

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00701

研究課題名(和文) 国際輸送産業・市場構造が環境改善国際枠組みに及ぼす影響の研究

研究課題名(英文) A Study on Effects of International Transportation Industries and Their Market Structures on International Framework on the Environment

研究代表者

岡田 啓 (OKADA, Akira)

東京都市大学・環境学部・准教授

研究者番号：40450762

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：国際海運起因の温室効果ガス排出量は今後も堅調に増加すると予測されている。その温室効果ガス削減が望まれるが、国際海事機関における議論は急速に進展はしていない。他方、国際航空において、2020年以降の温室効果ガス総排出を一定化させること、その実現のために経済的手段を使うことが決定している。そこで本研究は、国際航空の温室効果ガス削減枠組み特に経済的手段を国際海運産業に適用可能か産業構造を踏まえ検討する。結果、温室効果ガスの帰属等に差異があり、適用に課題があることが判明した。そして、開発した動学モデルの結果から導いた国際海運における補助施策について、その適用可能性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、国際海運の船社における動学モデルを定式化・最適条件を導出したことである。そして、その条件から船社を投資と燃費改善努力に関して適切な行動を採用する方策を提示したことである。社会的意義としては、国際航空における経済的手段の国際海運における適用可能性を2産業の構造を踏まえ検討し、その結果、CO₂の帰属等の課題があることを整理したことである。続いて、開発したモデルから導出した条件に基づき、国際海運における適用可能な経済的手段について検討を実施していることである。

研究成果の概要(英文)：It is expected that greenhouse gas emissions from international shipping continue to increase in the future. Though decreasing greenhouse gas emissions from international shipping is requested, discussion in International Maritime Organization has not accelerated. On the other hand, saturating total emissions since 2020 will be decided, and the market-based-measure will be introduced to the realization of the saturation in international aviation. This study examines whether the framework of international aviation, especially a market-based-measure, can be applicable to international shipping based on features of both industries. As a result of the examination, there are several difficulties to apply the framework to international shipping. Then, we reconsider a market-based measure for international shipping, which is derived from a dynamic model developed by this study.

研究分野：交通経済学

キーワード：国際海運 国際航空 温室効果ガス 経済的手段

1. 研究開始当初の背景

国際海運起因の二酸化炭素(CO₂)排出は世界の中において主要なCO₂排出源の一つである。国際海運は世界のCO₂総排出量の3%(ドイツと同等)であり、総量の時系列推移でみると、1990年には468Mt-CO₂、2011年に850Mt、2012年には796Mtと推定されている。1990年以後のCO₂排出平均成長率は年率2.4%である。国際海事機関(IMO)は、気候変動に関する政府間パネルで用いられている社会経済シナリオに基づき、今後2050年まで国際海運起因のCO₂排出が堅調に増加すると予測している。一番低いCO₂排出量のシナリオ(Scenario 15)でさえ2050年に1200Mtが排出され、2012年比で1.5倍になると予測している。このように堅調に増加するCO₂は、気候変動の要因となるので削減が望まれる。

上記の国際海運起因のCO₂排出状況とパリ協定を受け、2016年4月に開催されたIMOの下部組織である海洋環境保護委員会(MEPC)の第69回会合において、参加メンバーが国際海運におけるCO₂削減目標の検討を開始することを提案した。加えて独仏ベルギー等は削減目標策定に向けた作業計画を提案している。今秋に開催されるMEPC第70回の会合においては、削減目標に関する検討を行う作業計画をどのようにするのか議論されると予想されている。「削減目標に関する検討を行う作業計画」という言葉に見られるように国際海運においては、どのようにして大幅なCO₂削減を実現していくのかについて議論が進展していないように見受けられる。

他方でIMOや海運関係者は、IMOにおけるCO₂削減に関する議論が進展しないことについて焦りも見せる。なぜならば、京都議定書において同じくCO₂削減枠組み対象から例外として除外された国際航空においては、2020年以降のCO₂総排出を一定化させることを目標として掲げる枠組みを作ることによって国際民間航空機関(ICAO)にて合意した。この枠組み下では、航空会社はエネルギー効率の高い機体の導入やバイオ燃料の利用向上を進める必要がある。それでも総排出量が増加する場合には排出取引という経済的手段(MBM)を用いて増加したCO₂量をオフセットすることになっている。米国、中国、欧州各国を始め約50カ国がこの枠組みに参加し、先日、我が国も参加を表明した。国際海運は、国を跨ぐ運輸という性質上から、また京都議定書枠組みの除外対象という観点からも、この今回の国際航空の枠組みと比較されることとなる。

