

国際海運における環境費用を考慮した船舶速度の推計

花岡伸也

(東京工業大学)

This study estimates the speed of container vessels by vessel size considering the profit of shipping company with internalized CO₂ emissions cost in three selected routes (Shanghai from/ to Los Angeles, Rotterdam and Singapore). The results show that CO₂ emissions reduction impact is high enough with slower vessel speed, under the condition of small profit reduction. Internalized CO₂ price depends on vessel speed: lower vessel speed needs higher internalized CO₂ price. When CO₂ price is set to 22\$ per ton, vessel speeds with internalized CO₂ price are 18.5 to 20.2 knots (speed reduction of 7.1 to 12.3% from profit maximization speed) for vessels larger than 5000 TEU, 16.6 to 18.9 knots for 2000 to 4999 TEU, and 13.2 to 15.4 knots for smaller than 2000 TEU.

I はじめに

国際海運部門の燃料消費によるCO₂排出量は、世界の全排出量の約3%である。現状のまま削減策を取らない場合、国際貨物量の増加に比例して、2050年には2007年と比べて2.5～3.5倍に増加すると予測されている¹⁾。IMO（国際海事機関）のMEPC（海洋環境保護委員会）は、国際海運部門のCO₂排出削減手法を技術的手法、運航的手法、経済的手法の3つに分類している²⁾。2011年7月に開催されたMEPC62で海洋汚染防止条約が改正され、①技術的手法の一つとして2013年以降に建造される船舶に対するEEDI（Energy Efficiency Design Index）の導入、②運航的手法の一つとしてSEEMP（Ship Energy Efficiency Management Plan）の作成が、2013年1月から義務づけられた³⁾。また経済的手法についても、燃料油課金制度、排出量取引制度、課金還付制度など、いくつかの具体的な方法が検討されている⁴⁾。

本研究では、CO₂排出削減の運航的手法の一つである減速運航に着目する。2008年の燃料価格高騰以降、コンテナ船の減速運航が継続的に実施されている。2010年には世界の全コンテナ船の平均34.8%、5000-8000TEUは59.7%、8000TEU以上は80.0%と、大型船を中心に減速運航されており、また2008年と比べた2010年の船舶当たりの年間運航トンマイル数も、平均26.0%、5000-8000TEUは31.7%、8000TEU以上は33.9%と大きく減少した⁵⁾。2010年初旬には、アジア-欧州航路の約80%の大型コンテナ船が標準速度24-25knotsのところ17-19knotsで減速運航されており⁶⁾、2012年には大型コンテナ船による14knots未満の超減速運航（Super Slow Streaming）も実施されている⁷⁾。2008年の金融危機前に発注した船舶が2010年以降に順次竣工し、世界的な需要停滞も重なりコンテナ船が供給過多になったことで、供給量調整を目的とした減速運航も当初はあった。しかし、減速運航の主たる目的は燃料費節減である。船舶の単位時間当たりの燃料消費量は船舶速度の約3乗に比例することから、減速運航による燃料費削減効果は大きい。

ただし、減速運航によって燃料費とCO₂排出量は削減できるものの、利益に対してはどのような影響を与えるだろうか。また、航路や船舶サイズによってその影響は異なるだろうか。さ

らに、将来、何らかの経済的手法によって消費燃料あるいはCO₂排出量に課金される場合、船社の利益や船舶速度にどのような影響を与えるだろうか。

Corbett et al. (2009)⁸⁾は、船社の利益を最大化する速度を推計し、減速運航によるCO₂削減の限界排出削減費用を算出した。しかし、船舶サイズを考慮しておらず、また費用関数に運航時間が考慮されていない。Lindstad et al. (2011)⁹⁾は、コンテナ船だけでなくタンカーとRORO船の3種類の船舶について運航速度と費用およびCO₂排出量の関係を分析し、減速運航による費用とCO₂排出量の変化を計測している。しかし、この研究も船舶サイズを考慮した分析は行われていない。また、両研究ともにCO₂排出量課金の影響は検討されていない。なお、減速運航によってコンテナ船の運航体制が変化し、CO₂排出量が増加する場合もあり得ることを論じた研究もある^{10),11)}。

