国際海運の CO2 排出シミュレーション 3

知識・データシステム系 * 小坂 浩之 村岡 英一

セッション1

1. はじめに

国際海事機関(IMO)では、2018年4月に国際海運からの温 室効果ガス(GHG)排出削減目標を含む「GHG 削減戦略」が採択 された.本戦略の目標の1つに、2030年までに国際海運全体 の燃費効率 40%以上削減達成 (2008 年比) がある. 2018 年 10月に策定された IMO での作業工程表では、本戦略達成のた めの具体的な対策案について, 2019年5月の IMO 海洋環境保 護委員会(MEPC)で各国からの提案をもとに審議が開始され、 2023 年の MEPC において決定されることとなっている. 燃費 効率の改善においては、省エネデバイスの搭載等に加えて、 減速航行も重要な手段となっている.

本研究では、国際海運における減速航行の現状分析と CO2 排出予測のシミュレーションを行い、目標達成のために必要 な減速航行の程度をコンテナ船で検討を行う.本研究の CO2 排出予測は、3rd IMO GHG Study¹⁾の結果と整合性をとった上 で、さらに詳細なシミュレーションを行うものである.

2. IMO GHG Studyの概要

本研究は, IMO で実施された 3rd IMO GHG Study に基づい て検討を行う. 3rd IMO GHG Study では、国際海運の GHG 排 出量を算定するため、2007 年から 2012 年を対象にした船舶 の運航に関するインベントリーデータを作成している.この 際,船種・サイズの区分は, EEDI の算定に用いられる区分が 参照され, IHS 社の Statcode に基づき決定されている. 船舶 のグループとして, 国際海運 (Cargo-carrying transport ships), 非商船 (Non-merchant ships), 非国際商船

(Non-seagoing merchant ships), 作業船 (Work vessels) が存在する.運航に関するインベントリーデータの主な項目 として,船種・サイズ区分別に, 隻数, 平均 DWT, 平均出力 (kW),平均設計速度(knots),平均航行速度(knots),平 均航行日数,平均主機燃料消費量(ton),平均補機燃料消費 量 (ton), 平均ボイラー燃料消費量(ton), CO2 排出量(ton) が算定されている.平均航行速度や平均航行日数は、AIS デ ータに基づき算定されている. 2007 年から 2009 年を対象に した分析では、沿岸 AIS データのみが使用され、2010 年以降 の分析では、沿岸 AIS に加えて衛星 AIS も使用されている. C02 排出量の推計は、国際バンカー油の販売量等に基づくト ップダウンアプローチと、インベントリーデータ等に基づく ボトムアップアプローチが存在する.本研究は、ボトムアッ プアプローチによる CO2 排出量の結果に基づき検討する. 3rd IMO GHG Study による国際海運の CO2 排出量の算定結果は, 2007年では8億8,490万トン,2012年では7億9570万トン

国際連携センター

と算定し, 2007 年から 2012 年において CO2 排出量が減少し ていることを示している.この間,2008年の9億2,090万ト ンが最大の CO2 排出量である. 図-1 は、国際海運の船種別 のCO2排出量を示しており,コンテナ船,バルクキャリアー, オイルタンカーの CO2 排出量が大きなシェアを占める.



3. 主要船種を対象にした航行速度の算出 3.1 航行速度の算出方法

本研究では, Lloyd's List Intelligence (LLI) 社の船 舶動静データを使用して,船種・サイズ毎の航行速度を推計 する.船舶動静データでは、船舶の寄港履歴が記録されてお り,港湾での寄港日時が把握可能である.また,船舶要目デ ータにより,船種,船齢,DWT等の基本的な情報が得られる. 本研究では、船舶動静データにより、ある港湾の出発時間と 次の港湾の到着時間から航行時間を算出する.また、港湾間 の航行距離を NMRI Liner viewer により算出し, 航行時間と 航行距離から船舶の航行毎に速度の算出を行う. なお, IMO 番号によって船種を 3rd IMO GHG Study の船種・サイズに対 応させて分析を行う. また, 3rd IMO GHG Study の平均航行 速度と比較するため、2012年8月の船舶動静データを使用し て,算出方法の検討を行う.

