

# 主要定期航路における減速航海によるCO<sub>2</sub>排出量及び輸送コスト削減に関する研究

1855011 張 智鑫

指導教員 黒川 久幸 教授

## 1. はじめに

### 1.1 研究背景

現在、地球温暖化が問題となっており、2018年のCO<sub>2</sub>排出量は2017年と比べて1.7%増え、過去最高の約331億トンに達したことが、IEAの報告書で明らかになった。そして、国際海運から排出されたCO<sub>2</sub>が8億4,300万トンで地球全体のCO<sub>2</sub>排出量の約3%を占め、ドイツの一国分に相当することがIMOから発表された<sup>(1)</sup>。今後、開発途上国を中心とした経済成長が進み、国際貿易量が急増することが見込まれるため、それに伴う国際海運におけるCO<sub>2</sub>排出量も増加すると考えられ、国際海運からのCO<sub>2</sub>排出量の削減は重要であると言える。

しかし、既存の研究においてはCO<sub>2</sub>排出量の削減策として最も有効な対策の1つである減速航海に関する検討は十分に行われていない。例えば、船舶の大型化に伴う港の制限による入出港待ちや荷役作業時間の増加が減速航海に与える影響に関する検討はほとんどなされていない。特に、主要な定期航路において船舶の大型化の状況が異なるため、これを考慮した上で減速航海の検討を行った研究はない。

### 1.2 研究目的

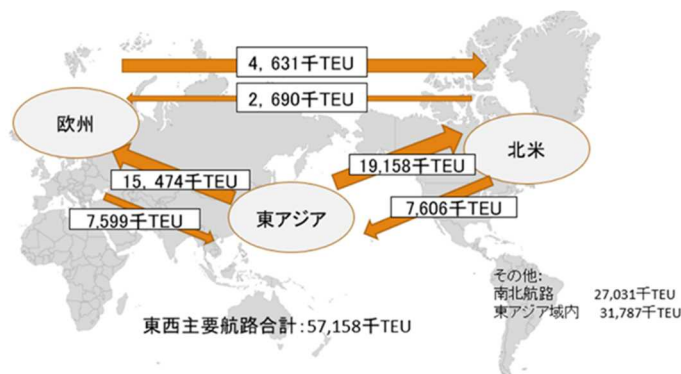
そこで本研究では、主要定期航路における船舶の大型化の影響を踏まえて、減速航海がCO<sub>2</sub>排出量及び輸送コストに与える効果について分析を行う。そして、この分析から有効な減速航海の方策について検討することを目的とする。

## 2. 研究対象

### 2.1 主要定期航路について

世界のコンテナの荷動きの36%を占める東西基幹航路は、図1のように、東アジア-北米航路、東アジア-欧州航路、欧州-北米航路で構成される。

図1 東西基幹航路の構成



### 2.2 各航路の配船状況

東アジア-欧州航路では、隻数が340隻で、平均船型は13,485TEUになり、最大船型の航路である。東アジア-北米航路では、隻数が441隻で、平均船型8,297TEUになり、初めて8,000TEUを超えた。欧州-北米航路では、217隻の船舶で、5,000TEU未満の船舶が15隻増加した一方、主要船型クラスの5,000~7,999TEUは16隻減少となった。そのため、平均船型は141TEU減少して、5,061TEUになった。図2と図3に各主要航路の船舶状況を示す。

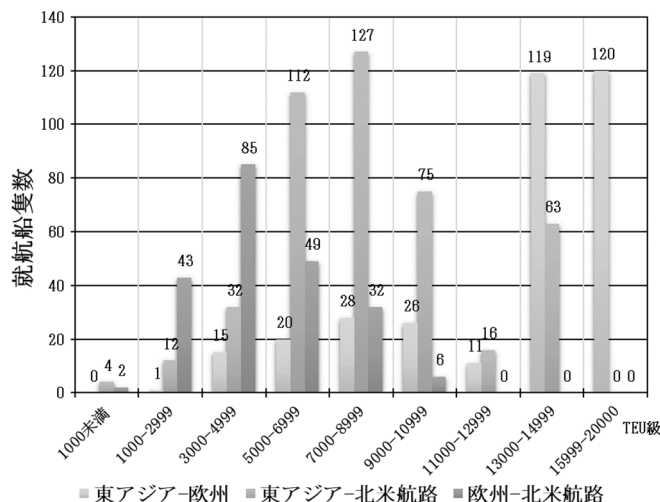


図2 主要航路における船型別隻数 (2018年)