本研究では、環境費用であるCO₂排出量を内部化するときのコンテナ船の運航速度を、船舶サイズ別に推計する。本研究における内部化とは、CO₂排出量にCO₂価格を乗じた環境費用を船社が負担することを意味する。まず、運航速度と利益およびCO₂排出量の関係をそれぞれ分析し、船社の利益が最大になる速度およびCO₂排出量が最小になる速度を船舶サイズ別に推計する。次に、船社の利益とCO₂排出量の関係からCO₂排出量を内部化するときの運航速度を推計し、さらに航路および船舶サイズの影響を比較考察する。

II 分析の枠組み

1 船社の利益とCO₂排出量の推計方法

(1) 定式化

本研究では、船社の利益 π_{ijk} を推計する式1とCO₂排出量 E_{ijk} を推計する式2を用いる。船社の利益は、運航収入から運航費用（燃料費、船体の減価費用、貨物の機会費用）を引いたものである。式1の燃費費および式2の定式化にはCorbett et al. (2009)⁸⁾を参考とした。しかし、Corbett et al. (2009)⁸⁾では燃料費以外に時間によって変化する費用を考慮していない。そこで、式1の船体の減価費用と貨物の機会費用については、Lindstad et al. (2011)⁹⁾を参考に定式化した。一般に、貨物の機会費用は荷主が負担するものと考えられるが、本研究では時間によって変化する費用を明示的に示すため、機会費用を船社の費用項目に含めることとする。

$$1 \quad \pi_{ijk} = R_{ij}W_{ijk} - P\{MF_k(v_k/v_{kd})^3 + AF_k\}(D_{ij}/v_k) - TC_k[T_{ijkb} + \{D_{ij}/(24v_k)\}] \\ - W_{ijk} * C_M[T_{ijkb} + \{D_{ij}/(24v_k)\}](C_{IR}/365)$$

$$2 \quad E_{ijk} = 3.17\{MF_k(v_k/v_{kd})^3 + AF_k\}\{D_{ij}/(24v_k)\}$$

i: 仕出港, j: 仕向港, k: 船舶クラス, b: 通過港

R_{ij}: 運賃 (\$/TEU), P: 燃料価格 (\$/ton),

W_{ijk}: 平均輸送量 (TEU Capacity*Load Factor%)

MF_k, AF_k: エンジン主機・補機の単位時間当たりの燃料消費量 (g/h)
= エンジン出力 (kw)* 燃料消費率 (g/kwh)* 負荷率 (%)

v_k: 運航速度 (knot), v_{kd}: 設計速度 (knot), D_{ij}: 距離 (km),

TC_k: 船体減価額 (\$/day)

T_{ijkb}: 停泊時間 (day), C_M: 貨物の輸出価格 (\$/ton), C_{IR}: 年間金利 (%)

(2) データ

計算に必要な各データは次のように入手した。

MF_kとAF_kの算定には、主機と補機のエンジン出力(kw)、燃料消費率(g/kwh)、負荷率(%)のデータが必要になる。補機の出力、主機および補機の燃料消費率と負荷率については、IMO¹⁾の集計したコンテナ船サイズ別データを用いる。また、エンジン主機の出力データはLloyd's List Intelligenceから購入したデータ(2010年実績)を用いる。コンテナ船の運航実績データ(運航会社、船名、船型、仕出港、仕向港、通過港、出発時刻)およびそれに対応した船の特性データ(DWT容量、建造年、設計速度、船主)は、同様にLloyd's List Intelligenceのデータ(2010年実績)を用いる。この運航実績データより、船が途中通過した港に到着した時間と再出発した時間の差を計算し、各トリップの停泊時間を計算する。その他の入力データは表1のように設定する。

表1 入力データの設定

| | |
|--------------------------------|--|
| 運賃 R _{ij} [\$/TEU] | 日本海事センター (2011) ¹²⁾ を参照し下記に設定。 北米往航 2,548, 欧州往航 1,718, アジア域内 782 |
| 輸出価格 C _M [\$/ton] | Lindstad et al. (2011) ⁹⁾ を参考に 5000 に設定。 |
| 燃料価格 P [\$/ton] | 重油と仮定し Lindstad et al. (2011) ⁹⁾ を参考に 400 に設定。 |
| 年間金利 C _{IR} [%] | Lindstad et al. (2011) ⁹⁾ を参考に 5% に設定。 |
| 船体減価額 TC _k [\$/day] | Lindstad et al. (2011) ⁹⁾ でコンテナ船が 6000TEU のとき 30000\$/day と設定されていることを参考に船舶クラス別に設定。 8000TEU 以上 : 35000, 5000-7999TEU : 30000, 3000-4999TEU : 25000 2000-4999TEU : 20000, 1999TEU 以下 : 15000, 999TEU 以下 : 10000 |
| 距離 D _{ij} [km] | Google Map から推定。 |

