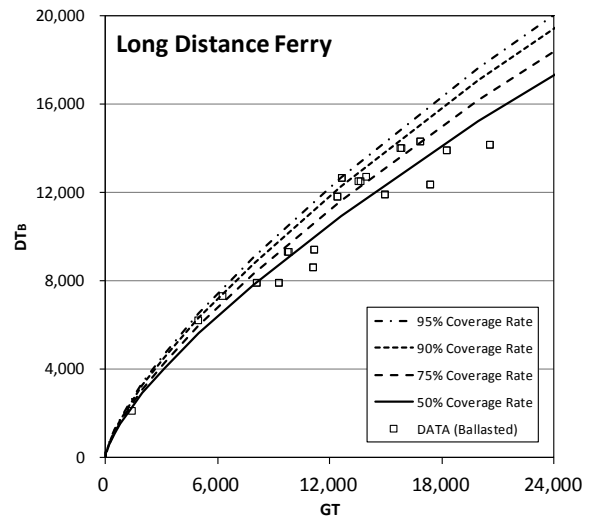
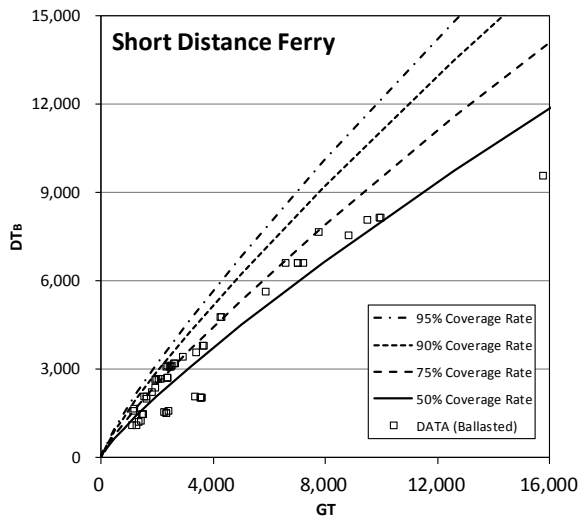


図-6.9 総トン数と空載排水量の関係 (中短距離フェリー)

図-6.10 総トン数と空載排水量の関係 (長距離フェリー)

(11) まとめ

船舶の空載排水量の回帰式について、貨物船、コンテナ船、タンカー、RORO船、PCC船、LPG船、LNG船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーの10種類の船種に対して提示して考察した。ここに示した船舶の空載排水量データに関する回帰分析結果の統計的特徴は、船舶の満載排水量データのものとはほぼ一致している。これは、空載排水量の回帰式の算定において、満載排水量の回帰式を算定したときと同じ船舶諸元データを使用していることと、満載排水量のデータを空載排水量のデータに変換する際に、船舶の満載時排水量と空船時排水量との回帰式(寺内ら, 1980)による1次変換を行っていることが原因である。元の船舶諸元データが同一であり、満載排水量から空載排水量へのデータ変換を1次変換としていることにより、満載排水量の場合と空載排水量の場合

とで排水量データのばらつきに関する統計的特徴がほぼ一致することになる。ただし、排水量データの変換に用いた回帰式が曲線(べき関数)回帰式であることから、回帰式周りの誤差の標準偏差については、満載排水量の場合と空載排水量の場合で多少異なった値となっている。なお、当然のことながら、満載排水量の場合と空載排水量の場合とは、排水量データの平均値に関する特徴については全く異なることになる。

6.3 満載排水量の回帰式との比較

船舶の満載排水量の回帰式と船舶の空載排水量の回帰式について、カバー率75%に対する回帰式を用いて比較検討する。

図-6.11~図-6.20は、それぞれ10船種に対して船舶の満載排水量および空載排水量のカバー率75%の回帰式を

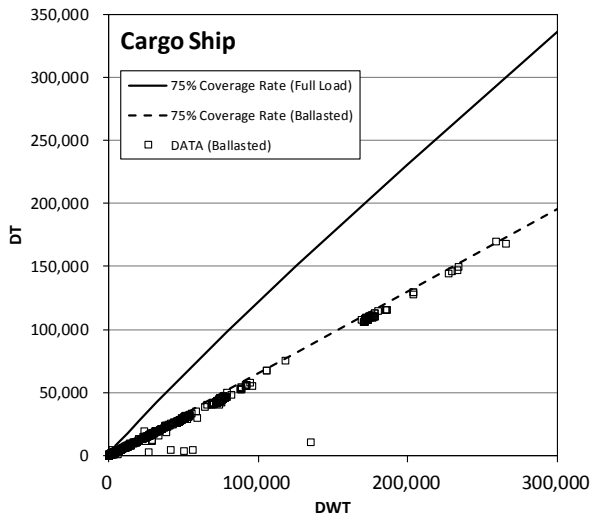


図-6.11 満載排水量の回帰式との比較 (貨物船)

