

CO2排出抑制の経済的手法がコンテナ荷動き量と船社の収入に与える影響

松田 琢磨
(財)日本海事センター

李 志明
(財)日本海事センター

To decrease or restrain CO2 emissions from international shipping, the IMO (International Maritime Organization) has recently discussed the introduction of regulations such as levies and an emission trading system. Such schemes would have effects on international shipping freight movements and shipping company sales. However, there has been little analysis done on the effects of the schemes. Therefore, in this paper we present empirical research on CO2 regulation in liner shipping.

Before calculating the effects on suppliers' revenues and freight movements, we estimate both demand and supply functions for four main liner routes. We also investigate cases in which shipping firms cannot use levies or an emission trading scheme to pass the extra costs onto shippers. This study also reviewed eight different scenarios under the schemes.

I はじめに

2008年に京都議定書の第一約束期間が始まり、二酸化炭素（以下、CO2）など温室効果ガス（以下、GHG）の排出規制に関する議論が国内外で高まっている。近年の国際海運からのCO2排出量の増加から、環境負荷が少ないとされる海運部門においてもGHG排出量の削減が重要な課題となった。海運でのGHG排出量の削減手法には技術的手法、運航的手法および経済的手法の3つがある。技術的手法は船型の改良などを通じて、運航的手法は減速運航など運航方法の改良によって燃費効率の改善を目指す方法である。一方、経済的手法は燃料への課金などを行い船社にGHG排出削減のインセンティブを持たせる手法である。排出量取引制度も経済的手法の一つである。

技術的手法や運航的手法については2009～2010年の合意に向けてIMOで議論が進んでいる。しかし、経済的手法に関する議論は他に比べ遅れており、経済的手法の制度設計や影響分析も十分ではない。そこで、本研究では現時点で想定可能な制度をシナリオ（8ケース）として設定した上で、コンテナ輸送に着目し、経済的手法が荷動き量と船社の収入に与える影響を分析する。

2012年からEUでの排出量取引制度（EU-ETS）が適用される航空部門については、CE Delft（2005）、Morell（2007）およびScheelhaase and Grimme（2007）などが経済的手法による影響の分析を行っている。いずれも複数のシナリオを提示してCO2排出量が一定で伸びる際の運航費用の増分を算出し、排出量取引制度の導入が運航費用や運航量に与える影響が大きくないことを示している。ただし、これらの分析では需要の価格弾力性が外生的に与えられている点が問題である。そこで、本研究では需要関数と供給関数を使った部分均衡分析を用いて需要の変化を明示的に取り扱うことにしたい。

なお、海運部門について部分均衡分析を使った先行研究としては、コンテナ航路に関して港湾

投資の経済効果の計測を行った水谷, 大田 (2004) がある。彼らは連立方程式モデルを用いて日本発着航路の荷動き量について需要関数と供給関数の推定を行い, 全般的に運賃に対して非弾力的な (弾力性が1より小さい) 需要曲線を得ている。本研究でも連立方程式モデルを用いて需要関数と供給関数を推定する。ただし本研究では航路全体の荷動き量と船社への影響を見るために, 日本発着の荷動きではなく, アジア発着の荷動きに注目している。

この論文の構成は以下のとおりである。第II節では国際海運のCO₂排出規制に関する議論の動向について述べる。第III節ではコンテナ輸送における需要関数および供給関数を主要航路別に推定する。第IV節では, 経済的手法の導入によって生じる, 売上高の変化と排出権購入の費用などからなる収入の変化と荷動き量の変化を算出する。最後に, 第V節で本研究をまとめる。

II 国際海運におけるCO₂排出規制の議論の動向¹⁾

1. UNFCCCにおける議論の動向

地球温暖化を含む気候変動問題に対する国際的な取り組みとしては, 1992年に採択されたUNFCCC (国連気候変動枠組条約) 及び同条約の第3回締約国会議 (COP3) で採択された京都議定書がある。そこでは, 「共通だが差異ある責任 (CBDR)」原則の下で先進国にGHGの排出削減義務が課せられている。

国際海運に従事する船舶からのGHG排出に関しては, 京都議定書第2条2項において, 国連の専門機関である国際海事機関 (IMO) を通じた活動によって抑制または削減を追求することとされている。UNFCCCの中でも, SBSTA (科学的・技術的助言に関する補助機関) やSBI (実施に関する補助機関) で検討されているが, 国際海運からのGHG排出については国別割当が困難であり, GHG総排出量の把握が困難であることから, IMOでの検討もUNFCCCと平行して進められている。