2 対象航路と対象船舶

本研究では、コンテナ航路のケーススタディとして、コンテナ取扱量が世界最大の上海港を仕出港とする。また仕向港は、北米往航の代表をロサンゼルス港(以下、ロサンゼルスルート)、欧州往航の代表をロッテルダム港(以下、ロッテルダムルート)、アジア域内航路の代表をシンガポール港(以下、シンガポールルート)とし、この3ルートを対象航路とする。対象とする船舶サイズは、上記3航路で2010年に実際に運航されたコンテナ船とし、TEU別に、8000以上TEU, 5000-7999TEU, 3000-4999TEU, 2000-2999TEU, 1000-1999TEU, 999以下TEUの6クラスに分類する。以後、この分類を船舶クラスと呼ぶ。

運航実績データから各航路の通過港を確定し、運航距離およびトリップ毎の港湾停泊時間を算出したところ、ロサンゼルスルートの距離は11,632km、停泊時間は3.6日となった。同様に、ロッテルダムルートはそれぞれ21,310kmと1.73日、シンガポールルートはそれぞれ4,141kmと1.65日となった。

III 分析結果

1 最大利益速度および最小CO₂排出量速度の推計

ここではロサンゼルスルートを例として、運航速度と船社の利益およびCO₂排出量との関係を推計する。結果を図1と図2に示す。各船舶クラスには最大運航可能速度である設計速度があり、標準運航速度である設計速度の95%⁵⁾までを各船舶クラスの速度の上限として推計した。

図1から明確にはわからないものの、各船舶クラスの利益にはピーク値となる利益最大速度が存在する。例えば8000以上TEUクラスの時、利益最大時の速度は21.0knotsである。ピーク値があるのは、式1において、速度上昇によって燃料費が増加するものの、船体の減価費用と貨物の

機会費用が減少し、相殺関係があるからである。また、どの船舶クラスにおいても、船社の利益は10.0knots前後までに最大利益速度に近くなり、その後は緩やかに増加している。

最小CO₂排出量となる速度は6.0～8.0knotsと非常に低速であるものの、その後しばらくは速度を上げて排出量は緩やかに上昇する形状となっている。

最大利益速度と最小CO₂排出量速度について3航路を比較した結果を表2に示す。ほぼ同じ結果を示しており、船舶クラスが小さくなるにつれて、最大利益および最小CO₂排出量となる速度が少しずつ下がる傾向にある。どの航路でも、標準運航速度と最大利益速度の差は1knot以上あるが、999以下TEUクラスのみ標準運航速度とほとんど同じ速度が最大利益となっている。