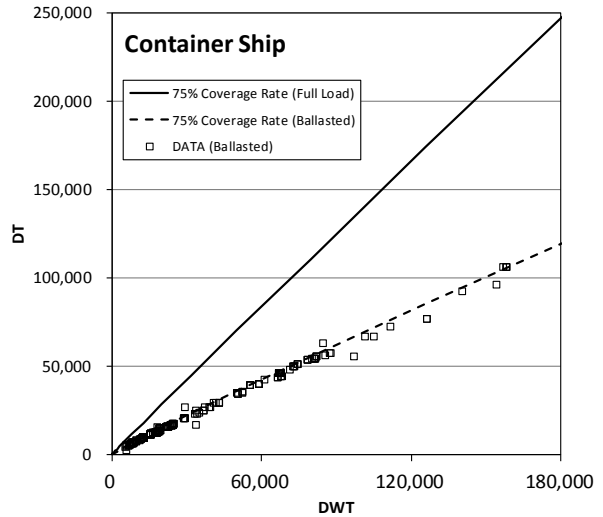


図-6.12 満載排水量の回帰式との比較 (コンテナ船)

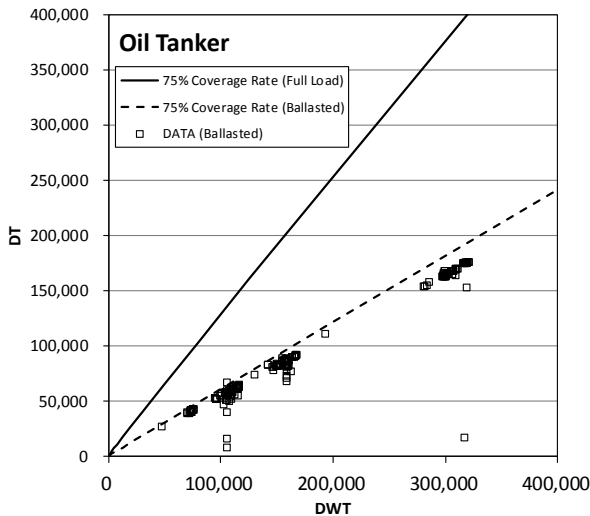


図-6.13 満載排水量の回帰式との比較 (タンカー)

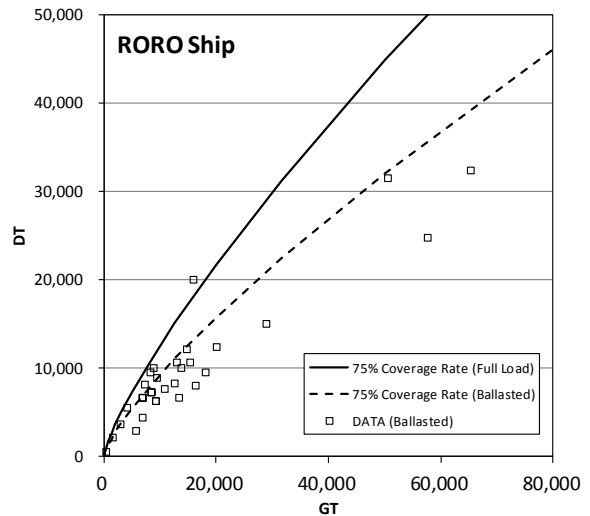


図-6.14 満載排水量の回帰式との比較 (RORO船)