2007年12月にバリで開かれたCOP13では京都議定書の約束期間 (2008~2012年) 以降の枠組みを2009年12月のCOP15で採択することが合意された。議論を促すため, AWG-LCA (条約下での長期協力のための特別作業部会) およびAWG-KP (京都議定書附属書I国のさらなる約束に関する特別作業部会) が設置され, COP15に向けた作業計画 (バリロードマップ) も作成された。しかし, UNFCCCでは国際海運は計画に盛り込まれず, 特別作業部会での検討も進展していない。

こうした状況の中, 国際海運からのCO₂排出抑制・削減策については, IMO海洋環境保護委員会 (MEPC) において議論を行い, 2009年7月のMEPC59までに一定の結論を出し, 同年11月のIMO総会の結果とともに, IMOでの作業結果をCOP15に報告することが予定されている。

2. IMOにおける議論の動向

IMOでは, 国際海運からのGHG排出削減に関する検討をMEPCに要請する総会決議A.963(23) が2003年に採択された。これを受けて, 2004年以降, MEPCにおいてGHG排出削減について検討が進められてきた。しかし, MEPCにおいても, 中国やインドなど途上国は, 先進国のみがGHG対策に取り組むべきとの主張を続け, 海洋環境の規制においてIMOが従来採用してきた非差別適用原則を支持する先進国とCBDR原則を支持する途上国との間で対立が続いてきた。

しかし, 個々の船舶からのGHG排出量の算定方法に関する技術的手法の検討は進められており, MEPC53においては, 既存船のGHG排出効率を示す運航指標 (輸送単位当たりのCO₂排出

1) この節における議論は李・森本 (2009) に基づいている。

量を表す指標）を試行的に活用するための暫定指針（MEPC/Circ.471）が採択された。また、新造船のGHG排出効率を示す設計指標については、日本も提案文書を出して議論に貢献し、2008年のMEPC58において、暫定ガイドラインを用いて設計指標を試行することについて合意が得られた。

さらに、MEPC57では、①地球規模のGHG総排出量の削減に効果的に貢献すること、②抜けど道を防ぐため、拘束力を有し全旗国に平等に適用されること、③費用に見合う効果が得られること、④市場歪曲を防ぐなど、国際海運からのGHG排出削減・抑制の取り組みに関する9つの原則が合意された。（ただし、②の原則については、中国やインドなどの発展途上国が留保を付した。）

経済的手法についても、2007年のMEPC56以降に検討が進められ、デンマークが燃料油課金制度、ドイツ、フランスおよびノルウェーが排出量取引制度を提案した。しかし、経済的手法導入支持の一部の欧州諸国と反対の途上国側の間で対立が続き、制度の詳細な検討には至っていない。

このように、IMOの議論の場では技術的手法および運航的手法の実施による船舶の効率改善の評価ツールとなる、設計指標や運航指標の開発および適用方法の検討が中心に行われている。経済的手法を含むCO2排出削減・抑制のための規制措置の議論は十分ではない。さらに、国際海運からどの程度CO2が排出されているかという根本的問題についても、2008年に入ってようやく分析結果が報告された段階であり、2009年のMEPC59までに国際海運からの総排出量の目標設定や経済的手法を含む規制措置の導入に道筋をつけることは極めて困難な状況にある。

3. EUにおける議論の動向

EUにおいても、国際海運からのCO2排出削減・抑制に向けた地域的規制について、様々な案が検討されている。欧州委員会の委託によって行われた調査研究報告²⁾によれば、排出量取引制度の海運部門への適用のほか、船舶のCO2排出効率に基づく港湾使用料の差別化、CO2排出量に基づく課金、設計指標および運航指標を使った基準値の設定などが挙げられている。

一方、EUではCO2排出抑制策として2005年にEU-ETSが陸上産業部門に導入され、2012年には航空部門への適用が決定している。EUはIMOでの議論が進まない場合、海運部門へのEU-ETSの適用を示唆しているが³⁾、現時点で海運部門に対する具体的な規制手段は決まっていない。

III 需要・供給関数の推定

前節で述べたように、国際海運に対するCO2排出規制の導入に関しては具体的な制度が定まっていないのが現状である。そこで、本研究では現時点で想定可能な制度をケースに分けて定量的な影響分析を行うことを目的としている。そのため、本節では分析の前提となるコンテナ輸送の需要関数と供給関数を推定する。使用したデータの基礎統計量は表1に示している。期間は1994～2007年である。運賃および残渣油価格についてはGDPデフレーターを使って実質化を行った。

1. 需要・供給関数の推定式

ここでは連立方程式モデルを用いて、需要関数（(1)式）と供給関数（(2)式）を推定する。

2) Faber et al. (2007).