図1 利益と速度の関係（ロサンゼルスルート）

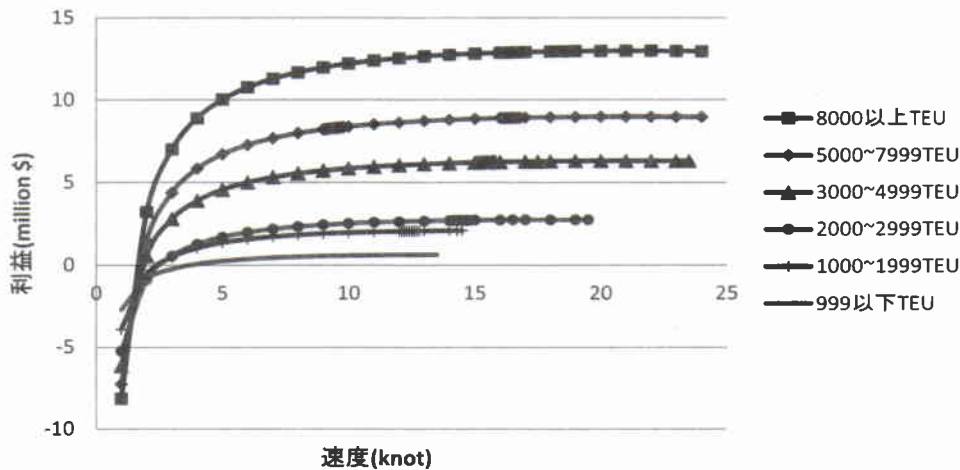


図2 CO₂排出量と速度の関係（ロサンゼルスルート）

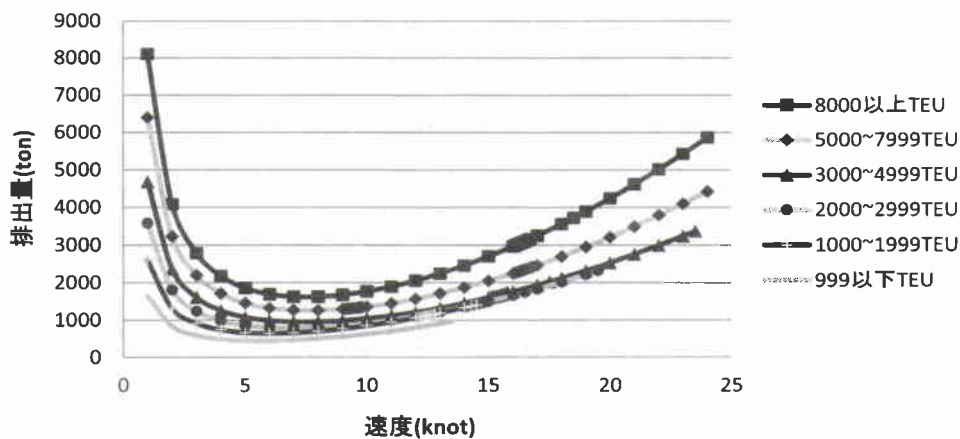


表2 最大利益速度と最小CO₂排出量速度 [単位：knot]

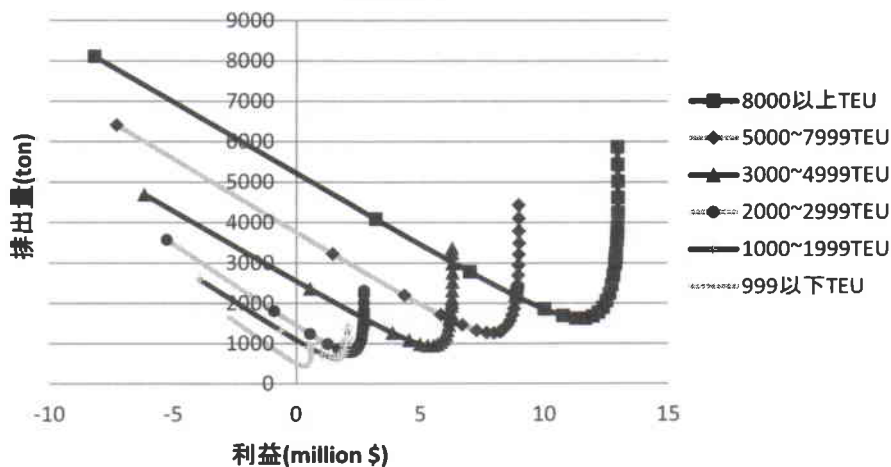
| 船舶 クラス [TEU] | ロサンゼルス ルート | | ロッテルダム ルート | | シンガポール ルート | |
|-----------------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|
| | 最大利益 | 最小排出 | 最大利益 | 最小排出 | 最大利益 | 最小排出 |
| 8000 以上 | 21.0 | 8.0 | 22.0 | 8.0 | 22.0 | 8.0 |
| 5000-7999 | 21.0 | 8.0 | 21.0 | 7.0 | 21.0 | 8.0 |
| 3000-4999 | 21.0 | 7.0 | | | 21.0 | 7.0 |
| 2000-2999 | 18.0 | 7.0 | 20.0 | 7.0 | 20.0 | 7.0 |
| 1000-1999 | 14.8 | 6.0 | 18.0 | 7.0 | 18.0 | 7.0 |
| 999 以下 | 13.5 | 6.0 | 14.5 | 6.0 | 15.0 | 6.0 |