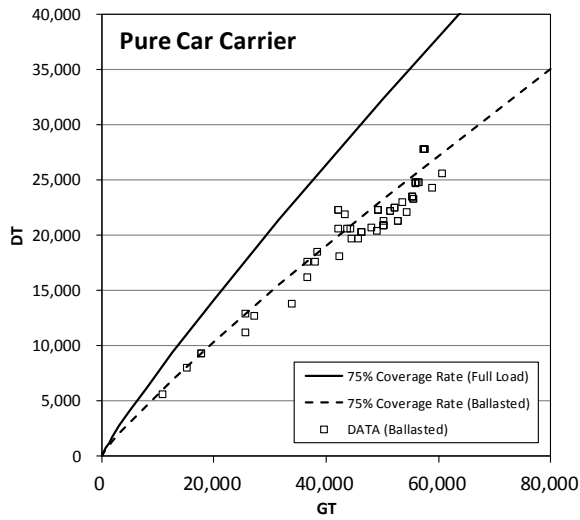


図-6.15 満載排水量の回帰式との比較 (PCC 船)

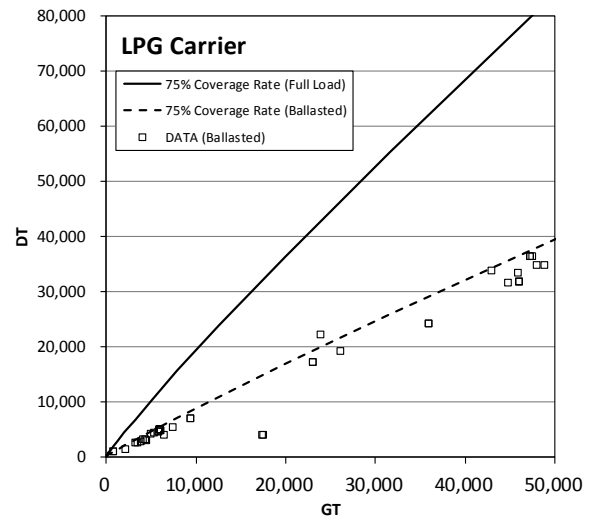


図-6.16 満載排水量の回帰式との比較 (LPG 船)

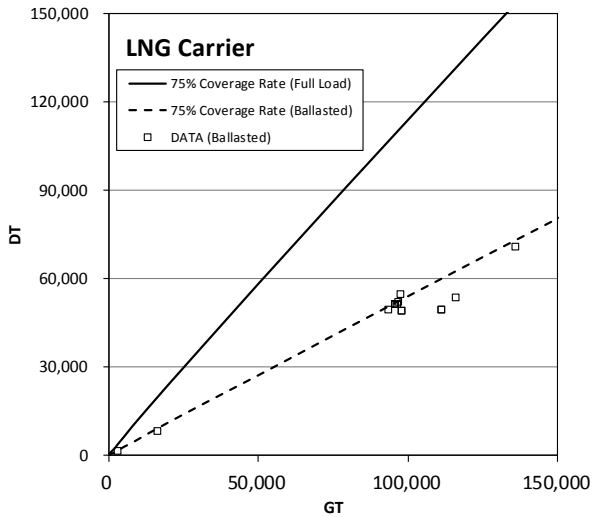


図-6.17 満載排水量の回帰式との比較 (LNG 船)

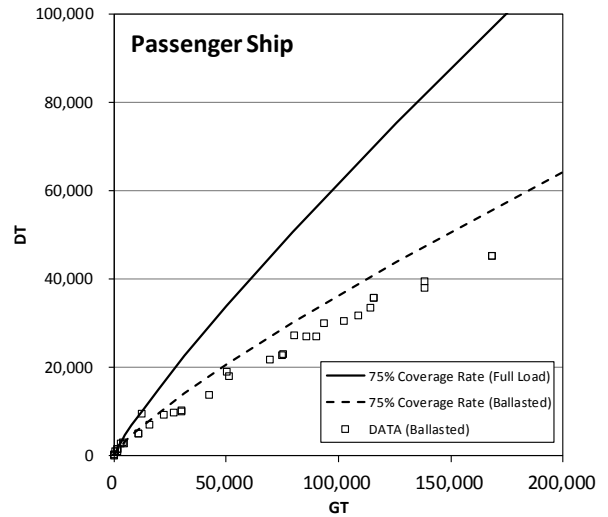


図-6.18 満載排水量の回帰式との比較 (旅客船)