3) EU News, Policy Positions & EU Actors online, "EU plans shipping emissions cap", 17 April 2007

表1：データの基礎統計量

		表示単位	平均	中央値	標準偏差	最小	最大	標本数
荷動き	欧州西航	1000TEU	4,021.79	3,552.00	1,759.94	1,879.00	7,730.00	14
	欧州東航		2,516.59	2,606.00	916.71	1,191.00	3,864.00	14
	北米西航		3,516.07	3,209.50	718.31	2,768.00	5,242.00	14
	北米東航		7,855.36	7,075.00	3,523.43	3,849.00	13,636.00	14
運賃	欧州西航	ドル(2000年基準)	1,501.01	1,530.06	212.08	1,152.50	1,803.25	14
	欧州東航		875.02	797.00	186.12	663.25	1,218.75	14
	北米西航		978.94	824.49	259.41	755.25	1,430.75	14
	北米東航		1,741.81	1,733.13	196.84	1,402.75	2,108.33	14
実質実効レート	ユーロ	指数	99.80	102.62	7.44	85.79	108.49	14
	ドル		98.46	98.79	7.74	86.80	110.97	14
実質GDP	アジアのGDP	10億ドル(2000年基準)	6,679.22	6,460.06	1,052.04	5,270.46	8,735.51	14
	EUのGDP		8,991.41	9,127.66	866.87	7,656.68	10,392.46	14
	アメリカのGDP		7,886.44	7,998.75	984.81	6,345.16	9,393.84	14
	残渣油実質価格		セント(2000年基準)	49.89	43.44	21.02	25.80	93.69
	運航船腹量	1000TEU	5,046.28	4,877.91	2,211.24	1,931.28	9,422.09	14

(出所) 商船三井『海運市況』, Containerisation International "Freight Rate Indicators", 日本郵船調査グループ編『世界のコンテナ船隊及び航況』, 欧州委員会統計局, 連邦準備制度, 国連統計, 米国エネルギー情報局

$$(1) \ln Q_t = \alpha + \beta_1 \ln p_t + \beta_2 \ln Y_t + \beta_3 \ln E_t + \beta_4 D1_t + \delta \ln Q_{t-1}$$

$$(2) \ln Q_t = \alpha + \gamma_1 \ln p_t + \gamma_2 \ln T_t + \gamma_3 \ln G_t + \gamma_4 D2_t$$

Q_t はコンテナ荷動き量であり, 被説明変数である。需要関数の説明変数は p_t (表2(a), (b)では運賃), Y_t (表2(a)では輸入国のGDP), E_t (表2(a)では実質為替レート), $D1_t$ (アジア通貨危機以降, 需要変化が起こったかを判別するダミー変数(表2(a)では1998ダミー) および Q_{t-1} (表2(a)では前年度の荷動き量) である。

運賃が上がると荷動き量は減少すると考えられるため, p_t の符号条件は負である。そして, GDPが増大すると輸入需要が増大し, 荷動き量が増えると考えられるため Y_t の符号条件は正である。ユーロやドルの増価は財価格の低下と同じ効果を持つ。そのため, 欧州西航および北米東航では E_t の符号条件は正であるが, 欧州東航および北米西航では負になる。

また, Q_{t-1} を用いることで過去の運賃が現在の荷動きに与える影響を考慮している。 β_1 が短期の運賃弾力性, $\beta_1/(1-\delta)$ が長期の弾力性を示す。ただし, 欧州東航および北米西航で Q_{t-1} の係数が有意にゼロと異ならなかったため, 最終的には除外している。

また, 供給関数の被説明変数も Q_t であり, 説明変数は p_t , T_t (表2(b)では運航船腹量), G_t (表2(b)では残渣油実質価格) および $D2_t$ (表2(b)では2001 or 2002ダミー) である。運賃上昇はコンテナ輸送を増やすと考えられるため, p_t の符号条件は正である。運航船腹量の増大は供給を増やしやすくなるため T_t の符号条件は正である。 $D2_t$ は欧州航路は2002年以降, 北米航路は2001年以降であるかを分けるダミー変数であり, 2000年代の供給が90年代と異なるかを判別するために用いる。

なお, (1)式と(2)式に含まれる Q_t と p_t はモデルの中で決まる内生変数であるため, 二段階最小二乗法を使用して内生性の問題に対処している。さらに, 誤差項の系列相関および分散不均一性の問題に対処するためにNewey-Westの分散共分散行列を使用してt値を求めている。