上述の航行速度の算出方法のみでは、3rd IMO GHG Study の航行速度に比べて過小になる、特に、短い航行距離のデー タにおいて、航行速度が過小であることがわかった. 3rd IMO GHG Study の平均航行速度との比較を容易にするため、本研 究は,2012年8月の船舶動静データを使用して,3rd IMO GHG Studyにおける2012年の平均航行速度と一致する航行速度の 算出方法を検討した.本研究の航行時間と航行距離の算出に

おいて、平均的な航行速度となるデータの抽出を回帰分析の 航行速度を一致するように、外れ値の除外を行ったものであ コンテナ船(1,000~1,999teu)の2012年8月の航行時間と 航行距離を図-2に示す. 3rd IMO GHG Study のコンテナ船

(1,000~1,999teu)の場合,2012年の平均航行速度は 13.9knot である. 2012 年8月の船舶動静データでは、同区 分のコンテナ船において、11,180件の港湾間の航行データが 得られる. 航行時間を被説明変数とし, 航行距離を説明変数 とした回帰分析において, 信頼区間に含まれる航行データか ら平均航行速度が 13.9knot になるように信頼区間を調整し た. その結果, 8,500 件のデータが信頼区間に含まれ, これ 以外の2,680 件のデータが外れ値となる.

図-3は、コンテナ船(1,000~1,999teu)の航行速度の分 布において,外れ値の除外を行う前の結果である.図-4は, 同様の航行速度の分布において、3rd IMO GHG Studyの平均



図-2 航行距離と航行速度の関係(外れ値の検出)



図-3 外れ値を含む航行速度の分布



図-4 外れ値を除いた航行速度の分布

信頼区間を調整することで行った.回帰分析の検討例として、る.本研究の航行データにおいて、低い航行速度のデータが 外れ値となり除外が行われていることがわかる.

3.2 航行速度の算出結果

本研究は、2012年8月の船舶動静データを使用し、3rd IMO GHG Study の平均航行速度と一致する航行速度の算出方法を 船種・サイズ別に決定した.この方法に従って、2015年1年 間のデータと2018年8月のデータを使用し、最近の航行速 度の算出を行った.本研究では、コンテナ船を対象にした結 果を示す. 表-1は、本研究と 3rd IMO GHG Study の平均航 行速度を示している. また, 図-5は, 3rd IMO GHG Study による 2008 年から 2012 年の平均航行速度の変化率,本研究 の推計値による 2012 年から 2018 年 8 月の同変化率, 2008 年 から2018年8月の同変化率をコンテナ船のサイズ別に示し ている.

本研究の推計では、14,500teu以上であるコンテナ船の区 分を除き、2012年以降も平均航行速度が低下している結果と なった.2012年から2018年8月の平均航行速度の変化率は、 平均して-4.7%である.14,500teu以上のコンテナ船では, 2012年の8隻から2018年には100隻以上に増加しているた め、平均航行速度の傾向に変化があると考えられる.

表-1 コンテナ船の平均航行速度の変化

H)18(e) 12.0
H)18(e) 12.0
)18(e) 12.0
12.0
13.4
14.2
14.9
15.1
15.1
15.2
15.2
1 1 1



4. 国際海運の CO2 排出シミュレーション

4.1 シミュレーションの概要

本研究の GHG 排出量等の将来予測は, 3rd IMO GHG Study の結果を再現することに加え, さらに詳細なシミュレーショ ンを可能とするための造船需要予測モデルを使用する.この モデルでは, 建造年別の船舶数を予測し, 建造年別に船舶の 燃費性能や航行速度を設定することで, EEDI 規制や減速航行 の影響による CO2 排出量の削減量等が算定可能である.この モデルは,以下の計算で船種・船型に船舶数と CO2 排出量等 の予測を行う.