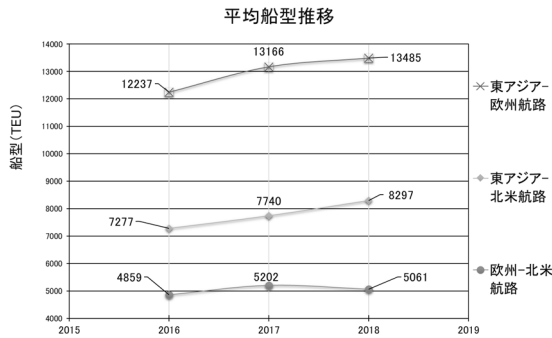


図3 主要航路における平均船型の推移

### 3. 計算モデルの定式化

#### 3.1 計算モデルの概要

計算モデルの概要を図4に示す。

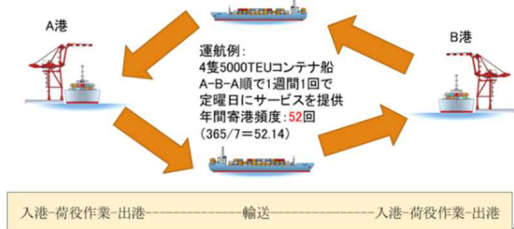


図4 モデル概要図

#### 3.2 必要隻数の算出式

定期航路で運航しているコンテナ船が航路サービスを1周するのに要する時間を1サイクル時間と定義する。図5のように、1サイクル時間は停泊時間と航海時間に構成される。また、停泊時間は入出港時間と荷役時間に構成される。そして、荷役時間が船型に、入出港時間が寄港回数に比例するとして、下記の式のように表せる。

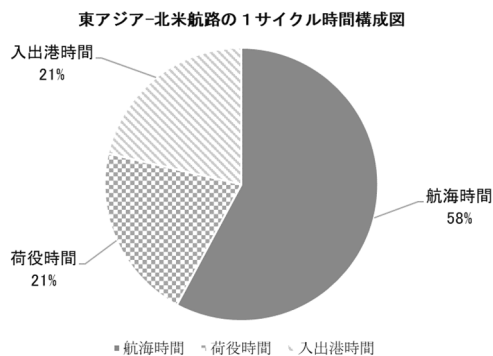


図5 1サイクル時間の構成図

$$T_0 = T_1 + T_2 \text{ ----- (1)}$$

$$T_2 = T_3 + T_4 \text{ ----- (2)}$$

$$T_1 = s/v \text{ ----- (3)}$$

$$T_3 = C_D \times D \text{ ----- (4)}$$

$$T_4 = C_p \times PN \text{ ----- (5)}$$

$$T_2 = C_D \times D + C_p \times PN \text{ ----- (6)}$$

$$N = \text{ROUNDUP} \{ [T_0 / (24 \times 7)], 0 \} \text{ ----- (7)}$$

$T_0$ : 1サイクル時間[h]、 $T_1$ : 航海時間[h]、

$T_2$ : 停泊時間[h]、 $T_3$ : 荷役時間[h]

$T_4$ : 入出港時間[h]、 $S$ : 航海距離[mile]

$V$ : 航海速度[kt]、 $C_D$ : 荷役時間の係数[h/TEU]

$C_p$ : 入出港時間の係数[h/回]、 $PN$ : 寄港回数[回]

$D$ : 船型[TEU]  $N$ : 必要隻数[隻]

#### 3.3 CO<sub>2</sub>排出量の算出式

CO<sub>2</sub>排出量は、燃料消費量と排出係数から求められる。燃料消費量は就航するコンテナ船の船型や航海速度によって異なる。そこで、これらの影響を考慮したCO<sub>2</sub>排出量の推計を下記の式から算出する<sup>(2)</sup>。

$$FL = F_0 \times (S \times 1.852) \times f \text{ ----- (8)}$$

$$F_0 = 6.87 \times 10^{-5} \times \{DSP - (1 - 0.65 \times LF) \times$$

$$DWT\} \times DSP^{-1/3} \times (V \times 1.852)^2 \text{ ----- (9)}$$

$$DSP = 1.37 \times DWT + 1660 \text{ ----- (10)}$$

$$DWT = D \times 10.8 + 12400 \text{ ----- (11)}$$

$$CO_2 = \alpha \times FL \text{ ----- (12)}$$

$FL$ : 年間燃料消費量[kg/年]、 $f$ : 寄港頻度[回/年]

