

## 国際海上コンテナ輸送における CO2 排出量削減策 の実行可能性に関する研究

海運ロジスティクス専攻 0855015 高野 智貴  
指導教員 黒川 久幸

### 第 1 章 序論

#### 1.1 研究背景と必要性

現在、世界的に地球温暖化が問題になっており、それを受けて、京都議定書では先進国全体で 5%の削減を義務付けている。

しかし、外航海運についてはその複雑性、専門性から京都議定書では検討されず、国際海事機関（IMO）に任されることになった。外航海運から排出される温室効果ガス（GHG）は IMO の推定値で 8.5 億トンといわれ、国別でみるとインドに次ぐ世界第 6 位の排出量になっている。また、外航海運の荷動き量、船腹量は今後増加すると考えられ、それに伴い温室効果ガス排出量も増加すると考えられる。以上のことから、外航海運における CO2 排出量削減への取り組みは必須といえる。

#### 1.2 研究目的

国際海運からの CO2 排出量の推計の既存研究としては、IMO、IEA 等の推計、国内の研究では、国土総合技術研究所の研究と、シップ・アンド・オーシャン財団等がある。これらの研究では国際海運全体から排出される CO2 排出量が求められている。また、減速航海、船型の大型化等の CO2 排出量削減策を行った場合の効果についても検討を行っている。

しかし、それらの研究では船舶の運航に関する隻数、運航間隔の変化が考慮されておらず、結果として荷主や船社に対する費用面の検討が行われていない。CO2 排出削減策においてはそれが実行可能でなければ意味がなく、費用面等も含めた実行可能性の検討が必要である。

そこで、本研究では CO2 排出削減策の実行可能性を次の 3 つの視点から検討する。社会的な視点から CO2 排出量を評価し、船社と荷主の視点から削減策の実行に伴う費用負担を評価する。

### 第 2 章 国際海運の現状

#### 2.1 IMO における取組み

外航海運に関する温室効果ガスの削減については京都議定書により IMO が取り組むことになっている。現在の IMO における取組みとしては以下の 4 つあげられる。

- ① GHG 排出削減対策に関する原則の制定
- ② CO2 排出設計指標の開発
- ③ 経済的手法
- ④ 船舶からの CO2 排出削減のためのベストプラクティス

①は GHG 排出削減対策に関する原則は 9 つあり、そのなかで、CO2 排出量の削減に当たっては、費用面などから見て実行の可能性があることが重要であるとされている。④のベストプラクティスは減速運行、ウェザールーティングのことを指す。本研究で対象とする CO2 削減策はここにある減速航海等を対象とする。

#### 2.2 国際コンテナ定期輸送の現状

本研究では国際輸送ハンドブックのデータを使用する。地域は東アジアとその他の地域間のコンテナ定期船航路を対象とした。

国際輸送ハンドブックから集計した地域別のコンテナ輸送の概要を表 2.1 に示す。この表において、往路は東アジア発の航海を指し、復路は東アジア着の航海を指す。消席率は往路と復路に分けて表記した。

表 2.1 地域別の前提条件の数字

	北米	南米	欧州	アフリカ	オセアニア	中東・南ア	東ア域内
航路数	73	53	77	28	44	69	372
平均 TEU	4986	2995	6303	2605	2417	3059	1007
平均速度(ノット)	23.9	21.5	24.3	21.4	20.5	21.6	17.6
平均乗速度(ノット)	19.2	17.3	17.6	14.4	17.2	14.8	12.4
平均船齢(年)	8.5	9.2	8.2	10.1	10.9	10.7	17.3
運航間隔(日)	7.8	8.3	7.2	7.5	9.3	8.1	7.0
隻数	7.6	8.8	9.0	7.7	4.6	5.9	2.3
平均輸送距離(マイル)	20237	23533	22699	16740	13084	12619	3613
消席率往路	79.4%	27.2%	50.6%	47.1%	25.8%	28.8%	
消席率復路	34.4%	15.3%	19.5%	13.0%	16.2%	8.0%	75.8%

本研究ではここで記した 719 航路を対象に計算を行う。このうち、データの記載がない航路については他の航路の平均値から数値を求めた。

### 第3章 CO2 排出量及び費用の定式化

#### 3.1 CO2 排出量

CO2 排出量の計算式を示す。ここでは輸送における CO2 排出量と荷役時の CO2 排出量を扱う

$$P_i = C_{\text{eff}} \times TR_i + P_{li} \quad \text{式 (3.1.1)}$$

$$P_{\text{total}} = \sum_{i \in I} P_i \quad \text{式 (3.1.2)}$$

$P_{\text{total}}$  : 総 CO2 排出量 (t-CO2/年)