*注 ロッテルダムルートの3000-4999TEUクラスは運航実績なし。

図1と図2から、船社の利益が高いところを維持しつつ、CO₂排出量をできるだけ最小化できる速度を検討する。図3はロサンゼルスルート为例に、船社の利益とCO₂排出量について、同じ速度の両者の数値をプロットしたものである。どの船舶クラスでも類似の形状を示している。左端は超低速時であり、利益は負でかつCO₂排出量が大きくなる最も望ましくない状態である。そこから速度を上げるにつれて、利益は急上昇し排出量も大きく下がる。そして、最小CO₂排出量となる速度を超えてからは、利益の緩やかな上昇に対して急激に排出量が増加する。この領域では、利益の変化に対してCO₂排出量変化の感度が大きい。この傾向は他のルートも同様である。

以上より、最小CO₂排出量となる速度を超える領域では、減速運航が利益減少に大きな影響を与えずにCO₂排出量を削減できることが示された。

図3 船社利益とCO₂排出量の関係（ロサンゼルスルート）



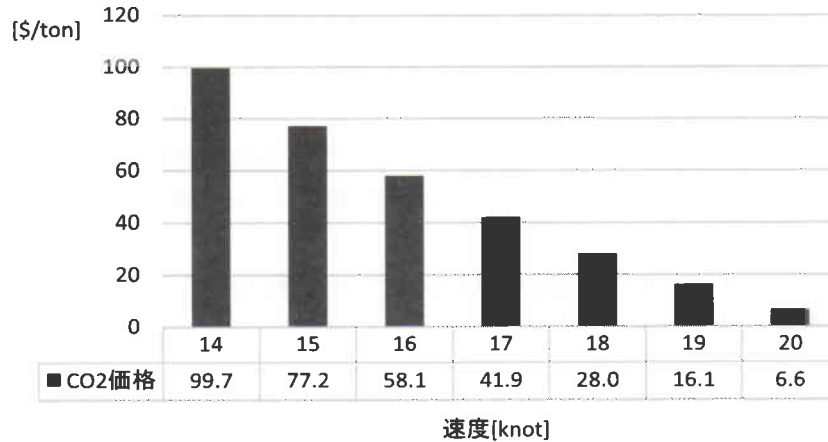
2 環境費用内部化時の運航速度

国際海運部門のCO₂排出量削減を目的とした経済的手法が適用され、船社が燃料消費によって排出するCO₂を環境費用ECとして負担すると仮定する。ここで、「最大利益速度からの速度低下による利益減少量 $\Delta\pi$ 」と「最大利益速度からの速度低下によるCO₂排出量削減量 ΔE にECを乗じた $\Delta E \cdot EC$ 」とが一致するとき、両者は等価であり環境費用を内部化したと見なすことができる。そこで、ECを経済的手法で用いるCO₂価格とみなし、 $\Delta\pi = \Delta E \cdot EC$ を満たすCO₂価格と運航速度の関係を、感度分析による試行錯誤によって求める。つまり、表2から各ルート・船舶クラスの最大利益速度がわかることから、CO₂価格をある数値に設定し、 $\Delta\pi$ と $\Delta E \cdot EC$ が近づく数値を試行錯誤により見つけていく。

ロサンゼルスルートの8000以上TEUクラスを事例として、船舶速度に対応したCO₂価格を図4に示す。最大利益となる21knotsから1knotずつ14knotsまで速度を下げた結果、速度削減分のCO₂価格は加速度的に増加し、14knotsではトン当たり100ドルに近い価格となった。

次に、経済的手法によってCO₂価格が定まったとき、その価格を環境費用として内部化する運航速度を推計する。CO₂価格は取引する市場や経済状況によって大きく変動しており、適切と呼べる数値は事実上ない。本研究では、CO₂価格をトン当たり22ドルと設定し、これを内部化したときの運航速度を分析する。欧州連合域内排出量取引制度（EU ETS）で用いられているEUA（European Union Allowance）が2009年から2010年にかけて15ユーロ前後で推移しており、近年では比較的安定していたことから¹³⁾、当時のドル・ユーロの為替レートからこのCO₂価格を用いることとした。

図4 速度と環境費用を内部化するCO₂価格の関係
(ロサンゼルスルート8000以上 TEUクラスの例)