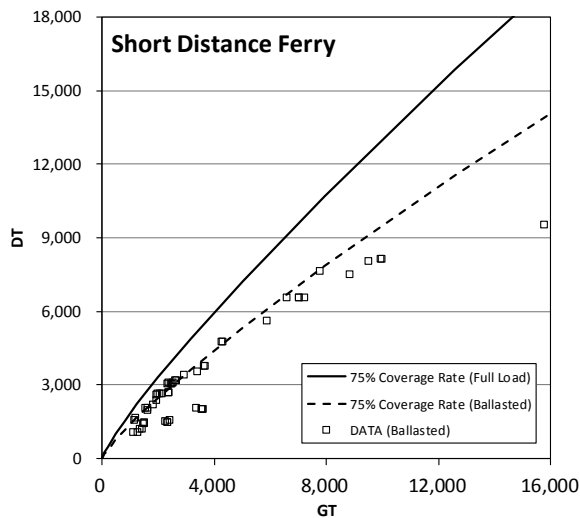


図-6.19 満載排水量の回帰式との比較 (中短距離フェリー)

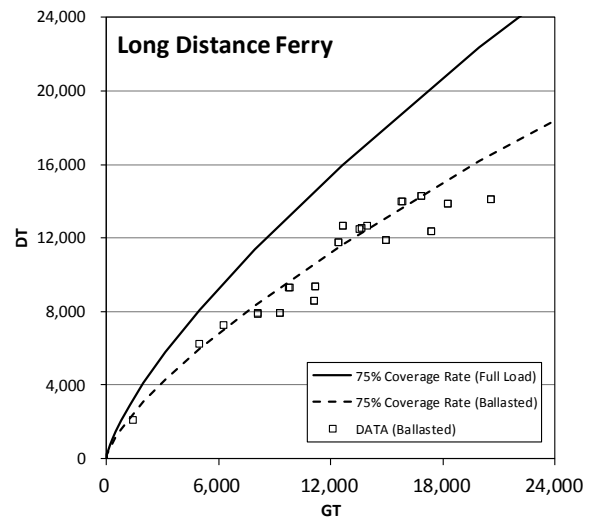


図-6.20 満載排水量の回帰式との比較 (長距離フェリー)

比較して示したものである。これらの図を見ると、空載排水量の回帰式は満載排水量の回帰式よりも傾きがかなり小さいことがわかる。また、貨物船、コンテナ船、タンカー、LPG船、LNG船および旅客船については、満載排水量に対する空載排水量の比が概ね1/2となっている。一方、RORO船、PCC船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーについては、その比が3/4程度であり比較的大きくなっている。これは、満載排水量のデータを空載排水量のデータに変換するとき用いた船舶の満載時排水量と空船時排水量との回帰式に原因がある。すなわち、表-3.6に示したように、RORO船、PCC船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーの4船種についてはカーフェリーの満載時排水量と空船時排水量との回帰式を用いているが、

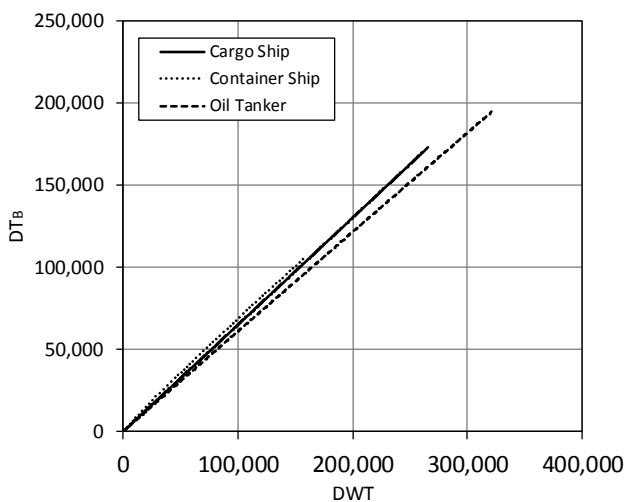


図-6.21 船種ごとの空載排水量の回帰式の比較
(貨物船、コンテナ船、タンカー)

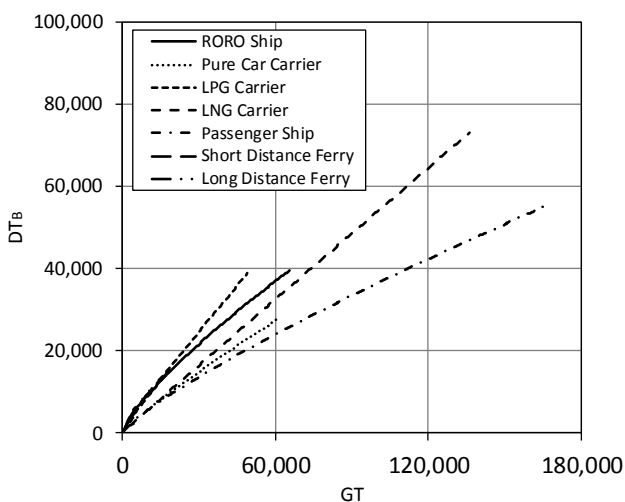


図-6.22 船種ごとの空載排水量の回帰式の比較
(RORO船、PCC船、LPG船、LNG船、
旅客船、中短距離フェリー、長距離フェリー)