$TR_i$  : 航路 i における輸送 TEU マイル

$C_{\text{eff}}$  : 航路 i における CO2 排出原単位 (t-CO2/TEU マイル)

$P_{li}$  : 荷役時における CO2 排出量 (t-CO2/年)

#### 輸送量

以下に 1 航路における輸送量の計算式を示す。

$$TR_i = W_i \times f_i \times Lf_{\text{area}} \times d_i \quad \text{式 (3.1.3)}$$

$W_i$  : 航路 i における船舶の船型 TEU

$f_i$  : 航路 i における寄港頻度

$Lf_{\text{area}}$  : 航路 i の地域における消費席率

$d_i$  : 航路 i における輸送距離 (マイル)

#### CO2 排出原単位

CO2 排出原単位の計算式を示す。ここではまず燃料消費量を求めた後、その燃料から排出される CO2 量に換算する

$$F_{oi} = 6.87 \times 10^{-5} (\text{DSP}_i - (1 - 0.65 \cdot Lf_{\text{area}}) \cdot$$

$$\text{DWT}_i) \cdot \text{DSP}_i^{-\frac{1}{3}} \cdot v_i'^2 \times (1 + \frac{0.05 \times \text{age}_i}{10}) \quad \text{式 (3.1.4)}$$

$$\text{DSP}_i = 1.37 \cdot \text{DWT}_i + 1660 \quad \text{式 (3.1.5)}$$

$$\text{DWT}_i = W_i \times 10.8 + 12400 \quad \text{式 (3.1.6)}$$

$F_{oi}$  : 航路 i における燃料消費量 (kg/km)

$\text{DSP}_i$  : 航路 i における船舶の満水排水トン

$\text{DWT}_i$  : 航路 i における載貨重トン

$\text{age}_i$  : 航路 i における平均船齢 (年)

$$C_{\text{eff}} = \left( \frac{F_{oi}/1.852}{\text{TEU}_i \times Lf_{\text{area}}} \right) \times 2.999 \quad \text{式 (3.1.7)}$$

#### 荷役時 CO2 排出量

以下に荷役における CO2 排出量の計算式を示す。

$$P_{li} = (C_{gl} + C_{cl} + C_{yl}) \times W_i \times 8 \times Lf_{\text{area}} \times f_i \times 2 \quad \text{式 (3.1.8)}$$

$C_{gl}$  : ガントリークレーンによる CO2 排出量原単位 (t-CO2/t)

$C_{cl}$  : トランスファークレーンによる CO2 排出量原単位 (t-CO2/t)

$C_{yl}$  : ヤードシャーンによる CO2 排出量原単位 (t-CO2/t)

#### 3.2 費用

##### 荷主費用

荷主の費用計算式は以下のとおりである。このうち  $E_2$

の輸送費は船社の費用を含むため、荷主の費用は総費用と等しくなる。

本研究では海上輸送に関係のない  $E_1$ 、算定の困難な  $E_4$  は計算対象から除外した。  $E_2$  の計算は船社の計算で述べる。ここでは  $E_3$  の計算方法のみを示す。

$$E_{oi} = E_{1i} + E_{2i} + E_{3i} + E_{4i} \quad \text{式 (3.2.1)}$$

$$C_{\text{total}} = \sum_{i \in I} C_i \quad \text{式 (3.2.2)}$$

$E_{oi}$  : 荷主費用 (円/年)

$E_{1i}$  : 仕入費 (円/年)

$E_{2i}$  : 輸送費 (円/年)

$E_{3i}$  : 保管費 (円/年)  $E_1 = u \cdot D$

$E_{4i}$  : リスク費 (円/年)

$$E_3 = \gamma \left( \frac{\mu_i \cdot \tau_i}{2} \right) \quad \text{式 (3.2.3)}$$

$\gamma$  : 保管単価 (円/ (TEU · 年))

$\mu_i$  : 平均需要量 (TEU/日)

$\tau_i$  : 運行間隔 (日)

$$\gamma = 0.007744 \cdot r \cdot \frac{D_i}{\left( \frac{\mu \cdot \tau}{2} \right)} \quad \text{式 (3.2.4)}$$