$F_0$ : 燃料単位距離消費量[kg/km]

$DSP$ : 船舶の満載排水トン[トン]

$LF$ : 消席率[%]、 $DWT$ : 船舶の載貨重量[トン]

$CO_2$ : 年間CO<sub>2</sub>排出量(トン/年)

$\alpha$ : 船舶燃料におけるCO<sub>2</sub>排出係数[トン/kg]

#### 3.4 輸送コストの定式化

輸送コストを黒川らの研究<sup>(3)</sup>に基づいて、燃料コスト、船舶費用、荷役作業料金、入出港料金、コンテナ関係費の和で表し、図6に示す。また、これを年間輸送量で割算し、1TEU当たり輸送コストを算出する。

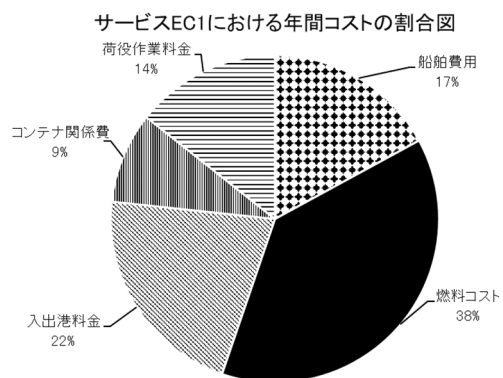


図6 東アジア-北米航路EC1の輸送コスト構成

$$TC = FC + HC + PC + SC + CRE \text{ ----- (13)}$$

$$TC' = TC \div Q \text{-----(14)}$$

$$Q = D \times f \times 2 \text{-----(15)}$$

TC' : 1 TEU 輸送コスト [USD/TEU]

TC: 年間輸送コスト [USD/年]

FC: 年間燃料コスト [USD/年]

HC: 年間荷役作業料金 [USD/年]

PC: 年間入出港料金 [USD/年]

SC: 船隊の年間船費 [USD/年]

CRE: コンテナ関係費 [USD/年]

Q: 年間輸送量 [TEU/年]

### 4. モデルを用いた感度分析

#### 4.1 大型化の感度分析

図7のように、船舶が大型化すると、荷役作業による1サイクル時間が増加し、週1回の寄港頻度を維持するため、必要隻数も増加する。その際に、1TEUにおける輸送コストも増加する。