このカーフェリーの回帰式は他の船種のものと比較して大きな傾きを有しているからである。

なお、船舶の空載排水量を用いて算定した船舶の接岸エネルギーは、他の条件が同一であれば、船舶の満載排水量を用いた場合よりも小さくなると考えられる。このため、船舶の空載排水量に対してのみ接岸エネルギーを算定して防舷材を設計する場合には、防舷材が過小設計になる可能性があることに注意が必要である。これに対処するために、防舷材の設計においては、対象岸壁における対象船舶の接岸時の排水量の状態を十分考慮した上で接岸エネルギーを算定することが重要になる。

6.4 船種ごとの空載排水量の回帰式の比較

船舶の載貨重量トン数(DWT)あるいは総トン数(GT)と船舶の空載排水量(DTB)との回帰式について、ここでは船種ごとの空載排水量の回帰式を相互に比較する。

図-6.21は、貨物船、コンテナ船およびタンカーの載貨重量トン数(DWT)に対するカバー率75%の空載排水量(DTB)の回帰式を比較して示す。また、図-6.22は、RORO船、PCC船、LPG船、LNG船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーの総トン数(GT)に対するカバー率75%の空載排水量(DTB)の回帰式を比較して示す。さらに、図-6.23は、図-6.22の横軸が30,000GT以下の部分を拡大して示したものである。貨物船、コンテナ船およびタンカーについては、100,000DWT以下の船舶に対しては回帰式の相違はほとんどないが、それ以上の船舶に対してはタンカー、貨物船、コンテナ船の順に空載排水量を小さめに推定する回帰式となっている。ただし、いずれ

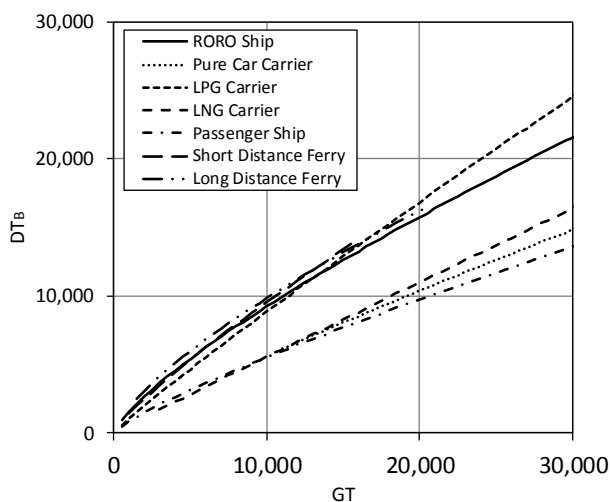


図-6.23 船種ごとの空載排水量の回帰式の比較
(図-6.22の30,000GT以下の部分の拡大図)

の船舶に対しても全体的に見れば、空載排水量の回帰式の差異は大きくはない。一方、RORO 船、PCC 船、LPG 船、LNG 船、旅客船、中短距離フェリーおよび長距離フェリーについては、約 20,000GT 以下の船舶に対して、PCC 船と LNG 船と旅客船、RORO 船と LPG 船と中短距離フェリーと長距離フェリーがそれぞれ同じような傾向の回帰式となっているが、船舶が大きくなるにつれて LPG 船、LNG 船および旅客船に対する回帰式は他の船舶とは異なった傾向を示すようになる。同じ総トン数の船舶に対して、最も大きい空載排水量を推定するのは LPG 船の回帰式、また最も小さい空載排水量を推定するのは旅客船の回帰式であり、その差は約 2 倍となっている。このような特徴は、船種ごとの満載排水量の回帰式と比べると、タンカー、LPG 船、LNG 船および旅客船に対する回帰式が他の船舶に対する回帰式と比較して相対的に下方に推移していることから生じていると考えられる。