2. 需要関数と供給関数の推定結果

需要関数の推定結果は表2(a)に示されている。符号条件は満たされており, 荷動き需要はおしなべて運賃非弾力的である。これは先行研究である水谷, 大田(2004)とも整合している。ただし, 欧州および米国からアジアに向かう航路では一定の運賃弾力性が見られる一方, アジアから欧州および米国に向かう航路では需要曲線が垂直に近い。

供給関数の推定結果は表2(b)の通りである。符号条件は満たされている。運賃の係数は, 欧州航路の方が北米航路より大きく, 欧州航路の方が限界費用が低いことが示唆されている。

表 2：需要関数と供給関数の推定結果

(a) 需要関数

推定方法:2SLS	被説明変数:荷動き量			
	欧州西航	欧州東航	北米西航	北米東航
運賃	-0.1488 (-0.31)	-0.5879 (-2.34)**	-0.3431 (-1.83)	-0.0062 (-0.08)
輸入国のGDP	2.3503 (2.90)**	1.5781 (3.85)***	1.0369 (4.24)***	1.5374 (2.30)**
実質実効為替レート	0.5996 (3.06)**	-1.1613 (-6.42)***	-0.7268 (-2.81)**	0.0318 (0.12)
1998年ダミー			-0.1996 (-3.94)***	
前年度の荷動き量	0.5072 (2.72)**			0.5775 (3.65)***
定数項	-64.2881 (-3.00)**	-22.6864 (-1.60)	-9.8011 (-1.02)	-39.02016 (-2.42)**
観測数	14	14	14	14
修正済み決定係数	0.9855	0.9781	0.9803	0.9850
ダービン・ワトソン比	2.4038	1.2552	2.5153	2.0668
ダービンのh統計量	-1.2113	na	na	-0.1249
短期の価格弾力性	-0.1488	-0.5879	-0.3431	-0.0062
長期の価格弾力性	-0.3019	na	na	-0.0147

(b) 供給関数

推定方法:2SLS	被説明変数:荷動き量			
	欧州西航	欧州東航	北米西航	北米東航
運賃	1.0579 (1.56)	1.1688 (1.79)	0.4681 (1.74)	0.3674 (1.22)
運航船艘量	0.4543 (2.84)**	1.1558 (4.35)***	0.3249 (1.79)	0.5407 (6.79)***
残渣油実質価格	0.2880 (2.09)**	0.0722 (0.65)	0.3571 (5.15)***	0.3059 (3.19)**
2001 or 2002 ダミー	0.0734 (0.53)	0.2558 (2.08)**	0.0500 (1.24)	0.1774 (3.40)***
定数項	-0.4951 (-0.15)	-1.1801 (-1.35)	5.5751 (1.28)	3.5627 (2.06)**
観測数	14	14	14	14
修正済み決定係数	0.9036	0.9200	0.9177	0.9713
ダービン・ワトソン比	1.4469	2.2879	1.9749	1.8712

(備考) 1 カッコ内はt値, *は10%, **は5%, ***は1%有意水準で係数が0と異なることを示している
2 Newey-West の分散共分散行列を使って誤差項の分散不均一性および系列相関に対処している

IV 経済的手法導入の影響

この節では、EU-ETSの第3フェーズが始まる2013年のCO2排出量を2012年の90%に制限すると前提して、経済的手法導入の影響について分析する。本研究では経済的手法として排出量取引制度と燃料油課金制度の2つを想定している。ただし、本研究では排出量取引制度のみを分析対象とする。なぜならば排出量の上限を設定する主体が運賃と荷動き量の関係を知っており、特定の荷動き量を実現する課金水準を決定できる場合は、有償割当の排出量取引制度と課金制度によってもたらされる結果は同じとなるためである。このとき、有償割当方式の排出量取引制度とは、企業などが排出するCO2の量に応じて排出権を購入する制度である。一方、無償割当方式では過去の排出実績をもとに無償で排出権が分配される。いずれの方式でも、保有する排出権と実際の排出量の差分だけ排出権を取引できる。

本研究では表3に示す排出量取引制度の8つのケースについて分析を行う。ケースを分類する基準は(i)経済的手法導入による追加費用を運賃に転嫁できるか、すなわち船社と荷主のいずれがコンテナ輸送契約に際して強い交渉力を持つか、(ii)排出量の割当方式は無償か有償か、(iii)海運部門以外から排出権を購入(オフセット)できるかの3つである。