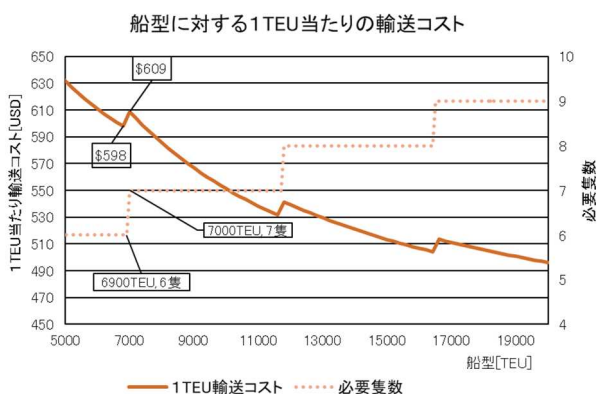


図7 船型と1TEU当たり輸送コストの関係

#### 4.2 減速航海の感度分析

図8より減速航海を行うことで、全ての船型におけるCO<sub>2</sub>の排出量が減少している。環境規制に対して、減速航海が有効である。

また、図9より減速航海に伴う必要隻数の増加による船舶コストの上昇分を、燃料コストの減少分で補っていることが分かった。

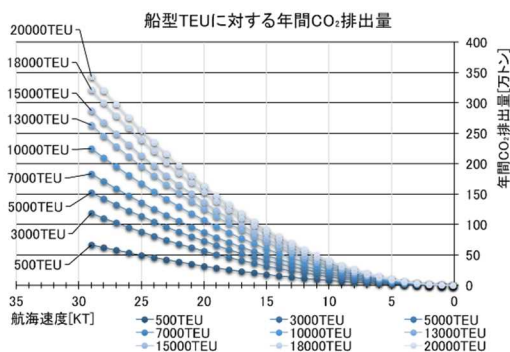


図8 船型別の減速航海によるCO<sub>2</sub>排出量

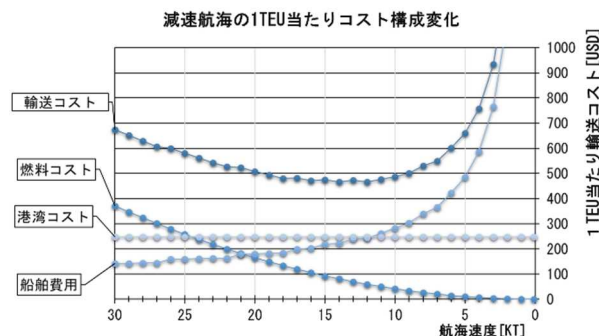


図9 減速航海による輸送コストの変化

### 5. 減速航海への考察

#### 5.1 大型化による隻数増加の減速航海

船舶の大型化に伴う必要隻数の増加は、図10に示すように、定期運行を行うため1隻あたり7日間の1サイクル時間の増加となる。この増加した時間を活用して、図11に示すように減速航海が可能となる。したがって、図12より船舶の大型化に伴う必要隻数の増加は、減速航海によるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が最も大きい。ただし、極端な大型化は、荷役時間の増加をもたらし、結果として削減効果が減少する。