$r$  : 商品価格 (円)

$$\tau_i = \frac{2d_i}{N_i \cdot v_i'} \quad \text{式 (3.2.5)}$$

$d_i$  : 航路 i における距離 (マイル)

$N_i$  : 投入隻数 (隻)

$v_i'$  : 船速 (ノット)

##### 船社費用

船社の費用の計算式を以下に示す。燃費、港費、荷役費、船費の合計が船社の費用となる。また、船社の費用は荷主の輸送費と等しい。

$$E_{si} = E_{2i} \quad \text{式 (3.2.6)}$$

$$E_{si} = N_i + C_i \quad \text{式 (3.2.7)}$$

$$N_i = g_i + p_i + l_i \quad \text{式 (3.2.8)}$$

$E_{si}$  : 航路 i における船社費用 (円/年)

$N_i$  : 航路 i における運行費 (万円)

$C_i$  : 航路 i における船費 (万円)

$g_i$  : 航路 i における燃費 (万円)

$p_i$  : 航路 i における港費 (万円)

$l_i$  : 航路 i における荷役費 (万円)

$$g = c_1 \cdot \left( \frac{C_{\text{eff}}}{2.999} \right) \cdot TR \quad \text{式 (3.2.9)}$$

$c_1$  : 燃料油単価 (万円/トン)

$$p = (c_2 \cdot W + c_3) \cdot f \quad \text{式 (3.2.10)}$$

$c_2$  : 入出港係数 (傾き) (万円/TEU)

$c_3$  : 入出港係数 (切片) (万円)

$$l = c_4 \{ (1 + c_5) \cdot D_i \} \quad \text{式 (3.2.11)}$$

$c_4$  : 荷役費 (万円/TEU)

$c_5$  : 検数料金比率

$$C = (c_6 \cdot hu_i \cdot n) + (c_8 + c_9 + c_{10}) \cdot c_7 \cdot W_i \cdot n_i \quad \text{式 (3.2.12)}$$

$c_6$  : 船員費 (万円/人)

$c_7$  : 1 TEU 当たり船価 (円/TEU)

$c_8$  : 船舶修繕費係数

$c_9$  : 船舶償却係数

$c_{10}$  : 船舶利息係数

$hu_i$  : 航路  $i$  における船員数 (人/隻)

## 第4章 CO2 排出量及び費用

### 4.1 CO2 排出量計算値の分析

以下に CO2 排出量と総費用の計算結果を示す。CO2 排出量で見ると輸送量が多く、輸送距離の長い北米・欧州航路の CO2 排出量が多いこと、また費用も大きいことが分かる。これに対し、アフリカ航路、オセアニア航路のような輸送量の少ない航路は CO2 排出量も費用も少ないことが分かる。