表 3：本研究で分析する8つのケース

	(i)追加費用の運賃転嫁	(ii)排出量の割当方式	(iii)オフセット
ケース1	可能	無償割当	可能
ケース2			不可能
ケース3	不可能	有償割当	可能
ケース4			不可能
ケース5		無償割当	可能
ケース6			不可能
ケース7			可能
ケース8			不可能

これらのケースについてCO2排出に対する経済的手法の導入による船社の収入と荷動き量の変化を算出する。船社の収入の変化分は、経済的手法を導入しない場合(ベンチマーク)の売上高 S_0 と経済的手法を導入した場合の売上高 S_i の差と、経済的手法の導入によって生じた追加費用 E_i から構成される((3)式)。ここで追加費用とは、燃料である残渣油に課金が賦課されたときの負担や排出権を購入するための費用を指している。

$$(3) \quad B_i = S_i - S_0 - E_i \quad i=1, \dots, 8$$

1. ベンチマーク

まずは、ベンチマークについて説明を行う。本研究では、分析の簡便化のため、(ア) 2008年以降の実質実効為替レートおよび残渣油の実質価格は2007年の値で一定、(イ) 実質GDP成長率は、IMF "World Economic Outlook Database" から算出、(ウ) 運航船腹量の増加率は1994～2007年の成長率の中央値である11.1%、(エ) 2007年から技術進歩はなく、船舶の燃費は不変、(オ) 外部排出権市場での排出権価格は30ユーロ/CO2トン、の5つの仮定を設ける。

ベンチマークとなる2013年の運賃と荷動き量および売上高の値は表4に示してある。また、図1では、コンテナ輸送の需要曲線と経済的手法導入前の供給曲線の交点がベンチマークに対応している。運賃は p_A 、荷動き量は Q_A となり、売上高((3)式の S_0)は $p_A Q_A$ となる。

表4：2007年（実績値）と2013年（ベンチマーク）での運賃，荷動き量，売上高

	欧州西航	欧州東航	北米西航	北米東航	単位
2007年					
運賃	1,353	493	524	1,263	ドル/TEU
荷動き量	7,730	3,884	5,242	13,636	1000TEU
売上高	10,461	1,913	2,749	17,222	100万ドル
2013年					
運賃	1,726	453	682	1,671	ドル/TEU
荷動き量	12,645	7,716	6,737	21,397	1000TEU
売上高	21,829	3,492	4,597	35,758	100万ドル
運賃上昇率	27.57%	-8.14%	30.12%	32.32%	
荷動き量伸び率	63.58%	98.67%	28.52%	56.91%	
売上高成長率	108.67%	82.50%	67.23%	107.62%	

2. 追加費用が運賃へ全て転嫁されるケース

経済的手法で定められたCO2の排出抑制目標を実現するための荷動き量を図1で Q_B とする。まず、無償割当方式の排出量取引制度でかつオフセットが可能な場合（ケース1）を考える。このとき、1 TEUを運航するために必要な排出権が外部の排出権市場で売買される価格を k とする。

荷動き量と運賃はシフトした供給曲線と需要曲線の交点で定まり、運賃は p_D 、荷動き量は Q_C になる。売上高 S_1 は $p_D Q_C$ である。一方、必要な排出権は $k Q_C$ であるが、このうち $k Q_B$ の分は無償で割り当てられるため、追加費用 E_1 は $k(Q_C - Q_B)$ となる。よって、収入の変化分 B_1 は $p_D Q_C - p_A Q_A - k(Q_C - Q_B)$ である。

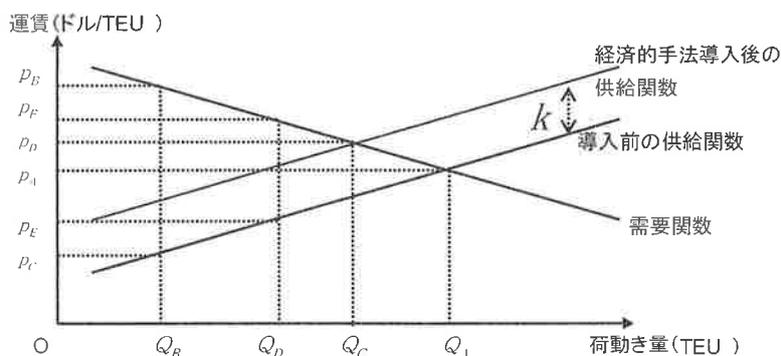


図1：経済的手法導入による運賃と荷動き量の変化

オフセットが不可能な場合（ケース2）は、荷動き需要が Q_B 、運賃は p_B になる。売上高 S_2 は $p_B Q_B$ になる。必要な排出権の総額は $(p_B - p_C) Q_B$ であるが、 $(p_B - p_C) Q_B$ は無償で割り当てられる。したがって、 $E_2 = 0$ であり、収入の変化分 B_2 は $p_B Q_B - p_A Q_A$ になる。

