

## PS-11 貨物船の低エミッション化が与える船価への影響

環境・動力系 \* 安達 雅樹、知識・データシステム系 小坂 浩之

### 1. はじめに

海事・造船業界において GHG 排出量の低い低エミッション船の早期就航が重要課題となっている。低エミッション船の経済的運航を評価するために、本研究では、バルク貨物船とコンテナ船の新造船船価（以下、「船価」という）について、既存燃料（C 重油等）から低エミッション燃料（ここでは LNG）へ転換した場合の追加初期コストを分析した。まず、既存燃料を使う船の主要目と船価に関する回帰モデルを作成し、この回帰モデルに基づき、就航中の LNG 燃料船の船価を分析した。この分析結果から、LNG 燃料転換の追加初期コストを算出し、過去の予測結果との比較を試みた。

### 2. 主要目と新造船船価の相関

現在運用中の船舶データベースである Clarkson Research Service (英) の World Fleet Register (以下, WFR)<sup>1)</sup> と IHS Markit (英) の Sea-Web<sup>2)</sup> を用いて、既存燃料船の船価を分析した。この船価の名目値  $NBP^N$  は市況の影響等により変動しているため、船価の指標 Clarkson Newbuilding Price Index (CNPI) を使用してこれを補正した。CNPI は 100 を基準値とする時系列の無次元数で、基準となる時期は、バルク貨物船は 1987 年 12 月、コンテナ船は 1996 年 12 月である。補正後の船価を実質値  $NBP^A$  とすると、三者の関係は下式で表される。

$$NBP^A = NBP^N \times \frac{100}{CNPI} \quad (1)$$

以降の議論での船価は  $NBP^A$  を使用する。

図-1 にコンテナ船の貨物積載量 ( $Dwt$  [ton]) と主機出力 ( $Me$  [kW]) の関係を示す。ここで WFR が設定した文字列パラメータ "Eco-Electric Engine" に着目する。これは主機の電子制御を示すもので、非電子制御の船は空欄、電子制御で建造契約年が 2011 年以前の船は "Eco"、電子制御で建造契約年が 2012 年以降の船は "Eco" より効率が向上している<sup>3)</sup> として "Eco modern"、のいずれかをとる。図-1 より "Eco-Electric Engine" が "Eco modern" のコンテナ船の  $Me$  は総じて同じ  $Dwt$  で "空欄" 又は "Eco" (図では others と一括扱い) と比べて低いのがわかる、これは主機の燃費向上に加えて減速運航を想定して主機出力が見直されたため<sup>4)</sup> と考えられる。

コンテナ船の  $NBP^A$  の  $Dwt$  に対するプロットを図-2 に、 $Me$  に対するプロットを図-3 に、それぞれ示す。図より少数の外れ値はあるものの、多くの  $NBP^A$  は  $Dwt$  及び  $Me$  と相関がある。加えて図-3 では "Eco-Electric Engine" が "Eco modern" とそれ以外では異なる傾向になることが確認された。今後の新造船も "Eco modern" になると予想されるため、この船価を

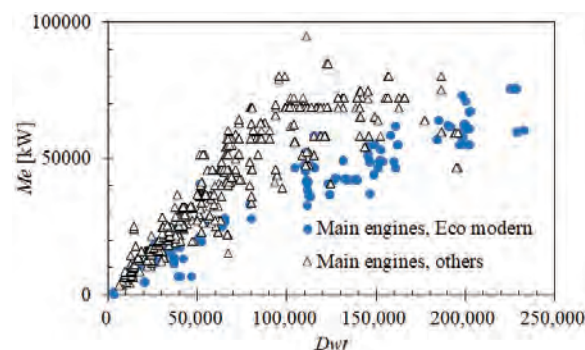


図-1 コンテナ船の積載貨物量 ( $Dwt$ ) と主機出力 ( $Me$ )