2. 研究の目的

輸送機器を用いて国を跨ぐ輸送ということにおいて国際航空と国際海運は共通であることから、議論が進展している国際航空の枠組みを国際海運に援用することが考え得る。よって、本研究では、国際航空の温室効果ガス削減枠組み特にMBMを国際海運産業に適用することができるのかを検討する。具体的には、(1)ICAOにおける温室効果ガス削減に関する議論過程の調査と分析、(2)国際航空と国際海運の市場構造の共通点と差異に関する計量分析と定性的整理、(3)Fair share概念の議論状況と展望、(4)ICAOにおける温室効果ガス削減施策特にMBMの国際海運への適応可否に関する分析である。

(1)においては、国際航空がどのように2020年以降のCO₂総排出の決定に至ったのか、CORSIAというMBMを導入することになったのか議論過程を整理する。(2)においては、国際航空の市場構造と国際海運のそれについて定性的、定量的に分析を行い、2つの産業では如何なる差異があるのかを明らかにする。(3)は、Fair shareというIMOではまだ定まっていない概念が出てきている。この用語や考え方が次回以降のMEPCにおいてどのように展開されるのかIMOの議論の進展と共に整理する。(4)においては、ICAOにおけるMBMの国際海運への適応可能性を検討する。まず、動学モデルに基づいた海運事業者の温室効果ガス削減実施の条件の検討を行う。海運事業者は資本を使用してサービスを提供するという点から、それがどのような条件であれば温室効果ガス削減を実施するのか動学モデルを構築して明らかにする。モデルは、海運事業者のみを対象とするものではなく、資本に投資することでサービス容量(輸送量)を拡大でき、サービスを提供する際に使用する燃料使用量を効率改善技術にて削減できる企業に適用できるようにする。次に、IMOにおけるMBM関連の議論過程とICAOのそれを比較し、産業構造の違いを踏まえながら適応可能性を検討する。さらに、国際海事機関における経済的手段の議論と構築した動学モデルの結果を踏まえ、国際海運に対する補助施策について検討する。これにより、産業構造や国際機関における原則等を踏まえた上で、国際海運に適応可能なCO₂削減施策導入への可能性を探る。

3. 研究の方法

本研究は、既往研究と国際機関の一次資料に基づく定性的整理とその比較、モデルビルディングとその解析、またモデルの解析結果の応用によって実施される。第一と第三、そして第四の目的に対しては、ICAO総会資料、MEPCにおける提案文書や会議録といった一次資料と関連する既存研究にあたり、議論の過程等を整理する。第二の目的については、テキストや既存研究等を用いて、両産業の定性的な特性を調べる。そして、国土交通省、日本銀行等のデータを用いて両産業の市場について概観する。第四の施策の導入可能性を検討するに先立ち、動学モデルの構築を数理的に実施する。数理的なモデリングを行う事で、船社の長期的な意思決定を表現することができる。なお、資本への投資、そして燃料効率改善努力という変数を盛り込み、船社の意思決定を表現する動学モデルはこれまで見られないものである。加えて、モデルに基づき数値シミュ

レーションを作成し、負担金と燃料消費量、燃料効率の改善の関連性についても検証を行っている。そして、国際機関の議論の過程整理と産業構造の整理と比較に基づき、MBMの適応可能性を定性的に検討する。そして、国際海運CO₂削減のための補助政策の分析においては、動学モデルの結果を援用すると同時に、IMOにおいて利用される原則を多角的に考察することで、国際海運において適応可能なCO₂削減施策である可能性を検討する。

4. 研究成果

(1) ICAOにおける温室効果ガス削減に関する議論の過程を整理した。1997年に採択された京都議定書によって国際航空の温室効果ガスに関する議論はICAOで行われることが決められたことにより、ICAOにおいて温室効果ガス削減に市場メカニズムを導入するための議論が開始された。議論の開始から約10年間の2007年まで、市場メカニズムを国際航空部門に導入した際の影響について知見が蓄積されていったものの、温室効果ガス削減に関する議論の進展はあまり見られなかった。だが、2007年の第36回総会が契機となり、排出削減の野心的な実施計画案が作成され、この案が2009年にハイレベル会合で承認された。同時に、年率2%の燃費改善、2020年以降の排出中立成長の実現、2050年に2005年比で排出量を総量として50%削減するなどの案が提示され、これらを実現するために3つの方策(技術・運航方法の改善、代替燃料の導入、経済的手段)も提示された。2010年の第37回総会において前述の目標が設定されることになった。そして、市場メカニズムの導入を検討するための作業を行うことも決定された。2012年から国際航空部門の排出をオフセットするための経済的手段の議論が集中的に実施された。結果、2016年の第38回総会において国際航空部門に経済的手段であるCORSIAの導入が採択された。