6.5 空載排水量の回帰式の提案

船種ごとの船舶の載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT) と船舶の空載排水量 (DT_B) との回帰式の計算結果として、カバー率 75% に対する回帰係数および基本統計量の一覧を表-6.11 に示す。

相関係数については、全ての船種に対する回帰式について 0.9 以上であり、空載排水量の回帰式の有効性は高いと言える。また、回帰式周りの誤差の標準偏差については、約 0.03~0.12 の範囲にあり、船種ごとに大きく異なっている。

カバー率 75% に対する船舶の空載排水量の回帰式を以下に示す。本研究では、これらの回帰式を船舶の接岸エネルギーを求める際に用いる船舶の空載時の排水量の算定式として提案する。

- 貨物船 $DT_B = 0.636DWT^{1.002}$ (33)
- コンテナ船 $DT_B = 1.348DWT^{0.941}$ (34)
- タンカー $DT_B = 0.653DWT^{0.994}$ (35)
- RORO 船 $DT_B = 7.329GT^{0.775}$ (36)
- PCC 船 $DT_B = 1.682GT^{0.881}$ (37)
- LPG 船 $DT_B = 1.678GT^{0.930}$ (38)
- LNG 船 $DT_B = 0.619GT^{0.988}$ (39)
- 旅客船 $DT_B = 2.875GT^{0.820}$ (40)
- 中短距離フェリー $DT_B = 4.227GT^{0.838}$ (41)
- 長距離フェリー $DT_B = 12.800GT^{0.721}$ (42)

ここで、 DT_B は船舶の空載排水量 (t)、 GT は船舶の総トン数 (トン)、 DWT は船舶の載貨重量トン数 (トン) である。

これらの式を用いることにより、船種ごとに、船舶の載貨重量トン数 (DWT) または総トン数 (GT) から船舶の空載排水量 (DT_B) を算定することができる。

7. 結論

本研究では、最新の船舶諸元データを用いて回帰分析を行い、船舶の接岸力 (接岸エネルギー) を求める際に必要となる船舶の排水量 (満載排水量 (DT_F), 空載排水量 (DT_B)) と載貨重量トン数 (DWT) あるいは総トン数 (GT) との回帰式を計算して、その結果について検討した。

この結果を基に、船舶の満載時および空載時の排水量の算定式として、貨物船、コンテナ船、タンカー、ロールオン・ロールオフ (RORO) 船、自動車専用 (PCC) 船、LPG 船、LNG 船、旅客船、中短距離フェリー (航海距離 300km 未満) および長距離フェリー (航海距離 300km 以上) の 10 種類の船種ごとに、カバー率 75% に対する船舶の満載排水量および空載排水量の回帰式を提案した。

表-6.11 回帰係数および基本統計量の一覧 (空載排水量)

船種	船舶数	回帰係数(カバー率75%)		相関係数	標準偏差
	N	α	β		
貨物船	1,121	0.636	1.002	0.993	0.079
コンテナ船	236	1.348	0.941	0.996	0.028
タンカー	310	0.653	0.994	0.916	0.084
RORO 船	35	7.329	0.775	0.948	0.106
PCC 船	61	1.682	0.881	0.978	0.028
LPG 船	42	1.678	0.930	0.970	0.122
LNG 船	18	0.619	0.988	0.997	0.030
旅客船	38	2.875	0.820	0.992	0.095
中短距離フェリー	54	4.227	0.838	0.905	0.111
長距離フェリー	32	12.800	0.721	0.972	0.039

以下に提案した船舶の満載時および空載時の排水量の算定式を再掲する。

<船舶の満載時の排水量の算定式>

・貨物船	$DT_F = 2.920DWT^{0.924}$
・コンテナ船	$DT_F = 1.634DWT^{0.986}$
・タンカー	$DT_F = 1.688DWT^{0.976}$
・RORO 船	$DT_F = 8.728GT^{0.790}$
・PCC 船	$DT_F = 1.946GT^{0.898}$
・LPG 船	$DT_F = 4.268GT^{0.914}$
・LNG 船	$DT_F = 1.601GT^{0.970}$
・旅客船	$DT_F = 2.730GT^{0.871}$
・中短距離フェリー	$DT_F = 4.980GT^{0.855}$
・長距離フェリー	$DT_F = 15.409GT^{0.735}$