一方、有償割当方式の排出量取引制度もしくは課金制度の場合、オフセットが可能であれば（ケース3）、運賃は p_D 、荷動き量は Q_C になる。売上高 S_3 は $p_D Q_C$ 、 $k Q_C$ が追加費用となる。したがって、船社の収入の変化分 B_3 は $p_D Q_C - p_A Q_A - k Q_C$ になる。

オフセットが不可能な場合（ケース4）、売上高 S_4 は $p_B Q_B$ になる。また、 $(p_B - p_C) Q_B$ が追加費

用となるため、収入の変化分 B_4 は $p_C Q_B - p_A Q_A$ になる。

Ⅲ節で推定した需要・供給曲線を用いた、収入の変化分と荷動き量のベンチマークとの差の算出結果は表5に示されている。全航路でケース4での収入の減少が最も大きく、以下ケース3、ケース1、ケース2の順になる。また、無償割当のケース1とケース2では経済的手法の導入で収入は増える。運賃上昇で売上高が増加する一方で排出権が無償で割り当てられるためである。例えば北米東航については、ケース4でベンチマーク売上高の50.7%の減少である一方で、ケース2では1,447兆%の収入増となる。なお、北米東航のケース2の数値の大きさは、需要曲線がほぼ垂直であり、排出目標達成のために無限に近い運賃上昇が必要になることに原因がある。

荷動き量のベンチマークとの差は、排出権の割当方法もしくは課金であるかには関係なく、オフセットができるかによってのみ異なる。オフセット可能なオープン・システムの方が荷動き量は多くなる。北米東航の場合、オープン・システムではベンチマーク荷動き量の0.03%の減少であるが、オフセット不可能なクローズド・システムでは17.3%の荷動き量の減少となる。

表5：運賃転嫁が可能なケースの経済的手法導入による収入と荷動き量の変化

(a) 北米航路

	排出量の割当方式	オフセット	北米東航		北米西航	
			収入の変化(100万ドル)	収入の変化率	収入の変化(100万ドル)	収入の変化率
ケース1	無償割当	可能	1,341	3.75%	137	2.97%
ケース2		不可能	517,407,695,357,291,000	1446967387889720%	1,614	35.10%
ケース3	有償割当	可能	-37	-0.10%	-312	-6.78%
ケース4		不可能	-18,119	-50.67%	-1,788	-38.91%
	排出量の割当方式	オフセット	北米東航		北米西航	
			荷動き量の変化(TEU)	荷動き量の変化率	荷動き量の変化(TEU)	荷動き量の変化率
ケース1	無償割当	可能	-5,972	-0.03%	-149,212	-2.21%
ケース2		不可能	-3,700,070	-17.29%	-979,559	-14.54%
ケース3	有償割当	可能	-5,972	-0.03%	-149,212	-2.59%
ケース4		不可能	-3,700,070	-17.29%	-979,559	-14.54%

(b) 欧州航路

	排出量の割当方式	オフセット	欧州西航		欧州東航	
			収入の変化(100万ドル)	収入の変化率	収入の変化(100万ドル)	収入の変化率
ケース1	無償割当	可能	555	2.54%	87	2.50%
ケース2		不可能	50,316	230.50%	558	15.98%
ケース3	有償割当	可能	-244	-1.12%	-399	-11.43%
ケース4		不可能	-7,290	-33.39%	-1,134	-32.46%
	排出量の割当方式	オフセット	欧州西航		欧州東航	
			荷動き量の変化(TEU)	荷動き量の変化率	荷動き量の変化(TEU)	荷動き量の変化率
ケース1	無償割当	可能	-72,977	-0.58%	-488,621	-6.33%
ケース2		不可能	-2,383,958	-18.85%	-1,470,960	-19.06%
ケース3	有償割当	可能	-72,977	-0.58%	-488,621	-6.33%
ケース4		不可能	-2,383,958	-18.85%	-1,470,960	-19.06%

3. 追加費用を運賃へ全て転嫁できないケース

前項では経済的手法の導入で生じた追加負担を全て運賃に転嫁するケースを考慮した⁴⁾が、本項では、追加的費用を運賃に対して全く転嫁できない、需要曲線が水平なケースを検討する。