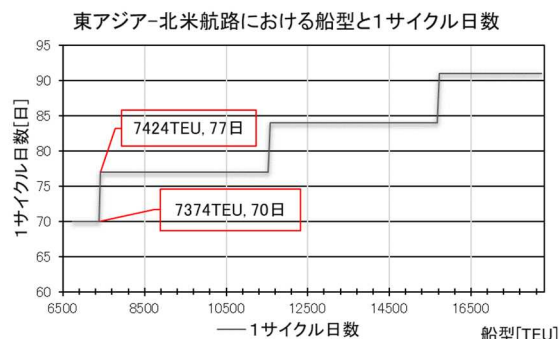


図10 大型化による1サイクル時間の変化

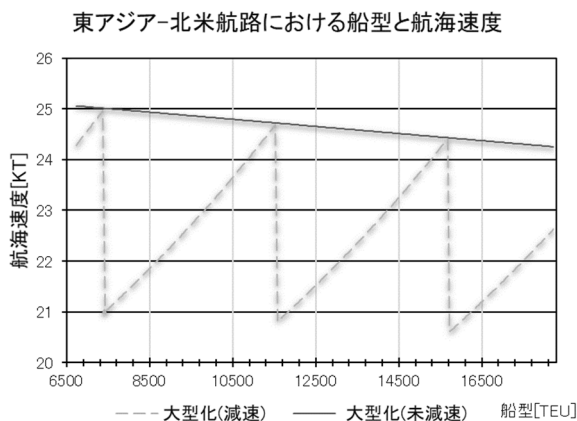


図11 大型化による隻数増加の減速航海

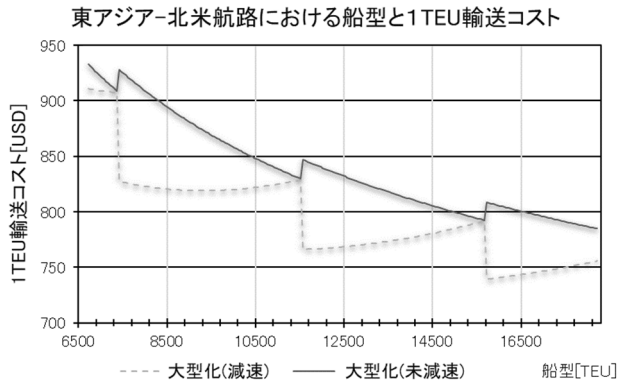


図 12 大型化の減速航海による輸送コスト関係

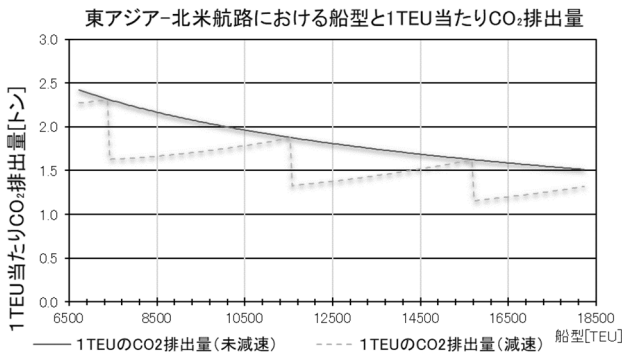


図 13 大型化の減速航海による CO<sub>2</sub>排出量関係

### 5.2 待機船舶の投入による減速航海

待機船舶を投入することで、図 14 に示すように、週 1 回の寄港サービスを維持して、減速航海を行うことができる。しかし、待機船舶の投入による減速航海については、図 15 に示すように、減速による燃料コストの削減効果を投入隻数の増加による船舶コストの増加が上回り、結果として輸送コストは下に凸となり、投入隻数には限界がある。

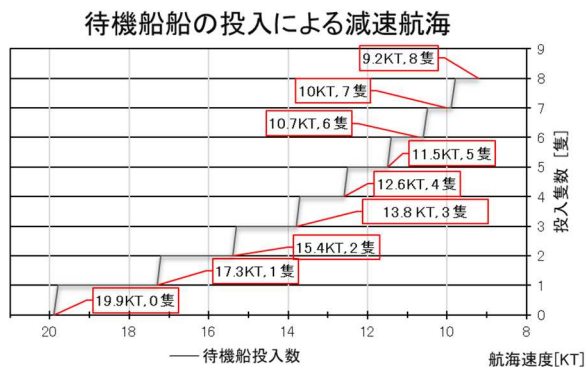


図 14 待機船の投入による減速航海

待機船舶の投入による航海速度と輸送コストの関係

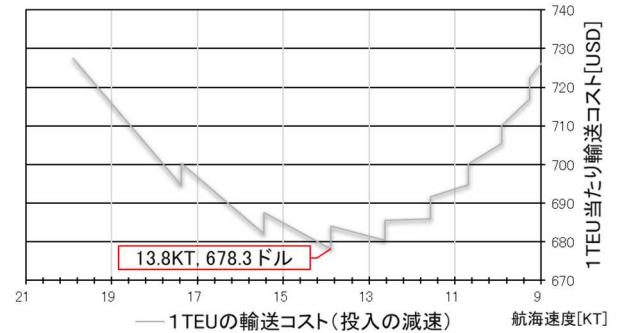


図 15 待機船投入の減速航海の輸送コスト変化

## 6. おわりに

本研究では、主要航路における船舶の大型化を考慮した上で、CO<sub>2</sub>排出量の削減に最も有効な対策の 1 つである減速航海について検討を行った。その結果、次のことが分かった。

- (1) 船舶の大型化と減速航海を同時に行う方策は、CO<sub>2</sub>排出量及び輸送コストの削減効果が最も大きくなっている。しかし、船舶の大型化に伴い、荷役時間が増加するため、週 1 回の寄港頻度を維持するために、隻数の増加が必要となる。また、荷主に対して、1 サイクル時間の増加による貨物のリードタイムが長くなるため、在庫の増加が生じる。
- (2) 待機船舶を投入する方策は、減速航海による CO<sub>2</sub>排出量及び輸送コストの削減に効果的である。海運会社にとっても、余剰船舶の活用というメリットがある。なお、投入隻数には輸送コストの変化から、適切な隻数があることが分かった。また、船舶の大型化と同じくリードタイムが長くなり、荷主に対しては在庫の増加が生じる。

## 参考文献

- (1) IEA, 国際エネルギー機関報告書  
(<https://www.iea.org/>)
- (2) 鈴木 武: 国総研資料 No. 494, コンテナ船および RORO 貨物船の燃料消費量と長距離内航 RORO 貨物船輸送における燃料価格上昇の影響, 2009. 1, 2-3
- (3) 黒川 久幸, 鶴田 三郎, 嶋 邦彦, 海上コンテナ輸送ネットワークの設計に関する研究 : 東・東南アジアを中心として, 日本航海学会論文 集 101(0), 259-269, 1999