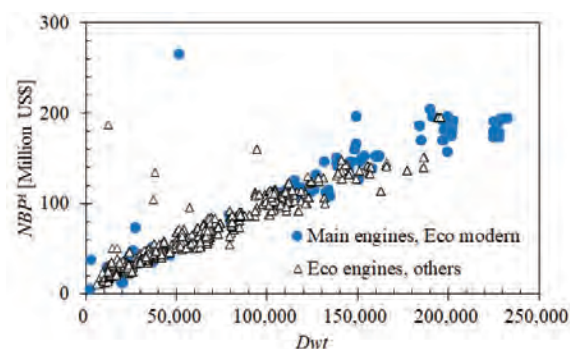


図-2 コンテナ船の  $Dwt$  と船価実質値 ( $NBP^A$ )

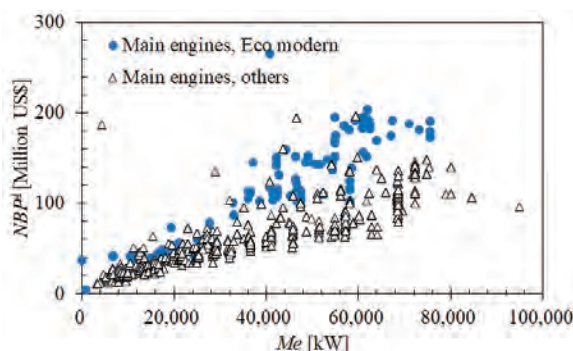


図-3 コンテナ船の  $Me$  と  $NBP^A$

高精度に予測するには "Eco-Electric Engine" に関する因子も加える必要があると考えられる。また、ここでは省略するが、バルク貨物船の  $NBP^A$  についてもコンテナ船のそれとほぼ同じ相関となることを明らかにした。

### 3. 船価の回帰モデル

前項の分析結果を踏まえて、 $NBP^A$  を目的変数とする次式で表される回帰モデルの適合性評価を行った。

$$NBP^A = a_0 + a_1 Dwt + a_2 Me + a_3 Eco \quad (2)$$

説明変数は  $Dwt$  と  $Me$ 、"Eco-Electric Engine" に関するダミ

表-1 船価評価回帰モデルのパラメータ評価結果

変数	パラメータ	コンテナ船	バルク貨物船
-	$a_0$	1.05E+07	8.03E+06
$Dwt$	$a_1$	8.14E+02	1.13E+02
$Me$	$a_2$	1.04E+05	5.97E+02
$Eco$ (ダミー変数)	$a_3$	5.53E+06	1.34E+06

一変数  $Eco$  の3つとし, "Eco modern"であれば  $Eco=1$ , それ以外であれば  $Eco=0$  とした. また  $a_0, a_1, a_2, a_3$  は各説明変数に関する係数 (パラメータ) である.

コンテナ船とバルク貨物船の各回帰モデルにおける係数の推計値を表-1にまとめる. この回帰モデルの決定係数  $R^2$  は, コンテナ船の場合は0.933, バルク貨物船の場合は0.871といずれも高く, 妥当である.

#### 4. LNG 転換への追加初期コスト検証

前章で評価した船価および船価が明示されている LNG 燃料船の船価の比較を図-4に示す. 同じ主要目で燃料が LNG になるとコンテナ船は1.2~2.1倍, バルク貨物船は1.1~1.2倍となった.

さらに, 個別に LNG 燃料船と同じ時期に建造され主要目がほぼ同じの既存燃料船の船価との比較結果も用いて, 文献で示すコンテナ船やバルク貨物船における LNG への転換に要する追加初期コストを検証した. WFRによると, LNG を主燃料とする船の就航が始まったのは2000年, 船種は主に LNG タンカーや短距離フェリーとされる. その後は隻数のみならず船種も増加し, バルク貨物船は2012年に, コンテナ船は2015年に就航が始まった. これより以前のコンテナ船・バルク貨物船に関する追加初期コスト<sup>5)</sup>は, 燃料タンクやエンジン等のコストを仮定して試算されたと考えられる.