まず、CO₂価格が22ドルのときの環境費用内部化速度と利益最大速度からの減速率を、航路別船舶クラス別に表3に示す。環境費用の内部化には、利益最大速度と比べて2.2～14.4%の減速が必要になることがわかる。2010年当時、平均で約35%の船社が10%前後の減速運航を実施していた³⁾。CO₂価格の設定に大きく依存することは自明であるが、22ドルの時には環境費用を内部化する減速運航は十分に実現可能である。

表3 航路別船舶クラス別環境費用内部化速度と利益最大速度からの減速率

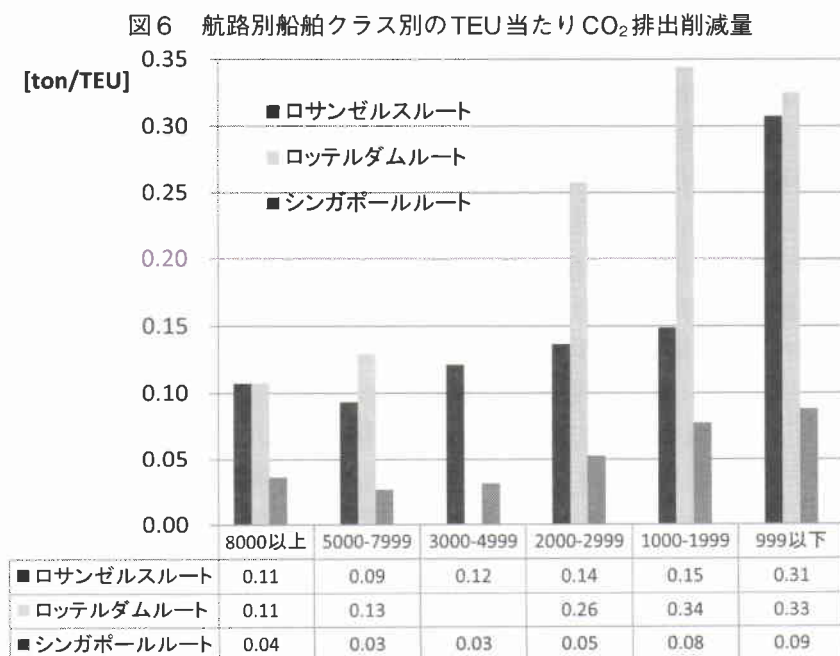
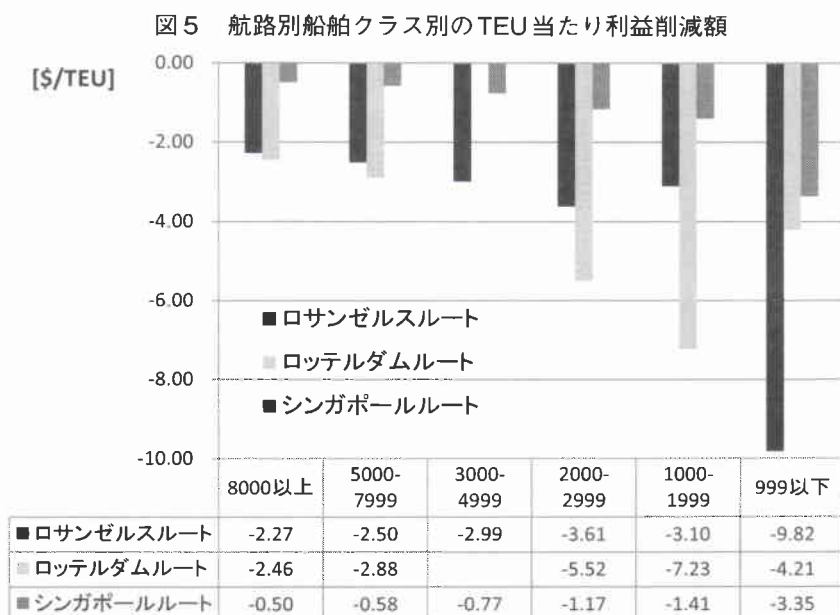
| 船舶クラス | ロサンゼルスルート | | ロッテルダムルート | | シンガポールルート | |
|-----------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | 内部化速度(knots) | 減速率(%) | 内部化速度(knots) | 減速率(%) | 内部化速度(knots) | 減速率(%) |
| 8000以上 | 18.9 | -10.0% | 20.2 | -8.2% | 19.3 | -12.3% |
| 5000-7999 | 18.5 | -11.9% | 19.5 | -7.1% | 19.2 | -8.6% |
| 3000-4999 | 18.0 | -14.3% | | | 18.9 | -10.0% |
| 2000-2999 | 16.6 | -7.8% | 17.8 | -5.6% | 17.8 | -11.0% |
| 1000-1999 | 14.4 | -2.7% | 14.9 | -12.4% | 15.4 | -14.4% |
| 999以下 | 13.2 | -2.2% | 14.1 | -2.8% | 14.4 | -4.0% |