このケースにおいても目標を実現するための荷動き量は Q_B となる。しかし、このケースでは運賃への転嫁ができないため、オフセットが可能な場合（ケース5）、運賃は p_A 、荷動き量は Q_D になる。売上高 S_5 は $p_A Q_D$ である。一方、 Q_D だけの輸送を行うために必要な排出権の総額は $k Q_D$ であるが、このうち $k Q_B$ の分は無償で割り当てられる。したがって、追加費用 E_5 は $k(Q_D - Q_B)$ となる。よって、収入の変化分 B_5 は $p_A Q_D - p_A Q_A - k(Q_D - Q_B)$ である。

オフセットが不可能な場合（ケース6）は、荷動き需要が Q_B に定まるように排出権価格が運賃 $p_A - p_C$ となる。よって船社の売上高 S_6 は $p_A Q_B$ になる。 Q_B だけの輸送を行うために必要な排出権

4) 厳密に言えば、ケース1～4でも、供給曲線が追加的費用を全て運賃に転嫁したとしても、排出権購入費用や課金を全て荷主が負担しているわけではない。供給曲線が水平ではないとき、荷動き量が減少した際に船社が実際に得られる金額は元の運賃よりも低くなる。

の総額は $(p_A - p_C)Q_B$ であるが、 $(p_A - p_C)Q_B$ の分は無償で割り当てられている。したがって、 $E_6 = 0$ であり、船社の収入の変化分 B_6 は $p_A Q_B - p_A Q_A$ になる。

一方、有償割当方式の排出量取引制度もしくは課金制度の場合、オフセットが可能であれば(ケース7)、運賃は p_A 、荷動き量は Q_D になる。このときの売上高 S_7 は $p_A Q_D$ である。追加費用 E_7 は kQ_D となる。したがって、船社の収入の変化分 B_7 は $p_A Q_D - p_A Q_A - kQ_D$ になる。

オフセットが不可能な場合(ケース8)、船社の売上高 S_8 は $p_A Q_B$ になる。また、 $(p_A - p_C)Q_B$ の分だけが追加費用となるため、船社の収入の変化分 B_8 は $p_C Q_B - p_A Q_A$ になる。

表6：運賃転嫁不可能なケースの経済的手法導入による収入と荷動き量の変化

(a) 北米航路

	排出量の割当方式	オフセット	北米東航		北米西航	
			収入の変化(100万ドル)	収入の変化率	収入の変化(100万ドル)	収入の変化率
ケース5	無償割当	可能	-881	-2.46%	-301	-6.55%
ケース6		不可能	-6,184	-17.29%	-668	-14.54%
ケース7	有償割当	可能	-2,259	-6.32%	-749	-16.31%
ケース8		不可能	-18,119	-50.67%	-1,788	-38.91%

	排出量の割当方式	オフセット	北米東航		北米西航	
			荷動き量の変化(TEU)	荷動き量の変化率	荷動き量の変化(TEU)	荷動き量の変化率
ケース5	無償割当	可能	-371,977	-1.74%	-371,712	-5.52%
ケース6		不可能	-3,700,070	-17.29%	-979,559	-14.54%
ケース7	有償割当	可能	-371,977	-1.74%	-371,712	-5.52%
ケース8		不可能	-3,700,070	-17.29%	-979,559	-14.54%

(b) 欧州航路

	排出量の割当方式	オフセット	欧州西航		欧州東航	
			収入の変化(100万ドル)	収入の変化率	収入の変化(100万ドル)	収入の変化率
ケース5	無償割当	可能	-1,179	-5.40%	-687	-19.68%
ケース6		不可能	-4,115	-18.85%	-666	-19.06%
ケース7	有償割当	可能	-1,979	-9.07%	-1,174	-33.61%
ケース8		不可能	-7,290	-33.39%	-1,134	-32.46%

	排出量の割当方式	オフセット	欧州西航		欧州東航	
			荷動き量の変化(TEU)	荷動き量の変化率	荷動き量の変化(TEU)	荷動き量の変化率
ケース5	無償割当	可能	-602,853	-4.77%	-1,528,500	-19.81%
ケース6		不可能	-2,383,958	-18.85%	-1,470,960	-19.06%
ケース7	有償割当	可能	-602,853	-4.77%	-1,528,500	-19.81%
ケース8		不可能	-2,383,958	-18.85%	-1,470,960	-19.06%