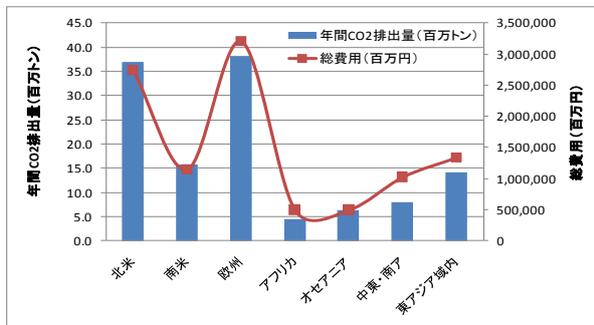


図 4.1 年間 CO2 排出量と総費用の関係

次に、1 TEU マイル当たりの CO2 排出量で見た場合輸送量の多い北米・欧州航路ほど小さく、輸送量の少ない航路で高い数字を示す。

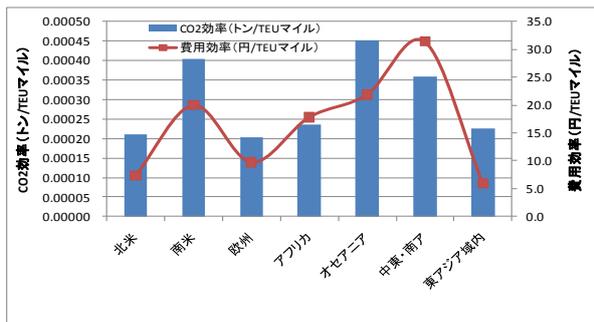


図 4.2 CO2 排出効率と費用効率の関係

地域別の費用の内訳を以下の図 4.4.3 から費用の内訳

としては船費、荷役費、燃費が多いことが分かる

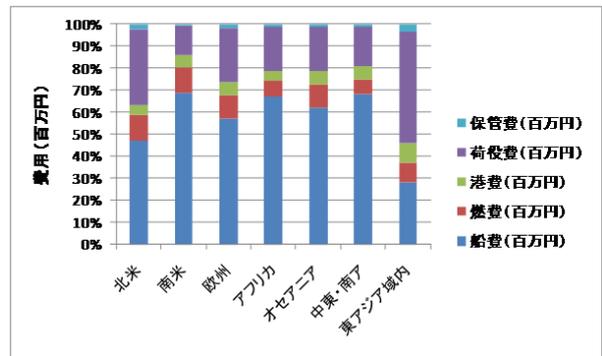


図 4.3 地域別費用内訳

## 第5章 CO2 排出量削減策の実行可能性の検討

### 5.1 検討概要

CO2 排出量削減策は以下の 4 パターンについて検討を行う。

表 5.1 CO2 排出削減策まとめ

CO2 排出量削減策	CO2 排出量削減策概要
減速航海	実速度減少、隻数増加
船型大型化	TEU 増加、隻数減少、寄港頻度減少
消席率向上 (船型縮小)	消席率向上、TEU 減少
消席率向上 (寄港頻度減少)	消席率向上、寄港頻度減少、実速度減少

CO2 排出削減策の実行可能性については、主体ごとに削減策についての評価を行い。その評価を総合して判断した。評価項目、評価段階を以下に示す。評価は全ての削減策における変化量から効果の大きい場合を 5、小さい場合を 0 として 6 段階で相対評価した。実行可能性については主体別の評価を元に 4 段階で評価した。

表 5.2 実行可能性の評価

主体	評価項目	評価
社会	CO2 排出削減量	0-5
船社	船社費用	0-5
	必要隻数	0-5
荷主	荷主費用	0-5
	運航間隔	0-5
実行可能性		◎○△×

削減策の検討においては減速航海の場合について詳細に説明する。他の削減策については、削減策のまとめでその特徴を説明する。

### 5.2 減速航海の実現可能性検討

減速航海における CO2、費用の変化を示す

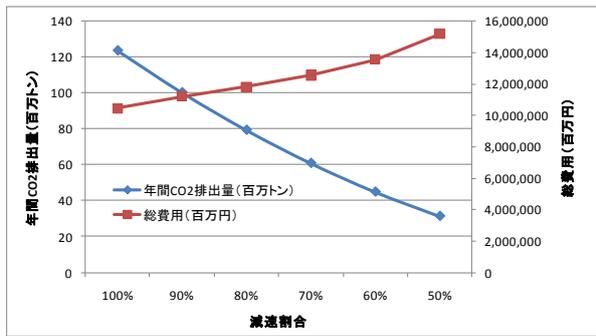


図 5.1.1 減速航海における総 CO2、費用変化

減速航海においては総 CO2 排出量の削減量は多いが、費用の増加も大きい。社会的な効果は高いが、船社、荷主に高い費用の負担が発生する削減策であるといえる。

次に地域別の実行可能性について、50%の減速時の結果をもとに考察する。

表 5.3 社会的な視点からの評価

視点	項目	北米航路	南米航路	欧州航路	アフリカ航路
CO2	総CO2排出削減量(百万トン)	28	12	29	73
	削減割合	75%	75%	75%	75%
	CO2排出効率変化(トン/TEUマイル)	0.00018	0.00030	0.00015	0.00018
	1航路当たりCO2排出削減量(トン)	190,170	112,068	185,278	58,482
	社会的評価	5	2	5	1

視点	項目	オセアニア航路	中東・南ア航路	東アジア域内航路
CO2	総CO2排出削減量(百万トン)	5	6	10
	削減割合	75%	75%	74%
	CO2排出削減量(トン/TEUマイル)	0.000336975	0.000268442	0.000165483
	1航路当たりCO2排出削減量(トン)	52,806	43,340	27,785
	社会的評価	1	1	2

地域別でみた CO2 排出量の削減量は北米航路、欧州航路が大きい。反対に 1 TEU マイル当たりの効率の面からみると、南米、オセアニア、中東・南ア航路の数値が高く効率的に CO2 排出量が改善されているといえる。