<船舶の空載時の排水量の算定式>

・貨物船	$DT_B = 0.636DWT^{1.002}$
・コンテナ船	$DT_B = 1.348DWT^{0.941}$
・タンカー	$DT_B = 0.653DWT^{0.994}$
・RORO 船	$DT_B = 7.329GT^{0.775}$
・PCC 船	$DT_B = 1.682GT^{0.881}$
・LPG 船	$DT_B = 1.678GT^{0.930}$
・LNG 船	$DT_B = 0.619GT^{0.988}$
・旅客船	$DT_B = 2.875GT^{0.820}$
・中短距離フェリー	$DT_B = 4.227GT^{0.838}$
・長距離フェリー	$DT_B = 12.800GT^{0.721}$

8. おわりに

本研究では、船舶の空載排水量が一般的な船舶諸元データとして取得できないことから、船舶の空載排水量データを作成するために、過去の港湾技研資料にて提示されている満載排水量と空載排水量との回帰式を用いて、船舶の満載排水量データを空載排水量データに変換する方法を採用している。しかしながら、これは簡便な方法であり、より正確な統計解析を行うためには、船会社や造船会社等へアンケート調査を行って船舶の空載排水量等の諸元データを収集する必要がある。これについては、今後の検討課題であると考えられる。

(2017年11月2日受付)

謝辞

本研究で用いた船舶諸元データは、基本的にLloyd's List Intelligence Shipping Data (2017.1) (Lloyd's List Intelligence, 2017) および日本船舶明細書 (2017年版) (日本海運集会所, 2017) から満載排水量が登録されている船舶について抽出して作成している。このデータは、国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾計画研究室の山形創一室長および岩崎幹平主任研究官から提供して頂いたものである。ここに記して深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 赤倉康寛・高橋宏直・中本隆 (1998) : 統計解析等による対象船舶の諸元, 港湾技研資料, No.910, 23p.
- 片山猛雄・降旗健一・本浩司・早藤能伸 (1970) : 船舶諸元の相互関係, 港湾技研資料, No.101, 130p.
- 国土交通省 (2017) : 2016年の我が国港湾へのクルーズ船の寄港回数及び訪日クルーズ旅客数について (雑報), (<http://www.mlit.go.jp/common/001186211.pdf>), 2017年11月現在
- 高橋宏直・後藤文子・安部智久 (2006) : 統計解析による船舶諸元に関する研究—船舶の主要諸元の計画基準(案)—, 国土技術政策総合研究所研究報告, No.28, 125p.
- 寺内潔・吉田行秀 (1980) : 船舶の主要寸法と力学的諸量の関係, 港湾技研資料, No.348, 115p.
- 日本海運集会所 (2017) : 日本船舶明細書 (2017年版).
- 日本港湾協会 (2007) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 上巻, pp.399-406.
- 浜田賢二・松本英雄・黒田祐一・早藤能伸 (1991) : 外力算定のための船舶諸元およびマスト高の解析, 港湾技研資料, No.714, 63p.
- 米山治男・高橋宏直・後藤文子 (2006) : 防衝工の信頼性設計法における部分係数の提案, 港湾空港技術研究所資料, No.1115, 43p.
- Lloyd's List Intelligence (2017): Lloyd's List Intelligence Shipping Data (2017.1).
- MarineTraffic (2017): AIS Marine Traffic - Global Ship Tracking Intelligence, (<http://www.marinetraffic.com/>), 2017年11月現在

記号表

A : 直線回帰係数 a の推計値

a : 直線回帰係数 (定数部分)

B : 直線回帰係数 b の推計値

b : 直線回帰係数 (係数部分)

DT : 船舶の排水量 (t)

DT_B : 船舶の空載排水量 (t), または空船時排水量 (t)

DT_F : 船舶の満載排水量 (t), または満載時排水量 (t)

DWT : 船舶の載貨重量トン数 (トン)

GT : 船舶の総トン数 (トン)

n : データの個数

R : 相関係数

S_e : 直線回帰式周りの分散

S_{xx} : 変数 x の分散

S_{xy} : 変数 x, y の共分散

S_{yy} : 変数 y の分散

X : 説明変数

x : 変数 (説明変数に対応)

Y : 目的変数

y : 変数 (目的変数に対応)

α : 回帰係数 (係数部分)

β : 回帰係数 (指数部分)

σ : 直線回帰式周りの誤差の標準偏差