上記の議論の過程の中で出てきた温室効果ガスの元となる国際航空部門の燃料消費の推定を行っているコンピュータモデルにおいては、国際航空の燃料消費の帰属を出発空港の帰属している国や出発国となっていた。またCORSIAにおいては、温室効果ガスの排出は航空事業者に帰属することになっている。航空事業者への排出量の帰属は、航空機の運航者つまり燃料の使用人と航空機の所有者が同じであることが基盤になっている。よって、航空事業者がオフセットの義務を負うことを意味する。この産業構造に基づくCO₂排出の帰属の容易さは、経済的手段の導入の一因になっている。なお、この航空事業者への排出量の帰属は、国連気候変動枠組条約でカウントしている国際線の燃料消費量とは別の考え方であった。

(2) 既存研究やテキストを用いて、国際航空産業・国際海運産業の基本的な特徴について整理を行った。両産業において、産業特性に共通点(初期投資が巨額、燃料費・為替相場等外部要因に影響されやすい、需要が不安定、クラスターで産業を構成等)があるものの、差異点(国際分業の状況、自国との関わり、路線設定と国際的枠組みの関係等)も多数あった。つぎに、国際航空市場における市場を表すデータや指標(市場シェア、集中度、運賃、需要の価格弾力性等)について文献調査を行った。また、国際海運市場においても、市場を表すデータ(輸送量、運賃等)に当たった。そして、この2つの産業における市場関連のデータの性質の条件を揃えることについて検討し、実証分析に向けた整備を行った。データの比較可能性も考えた両市場の実証分析については今後の課題である。

(3) Fair Shareについて整理したところ複数国や組織がMEPC70において言及を行っていたものの、以後のMEPCにおいて本概念が継続して展開されることはなかった。そのため、MEPCにおいて本概念は重要視されず、CO₂削減議論に関して影響はなかったと判断した。

(4) 国際海運における船社の長期的な行動を把握するために動学モデルを構築し、船社はどのような条件を鑑みながら、燃料効率改善等の行動を採るのか検討を試みた。検討に際し、船舶会社に関していくつかの仮定を置いた。第一の仮定として、収入は、輸送可能量と輸送距離の増加関数とした。第二の仮定として、航行を行うと船舶は燃料を消費し、それに伴い温室効果ガスの排出が行われ、その量に応じて負担金を払う必要がある。そして船舶会社は負担金を回避するため、燃費の改善に関する努力を行うとした。第三の仮定として、投資費用は投資に関して逡増的に増加するものとする。第四の仮定は、船舶会社の資本Kは投資Iによって増加するが、通常のように経年的に劣化するだけでなく、その輸送距離に応じて劣化するとした。これらを踏まえ、船舶会社の直面する最適化問題を次のとおり定式化した。

$$\begin{aligned} \text{Max}_{x, I, e} \pi &= \int_0^{\infty} e^{-it} [R_{(x, K)} - rZ_{(A, x)} - C(I) - C(A) - T_{(Z(A, x))}] dt \\ \dot{K} &= I - aK - bx, \quad I \geq 0, \quad A \geq 0, \quad \text{and} \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

ここで、Rは収入、xは距離、rは単位あたりの燃料価格、Zは燃料消費量、Aは燃費改善の努力、C(I)は投資に関する費用、C(A)は燃費改善努力に関する費用、Tは負担金、aとbはパラメータを意味する。

この最適化問題を解析し、求める解 $x^*(t)$ 、 $I^*(t)$ 、 $A^*(t)$ の必要条件を導出した。そして、求める解が i) $I > 0$, $A > 0$ の内点解である場合、 ii) $I > 0$, $A = 0$ である場合、 iii) $I = 0$, $A > 0$ である場合、および iv) $I = 0$, $A = 0$ である場合、に分けてその内容について詳細に検討をした。たとえば、内点解のケースにおいては、

$$bC'_I = b\phi = \frac{\partial R}{\partial x} - \frac{p}{f} \quad \text{where } C'_I = \frac{\partial C}{\partial I}$$

$$C'_A = p \frac{x}{f^2} \frac{\partial f}{\partial A} = px \frac{f_2 g}{f_0} \frac{e^{gA}}{[(1+f_2)e^{gA} - 1]^p} \quad \text{where } C'_A = \frac{\partial C}{\partial A}$$

という結果を得た。ここで、 p は負担金を含む燃料価格、 f は燃料、 g はパラメータである。投資の限界費用が、単位距離あたりの収入増加額から平均燃料消費額を控除したものと等しく、また、燃費改善の限界費用が、燃費改善による消費燃料の節約額に等しいことが、最適解を満たす条件となる。

また、式変形を行うと、

$$\frac{\partial R}{\partial x} = b \frac{\partial C}{\partial I} + \frac{1}{x} \frac{f}{\frac{\partial f}{\partial A}} \frac{\partial C}{\partial A} = b \frac{\partial C}{\partial I} + \frac{1}{x} \frac{(1+f_2)e^{gA} - 1}{g} \frac{\partial C}{\partial A}$$