- ① i 年の船腹数 F_iは,前年(i-1)の貨物輸送需要 Q_{i-1}(単位: トン・マイル) に前年からの貨物輸送需要の増加分 ΔQ_i を加えた Q_{i-1}+ ΔQ_iに対して,i年の需給率 C_iを満たすよ うに決定する.需給率 C_iは,船舶数に対する貨物輸送需 要の比である.
- ② i年の新規建造量 N_iは, i年の船腹量 F_iと i-1年の船腹 量 F_{i-1}の差とする.
- ③ Ni が負である場合(ΔQi が負である場合)はN_i=0として, i 年の需給率C_iを満たすように,船舶数F_{i-1}における一定 の船舶数(F_{i-1}-F_i)が解撤される.このF_{i-1}-F_iの値は, 下記の代替建造量とは独立である.
- ④ i 年の代替建造量 R_iは, i-1年の船舶数 F_{i-1}から船齢 j
 別に一定の比率 D_{ij}(解撤率=1-残存率)で解撤される 船舶数とする.
- ⑤ i年における CO2 排出量 E_iは, E_i = e₀・S_{i0}+Σ_j e_j (F_i S_{i0}) B_{ij}で算出する.ここで,S_{i0}は,i年における船齢0の船舶建造量(N_i+R_i), e_jは船齢 jの船舶の CO2 排出原単位,B_{ij}はi年における船齢 jの船腹量の総船腹量に対する比率(船齢分布)である.

3rd IMO GHG Study では、国際海運全体からの CO2 排出量 予測値が示されているが、船種・サイズ別の CO2 排出量や船 舶数の予測結果は示されていない.本研究では、3rd IMO GHG Study による 2007 年から 2012 年のインベントリーデータと 予測シナリオに基づき、国際海運全体の CO2 排出量の予測結 果を,船種・サイズ別に分配し、これに対応する船種・サイ ズ別の船舶数を計算した. この際, 3rd IMO GHG Study のシ ナリオにおける ILNG 燃料の利用や効率改善に関する CO2 削 減策の効果を除外した CO2 排出量を使用している、本研究は、 この Business As Usual (BAU) と考えられる船種別・サイズ 別の船舶数予測値に基づき分析を行う. また, 3rd IMO GHG Study では、将来の社会・経済の想定として、IPCC のシナリ オを用いている.本研究では、3rd IMO GHG Study のシナリ オ16に基づく,国際海運のCO2排出量予測を参照して分析 を行う. なお、3rd IMO GHG Study のシナリオ 16 は、代表的 濃度パス (Representative Concentration Pathway, RCP)²⁾ が RCP2.6 であり、社会経済シナリオ (Shared Socioeconomic Pathways, SSP) ³⁾が SSP4 である. 造船需要予測モデルでは, シナリオ16に基づく貨物輸送需要に対して、上記の船種・

サイズ別の船舶数 (BAU) となる需給率を設定して予測を行う.

4.2 シミュレーションの適用

本研究では、コンテナ船を対象にして、CO2排出シミュレ ーションを行う.本研究は、2030年までに国際海運全体の燃 費効率40%以上削減達成(2008年比)の目標を検討するため、 2030年までの予測を行う.3rd IMO GHG Studyでは、インベ ントリーデータにおいて、2012年までの船舶要目が設定され ているが、本研究では平均DWT に関して2018年までの最新 の値に更新した.その他のインベントリーデータに関しては、 2012年の値が2013年以降も変化しないことを BAU ケースと している.また、3rd IMO GHG Study と同様に、船齢30年で すべての船舶が解撤されるとする.

図-6は、コンテナ船のサイズ別の造船需要予測モデルに より、BAU ケースとして CO2 排出量の予測を行った結果であ り、コンテナ船合計の CO2 排出量を示している. CO2 排出量 削減のシナリオを検討するため、EEDI フェーズ毎に CO2 排出 量の予測を行っている.本研究の BAU ケースでは、コンテナ 船の CO2 排出量が 2030 年に4億4,000 万トンとなる.また、 図-7 は、同様の BAU ケースに関して船舶数の予測結果を示 している.予測において、2030 年のコンテナ船の 隻数は、 10,200 隻となる.コンテナ船の CO2 排出量と船舶数は、2008 年に比べて、2 倍程度の値となる.3rd IMO GHG Study にお けるシナリオ 16 において、コンテナ輸送需要は、2008 年か ら 2030 年に4 倍程度に増加することに対して、CO2 排出量の 増加が 2 倍程度であることは、コンテナ船の大型化進む(サ イズ 14,500teu 等の増加)が想定されていることが影響して いる.

次に,以下の2つのケースに関して,C02排出量のシミュ レーションを実施した.