表 5.4 船社の視点からの評価

視点	項目	北米航路	南米航路	欧州航路	アフリカ航路
船社	船社費用増加額(百万円)	1,019,197	698,947	1,563,078	298,296
	1航路当たり費用増加額(百万円)	7,029	6,594	10,150	5,327
	船社費用増加割合	39%	64%	52%	62%
	船社費用評価	0	1	0	2
	隻数増加	1,071	946	1,376	426
	1航路あたり隻数増加	7	9	9	8
	隻数増加割合	98%	102%	99%	99%
	隻数評価	0	1	0	2

視点	項目	オセアニア航路	中東・南ア航路	東アジア域内航路
船社	船社費用増加額(百万円)	266,392	627,371	292,167
	1航路当たり費用増加額(百万円)	2,993	4,579	785
	船社費用増加割合	57%	65%	24%
	船社費用評価	2	1	2
	隻数増加	409	774	849
	1航路あたり隻数増加	5	6	2
	隻数増加割合	100%	99%	100%
	隻数評価	2	1	1

費用から見た場合、北米、欧州航路は費用の総かが大きく、船社の実行可能性が低いことが分かる。また、隻数の増加量も多く、船社から見ると減速航海はマイナス効果が著しく大きい。同様の傾向が全ての地域で見られるが、東アジア域内航路は隻数の増加が少ないため、他の地域に比べ、比較的执行しやすい地域であることが分かった。

表 5.5 荷主の視点からの評価

視点	項目	北米航路	南米航路	欧州航路	アフリカ航路
荷主	荷主費用増加額	1,019,197	698,947	1,563,078	298,296
	1航路あたり荷主費用増加額	7,029	6,594	10,150	5,327
	荷主費用増加割合	39%	64%	52%	62%
	荷主費用評価	0	1	0	2
	運航間隔	—	—	—	—
運航間隔評価	5	5	5	5	

視点	項目	オセアニア航路	中東・南ア航路	東アジア域内航路
荷主	荷主費用増加額	266,392	627,371	292,167
	1航路あたり荷主費用増加額	2,993	4,579	785
	荷主費用増加割合	57%	65%	24%
	荷主費用評価	2	1	2
	運航間隔	—	—	—
運航間隔評価	5	5	5	

荷主の場合も船社と同じく減速航海による CO2 排出量の削減は、費用の増大のため実行しにくい削減策であることが分かった。なお、運航間隔は維持されるため評価は全ての地域において 5 とした。

表 5.6 減速航海における実行可能性評価

視点	北米	南米	欧州	アフリカ	オセアニア	中東・南ア	東アジア域内
社会的評価	5	2	5	1	1	1	2
船社費用評価	0	1	0	2	2	1	2
船社必要隻数評価	0	1	0	2	2	1	1
荷主費用評価	0	1	0	2	2	1	2
運航間隔評価	5	5	5	5	5	5	5
実行可能性評価	○	△	○	△	△	△	○

減速航海においては社会的評価の高い航路ほど、船社、荷主の負担が大きく評価は低くなる。したがって、減速航海は CO2 排出量の削減に非常に有効であるが、荷主や船社の理解が得られなければ、実行が難しい削減策であることが分かった。

## 5.6 CO2 排出量削減策実行可能性まとめ

表 5.7 削減策実行可能性評価まとめ

削減策	北米	南米	欧州	アフリカ	オセアニア	中東・南ア	東アジア域内
減速航海	○	△	○	△	△	△	○
船型大型化	○	△	○	△	△	△	△
消席率向上(船型縮小)	△	△	△	△	△	△	×
消席率向上(寄港頻度減少)	◎	○	◎	△	△	△	○

北米、欧州、航路においては輸送量が多いため、削減策の実行による CO2 排出量の削減効果が大きい。特に減速航海や消席率向上(寄港頻度減少)の削減策の効果が大きい。また、CO2 排出量の削減効果は小さくなるが南米航路、東アジア域内航路においても減速航海、消席率(寄港頻度減少)の実行可能性が高い。アフリカ、オセアニア、中東・南ア航路においては消席率向上(船型縮小)削減策の実行可能性が高比較的高いと考えられる。

## 第 6 章 結論

本研究では地域別に CO2 排出量の削減策の実行に伴う CO2 排出量と費用の関係を明らかにした。そして、この結果を基に、地域別に削減策の実行可能性を評価した。

## 参考文献

(株) オーシャンコマース, 2009, 国際輸送ハンドブック