表4 航路別利益減額・率とCO₂排出削減量・率

| 船舶クラス | ロサンゼルスルート | | ロッテルダムルート | | シンガポールルート | |
|-----------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | 利益減(率) [million \$] | 削減量(率) [ton] | 利益減(率) [million \$] | 削減量(率) [ton] | 利益減(率) [million \$] | 削減量(率) [ton] |
| 8000以上 | 0.019 (0.15%) | 895.4 (19.39%) | 0.023 (0.29%) | 954.2 (11.90%) | 0.005 (0.11%) | 327.3 (20.06%) |
| 5000-7999 | 0.012 (0.13%) | 546.0 (15.64%) | 0.020 (0.35%) | 876.4 (12.79%) | 0.003 (0.13%) | 159.4 (12.68%) |
| 3000-4999 | 0.022 (0.34%) | 505.4 (19.95%) | | | 0.005 (0.28%) | 124.8 (13.90%) |
| 2000-2999 | 0.007 (0.22%) | 272.8 (13.50%) | 0.018 (0.92%) | 727.6 (18.09%) | 0.003 (0.28%) | 134.8 (17.98%) |
| 1000-1999 | 0.003 (0.13%) | 31.3 (2.21%) | 0.014 (1.92%) | 445.9 (18.12%) | 0.009 (1.14%) | 120.0 (22.69%) |
| 999以下 | 0.015 (2.37%) | 181.7 (18.96%) | 0.002 (2.08%) | 86.6 (5.43%) | 0.001 (0.53%) | 23.6 (6.59%) |

次に、環境費用内部化による船社利益減額とその率、並びにCO₂排出削減量とその率を航路別船舶クラス別に表4に示す。上の数値は量を、下の括弧内の数値は率を示す。利益の減額率はほとんどのルートと船舶クラスにおいて1%にも至らず、最大でも約2%である。その一方で、CO₂排出削減率は概ね10～20%の範囲に含まれており、利益と比較して大きな削減量を実現できることがわかる。3航路を比較すると、シンガポールルートは利益削減額が最も小さく、CO₂排出削減量も同様に小さい。逆に、ロッテルダムルートは利益削減額もCO₂排出削減量も大きい。これはルートの輸送距離に比例した結果である。ただし、CO₂排出量の削減率はシンガポールルートも十分大きい。

環境費用を内部化した速度を実施するときの、船舶クラス別の利益削減額およびCO₂排出削減量について、TEU当たりの数値はどうなるだろうか。図5はTEU当たりの利益削減額を航路別船舶クラス別に示している。船舶クラスが小さくなるほど、TEU当たりの利益損失額が大きくなっている。図6はTEU当たりのCO₂排出削減量を航路別船舶クラス別に示している。こちら



も船舶クラスが小さいほどTEU当たりの削減量が大きくなっている。つまり、小さな船舶クラスほど、減速によるTEU当たりの利益削減は大きいと同時にCO₂排出削減量も大きい。航路を比較すると、ルートの輸送距離に比例して、シンガポールルートで両者のインパクトは小さく、ロッテルダムルートで大きくなっている。

3 船舶クラス構成と船舶数の影響

各航路の船舶クラス別船隻数(2010年実績値)を表5に示す。ルートによって構成は大きく異なり、欧州航路であるロッテルダムルートでは、8000TEU以上クラスのコンテナ船が74%も占めている。一方、北米航路であるロサンゼルスルートでは5000-7999TEUクラスが最も多く、アジア域内航路であるシンガポールルートでは小型コンテナ船が主流である。ただし、シンガポールルートの運航隻数は非常に多い。

経済的手法実施によるCO₂排出量削減効果をルート別に単純比較すると、1隻当たりでは大型コンテナ船の利用が主流で距離も長いロッテルダムルートで効果が高いものの、CO₂排出総量では総隻数が圧倒的に多いシンガポールルートにてより大きな効果が期待できる。