コンテナ船とバルク貨物船の LNG への燃料転換に要する追加初期コストに関するプロットを図-5に示す. 横軸は  $Me$  [kW], 縦軸は主機出力あたりの追加初期コスト  $C_{LNG}$  [US\$/kW]である. 点線は, 追加初期コストを線形近似で求めた相関

$$C_{LNG} = 5.178E4 \times Me^{-4.523E-1} \quad (3)$$

である. 四角マークは実船に関して評価した結果である. 両者を比較すると, 実船ではばらつきが大きく, 式(3)を用いると実船での追加初期コストを過小予測する可能性が高い. そこで, 式(3)を補正して予測精度を上げることを試みた. 補正は式(3)で評価した  $C_{LNG}$  と倍数の積と, 四角マークで示す  $C_{LNG}$  との差の最小二乗値の合計が最小になるように行った. その結果, この倍数は1.6であることが明らかとなった. 誤差範囲は四角マークの数の6割が誤差 $\pm 60\%$ で内包する. 以上から実際のコンテナ船とバルク貨物船の LNG への燃料転換に要する初期コストは, 式(3)の右辺係数を1.6倍した次式

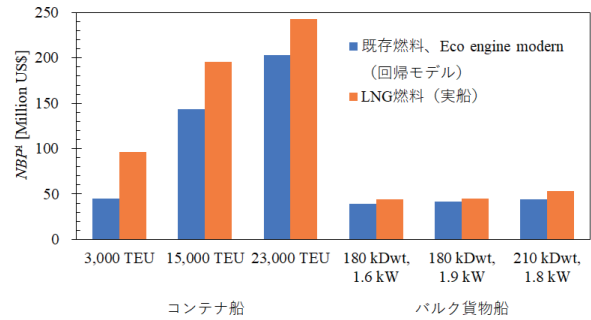


図-4 回帰モデルに基づく LNG 燃料船との船価比較

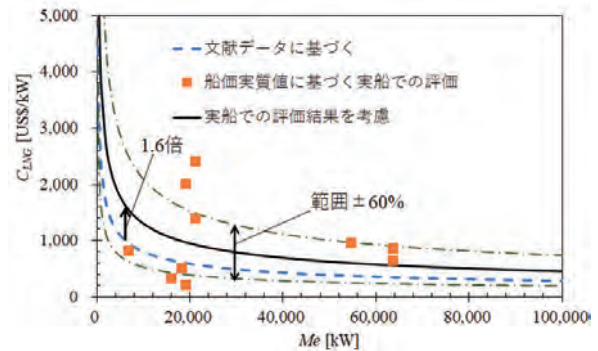


図-5 LNG 転換への追加初期コスト, バルクとコンテナ

$$C_{LNG} = 8.419E4 \times Me^{-4.523E-1} \quad (4)$$

で表され, その範囲は $\pm 60\%$  (一重鎖線で囲まれた範囲内) であると考えられる.

#### 5. まとめ

コンテナ船とバルク貨物船の船価を実質値として分析し, 積載貨物量, 主機出力, 主機の電子制御に関するダミー変数を因子とした回帰モデルを提案した. これを用いて低エミッション船である LNG 燃料のコンテナ船とバルク貨物船について, 実際の LNG 燃料転換に要する追加初期コストを推定した結果, 過去の試算結果の1.6倍となった.

今後は代替燃料を使う船舶について船価等経済的運航の妥当性を評価するためのデータを整備する予定である.

#### 参考文献

- 1) B.B. Smestad, et al., Expanding the Possibilities of AIS Data with Heuristics, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol.11, No.2(2017), pp.279-286.
- 2) Youngrong Kim, et al., A novel method for estimating missing values in ship principal data, Ocean Engineering., Vol.251(2022), 110797.
- 3) Clarkson Research Service 関係者からの回答より
- 4) Anton Minchev, et al. Contemporary Bulk Carrier Design to Meet IMO EEDI Requirements, 3<sup>rd</sup> International Symposium on Marine Propulsors. 6A.3, (2013).
- 5) 例えば, MAN, Costs and Benefits of LNG as Ship Fuel for Container Vessels (2011).