図-7 コンテナ船の船舶数 (BAU ケース)

- ケース①:コンテナ船のサイズと EEDI フェーズ毎に、ベ ースラインに対する燃費改善の達成率を設定 し、新造船は達成率に従った燃費改善が行われ る.
- ケース②:ケース①に加えて,2030年時点のサイズ毎の燃 費効率が2008年に対して-40%を達成できるよ うに減速航行を実施する.

ケース②における減速航行において,燃料消費量は航行速 度の3乗に比例して減少することを仮定した.

表-2は、ケース①に使用した EEDI 達成率とケース②で算定 された減速幅について、コンテナ船のサイズ別の値を平均し て示している.ここで EEDI 達成率は、ヒアリング等を基に 設定している.また、ケース②における燃費効率は、AER (DWT ベースのトンマイル当たり CO2 排出量)を基準にして算出し ている.フェーズ1からフェーズ3のコンテナ船に関しては、 2012年に対して、サイズ平均で-5.3%以下の減速により、2030 年の燃費効率が達成できる結果となった.この減速幅は、 2018年8月を対象にした減速の推計結果から、追加で若干の 減速が必要であることを示す.ここで、図-8と図-9は、 ケース②における CO2 排出量と船舶数を示している.

図-10は、各ケースにおけるコンテナ船合計のAERについて、2008年を100としたインデックスの推移を示している. コンテナ船合計では、ケース①において、2030年における燃 費効率改善-40%が達成可能である.コンテナ船全体で考えた

表-2	シミュレーシ	ョンにおける EEDI	達成率と減速幅

対象船	就航年	平均 EEDI 達成率 (対ベースライン)	2030 年平均減速幅 (対 2012 年)
既存船	2013 以前	なし	-17.0%
フェーズ 0	2014	-7.4%	-16.1%
フェーズ 1	2015-2019	-28.0%	-5.3%
フェーズ 2	2020-2024	-37.4%	-3.3%
フェーズ 3	2025-	-38.3%	-2.9%



図-8 コンテナ船の CO2 排出量 (ケース②)



図-9 コンテナ船の船舶数 (ケース②)



図-10 各ケースにおけるコンテナ船合計の AER インデックス

場合は、目標を達成するために 2012 年レベルの平均航行速 度で良いことを意味する.この結果は、12,000teu 以上の区 分において、DWT ベースのトンマイルのシェアが大きく、EEDI の達成率が-50%程度であることから、小型コンテナ船の燃費 効率の相対的な低さを補うためである.

5. おわりに

本研究は、船舶動静データにより、航行速度の実態把握を 行った. 3rd IMO GHG Study においては、大規模な AIS デー タから、2007 年から 2012 年の航行速度が推計されているが、 本研究の方法においても航行速度が推計可能であり、最近の 航行速度の実態を示した.また、本研究は、コンテナ船を対 象にして、CO2 排出シミュレーションを行った.2030 年の燃 費効率は、大型コンテナ船の EEDI 達成率が高いことにより、 目標の達成が見込まれることを示した.今後は、国際海運全 体での目標達成を検討するため、対象を拡大し、船種・サイ ズ間や EEDI フェーズ間で必要な EEDI や減速の組み合わせを 検討する予定である.

謝辞

本研究は、国土交通省との請負研究により実施しました. 関係各位に深く感謝申し上げます.

参考文献

 International Maritime Organization (IMO), Third IMO GHG Study 2014; London, UK, April 2015; Smith, T. W. P.; Jalkanen, J. P.; Anderson, B. A.; Corbett, J. J.; Faber, J.; Hanayama, S.; O' Keeffe, E.; Parker, S.; Johansson, L.; Aldous, L.; Raucci, C.; Traut, M.; Ettinger, S.; Nelissen, D.; Lee, D. S.; Ng, S.; Agrawal, A.; Winebrake, J. J.; Hoen, M.; Chesworth, S.; Pandey, A.

 2)国立環境研究所:論文誌 Climatic Change に掲載された IPCC 第5次評価報告書に向けた代表的濃度パス(RCP)シナ リオについて, https://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/ 20110926/20110926.html(2019/06/03閲覧)

3) 国立環境研究所:気候変動研究で分野横断的に用いられ る社会経済シナリオ(SSP; Shared Socioeconomic Pathways) の公表, https://www.nies.go.jp/whatsnew/20170221/ 20170221.html(2019/06/03閲覧)