表5 航路別船舶クラス別船隻数とシェア

| 船舶クラス | 8000 以上 | 5000-7999 | 3000-4999 | 2000-2999 | 1000-1999 | 999 以下 |
|-----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ロサンゼルスルート | 18 (21%) | 36 (41%) | 17 (19%) | 1 (1%) | 11 (13%) | 4 (5%) |
| ロッテルダムルート | 37 (74%) | 8 (16%) | | 1 (2%) | 1 (2%) | 3 (6%) |
| シンガポールルート | 94 (10%) | 142 (16%) | 198 (22%) | 128 (14%) | 122 (14%) | 221 (24%) |

IV 結 論

本研究では、船社の利益が最大になる速度とCO₂排出量が最小になる速度を推計した。両者の速度との関係进行分析した結果、最小CO₂排出量となる速度を超える領域では、減速運航によって、利益減少に大きな影響を与えずにCO₂排出量が削減できることを航路別船舶クラス別に示した。この関係は、現実に減速運航が継続的に実施されている根拠となり得るものである。また、環境費用を考慮した船舶速度として、CO₂排出による環境費用を内部化した時のコンテナ船の速度を推計した。減速する速度によって環境費用を内部化するCO₂価格は異なること、また利益の削減量と比較して大きなCO₂排出量削減ができることを示した。以上の結果は、Corbett et al. (2009)⁸⁾ およびLindstad et al. (2011)⁹⁾ では分析されていなかった点であり、本研究の成果である。運航的手法の一つである減速運航と経済的手法を組み合わせることで実施することにより、より効果的に国際海運部門からのCO₂排出量削減が期待される。

ただし、本研究の推計結果は多くの仮定の上で成り立っている。運賃の変動は需要の変動に依存し、日々最も大きく変化しているものの、本研究では固定としている。距離に関しても、天気などの影響より、途中経過する港湾が同じであっても必ずしもそのルートを辿るとは限らない。また船舶の減価についても、仮定的な数値に基づいて計算を実施した。以上は今後の課題である。

付 記

本研究は、環境省・環境研究総合推進費戦略的研究開発領域(S-6-5)「アジアにおける低炭素

交通システム実現方策に関する研究」の支援により実施された。また、東京工業大学元修士学生の張霽芳さんにはデータ集計と分析にご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) International Maritime Organization (IMO), *Second IMO GHG Study 2009*, 2009.
- 2) 日本船舶技術研究協会「国際海運における温室効果ガス排出削減に向けた総合対策」, 2010.
- 3) 国土交通省報道発表資料「国際海運における世界初のCO₂排出規制の導入について」, 2011年7月19日。および「国際海運からのCO₂排出削減のための条約改正に伴うCO₂排出規制の開始について」, 2012年9月6日。
- 4) 森本清二郎, 李志明, 松田琢磨「国際海運のCO₂排出削減のための経済的手法—検討の現状と今後の論点—」, 『海運経済研究』, 第44号, 2010。
- 5) United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), *Review of Maritime Transport 2010*, 2011.
- 6) Bergh, I., "Optimum speed-from a shipper's perspective", *DNV Container Ship Update*, No.2, Oct. 2010.
- 7) Alphaliner, *Weekly Newsletter*, No.36, Aug. 2012.
- 8) Corbett, J.J., Wang, H.F. and Winebrake, J.J., "The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping", *Transportation Research Part D*, Vol.14, No.8, Dec, 2009.
- 9) Lindstad, H., Asbjørnslett, B. E. and Strømman, A. H., "Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds", *Energy Policy*, Vol.39, No.6, Jun. 2011.
- 10) Psaraftis, H.N. and Kontovas, C.A., "Balancing the economic and environmental performance of maritime transportation", *Transportation Research Part D*, Vol.15, No.8, Dec, 2010.
- 11) Cariou, P. and Cheaitou, A., "The effectiveness of a European speed limit versus an international bunker-levy to reduce CO₂ emissions from container shipping", *Transportation Research Part D*, Vol.17, No.2, Mar, 2012.
- 12) 日本海事センター「海運市況及び海運企業動向等」, 2011年12月20日。
- 13) 国際協力銀行「排出権市場動向レポート 2010」, 2010年7月30日。