Ⅲ節で推定した需要・供給曲線を用いて、収入の変化分と荷動き量のベンチマークとの差を算出する。結果は表6に示されている。欧州東航以外のケースではケース8で収入が最も大きく減少し、ケース5での収入の減少が小さい。欧州東航では割り当てられる排出権が荷動き量に比べて多く、オープン・システムの方が排出権購入の負担が大きくなる。なお、売上高が大きく減少するため、無償割当のケースでも船社が得をすることはない。例えば北米東航については、ケース8では、ベンチマーク売上高の50.7%が減少し、ケース5でも2.5%減少する。

荷動き量のベンチマークとの差は、基本的にはオフセットができるかによってのみ異なる。オープン・システムの方が荷動き量は多くなる。北米東航については、オープン・システムでは、ベンチマーク荷動き量から1.7%の減少、クローズド・システムで17.3%の荷動き量の減少となる。

4. 分析のまとめ

分析結果からは、(ア) 経済的手法の導入による追加費用を運賃に転嫁できれば、無償割当の排出量取引制度では経済的手法の導入は必ずしも船社に収入の減少をもたらさない、(イ) 有償割当の排出量取引制度もしくは課金制度では無償割当の排出量取引制度より収入の減少が大きく、制度導入によって必ず負担が生じる、(ウ) 運賃が転嫁可能かに関係なくオープン・システムは荷動き量を大きく減らさない、(エ) 有償割当の排出量取引制度であれば、運賃が転嫁可能かに関係なくオフセットを可能にすることで船社の収入の減少を抑えられることが確認できた。

V おわりに

本研究では、それぞれのコンテナ輸送の需要関数と供給関数をもとに、CO2排出に対する経済的手法が採られた場合の荷動き量および船社の収入の変化を分析した。その結果からは、次の個々が考察できる。まず、分析結果（ア）からは当然のことながら船社の負担の面からは無償割当の排出量取引制度が望ましい。しかし無償割当方式では過去の実績をもとに排出量が割り当てられるため、新規参入者や成長期にある船社が不利になる問題点があり、公平性の担保が大きな問題となる。また、EU-ETSの第一フェーズで起こったような過剰な価格転嫁への対応も必要となる。一方、CO2を多く排出する主体が多く負担する点で公平な割当が可能である点からは有償割当や課金制度が望ましい。しかし、結果（イ）でも見られるように船社の負担が大きくなる。したがって、有償割当方式もしくは課金制度を中心に制度の設計を考える場合、負担が船社の経営や競争条件を大きく変えないよう配慮する必要がある。さらに、結果（ウ）、（エ）からは他業種との排出権の取引を認めるオープン・システムが望ましいことがわかる。ただし他業種において、海運部門の不足分をまかなえるだけの排出権があるとは限らない点に注意すべきであろう。

一般に制度の設計においては、定性的および定量的な分析に基づく評価が先行される。本研究では、定量的な分析を行い、いくつかの考察を行った。ただし、本研究では燃費改善など技術革新を含んでいないなどの課題も残されている。今後はこれらの注意点を踏まえて分析を進め、さらにはCO2排出に対する経済的手法の制度設計のあり方について検討していきたい。

参考文献

- 李 志明, 森本清二郎, 「国際海運におけるCO2排出規制の動向とEU規制による船社の負担額の分析」, 日本物流学会誌 第17号, pp.73-80, 2009
- 水谷 誠, 太田隆史, 「政策効果の分析システムに関する研究II-港湾投資の効果計測に関する分析-」, 国土交通政策研究 第40号, 2004
- CE Delft, *Giving Wings to Emission Trading*. (Publication No.05.7789.20), Delft, 2005
- EU News, Policy Positions & EU Actors online, "EU plans shipping emissions cap", 17 April 2007.
- Faber, J., Boon, B., den Elzen, M., Olivier, J., and Lee, D., *Aviation and maritime transport in a post 2012 climate policy regime*, Report by CE Delft, Netherlands Environmental Assessment Agency, and Manchester Metropolitan University, 2007
- MEPC GHG-WG/1/5/1 (Denmark), Development of a global levy on marine bunkers for the acquisition of CO2 allowances, 2008.5
- MEPC GHG-WG/1/5/1 (Denmark), GHG- WG/1/5/4 (Norway) A levy-cap-and-trade system for reducing GHG emission from shipping, 2008.5
- Morrell, P., "An evaluation of possible EU air transport emissions trading scheme allocation methods", *Energy Policy*, 35, pp.5562-5570, 2007.
- Scheelhaase, J.D. and W. G. Grimme., "Emissions trading for international aviation: an estimation of the economic impact on selected European airlines", *Journal of Air Transport Management*, 13, pp. 253-263., 2007