が成立する。これは、最適解においては、距離に関する限界収入が、投資に関する限界費用と燃費改善に関する限界費用に等しくなる必要があることがわかった。

最適解が2つの変数の条件により導出された4つの解の領域を、燃費改善の努力に対する限界費用が極めて大きな場合にそのような努力は行わないことが最適であるケースと、投資の限界費用が極めて大きな場合に投資は行わないことが最適であるケースとに分類できる。つまり、 $A > 0$ であるような i)iii) の場合と、 $A = 0$ であるような、ii)iv) の場合である。ここで着目すべきは、ii)iv) のケースである。この限界費用を上回るように、負担金を極めて高水準に設定するならば、誰もが努力せざるを得なくなるであろうが、逆に限界費用を減少させるように燃費改善の努力に対して補助金を導入することで、その限界費用を低下させ、企業をそのような怠慢から脱出させることも可能である。

他方、国際海運における温室効果ガスを削減するための負担金の導入は、現在、複数の環境問題に対応しなければならない海運事業者に対して更なる費用負担となり、場合によっては社会にも負担が生じてくる。よって、国際海運に係わる他の環境政策についても分析を行う事で費用等を把握しておく必要がある。そこで、国際海運の温暖化対策と費用面で関連がある大気汚染物質排出規制海域について、特に空間を考慮した分析を実施した。分析の結果、純便益曲線、便益の分解、限界費用曲線、平均限界便益曲線との関係より、大気汚染物質排出規制海域の便益と費用が均衡する箇所が複数あることがわかった。また、シミュレーションを実行することで、都市部の海岸から遠距離に規制海域の境界を設定すると純便益が正になるものの、距離を調整すると純便益は大きくなることがわかった。

続いて、IMOにおけるMBMの議論過程を整理した。IMOにおいても船社にCO₂を削減する誘因を与えるためのMBMについて2006年のMEPC56をスタートとして、2010年のMEPC60より本格的に議論された。MEPC60からMEPC61までに加盟国政府やオブザーバー組織から10種類のMBMが提案された。主なMBMとしては、排出取引、温室効果ガスに関する国際基金への賦課金、燃費に関するインセンティブスキーム、燃料効率取引がある。これらの内、いくつかの案は後に統合されたり、変更されたりした。MEPC60ではMBMのフィージビリティ研究とインパクトアセスメントを実施するため専門家グループ設置が要請された。この要請に基づき4つのワーキンググループが結成され、それらがMBMの中身を検討した。ワーキンググループの1つにおいて、設定されたシナリオにおいてMBMがいかなる効果をもたらすのかモデル分析がなされ、この結果はMEPC61にて報告された。MEPC61においては、適切なMBMをどのように展開させるのかについて議論が行われた。会議の中で、GHG-WG3という温室効果ガス排出に関するワーキンググループのミーティングを行うことが同意され、実施された。その後、MEPC63では提案されたMBMに関する検討が継続した。だが議論は進展しなかった。そしてMEPC65において将来のMEPCにおいてMBMの議論を行わないことが決められた。そのため、MEPC66以降は議論がおこなわれていない。

そして、国際航空におけるMBMを国際海運に適用できるのか、産業特性等を踏まえ、検討した。結果、ICAOの制度と、IMOの議論を定性的に比較したところ、国際航空部門のMBM制度を国際海運部門にそのまま適用するには、いくつかの課題点があることが分かった。第一に、国際海運の産業構造によってオペレータに義務を負わせることは困難である。なぜならば、国際海運では船の運航者と船の所有者が異なることが多いため、CO₂の帰属設定に関して問題が生じるからである。また、国をベースに帰属を考える際にもIMOにおける個船の管理と国の関係も帰属に際して問題を生じる。これらは国際航空と異なる問題であり、経済的手段導入の課題である。第二に、国際海運の市場特性により費用転嫁が難しいことが挙げられる。第三にCORSIAにおけるルートベースアプローチは海運では導入することが難しい。国際海運では航路が頻繁に変わり寄港地も複数かつ多岐に渡るためである。

国際航空のMBM適応に課題があることから、CO₂帰属等の問題を回避しつつ、そして環境

関連特に CO₂ 削減に関する行動を喚起する施策を見つけ、検討されることが望まれる。そこで着目するのが、動学モデルで検討を行った補助政策である。MEPC において提案された MBM は殆どが海事産業の主体が CO₂ 排出に関連して負担金を支払う施策であった。他方、補助政策については殆ど議論がされていない。よって、国際海運に適用されている環境関連の補助政策について調査・整理をした。結果、環境対応を行っている船舶への港湾使用料減免施策が、ヨーロッパ地域を中心として世界での多くの地域で実施されていることが判明した。また、本制度は産業が主体的に実施している場合が多い。港ではないが、2016 年よりパナマ運河にて同様の割引制度が実施されている事も分った。

ここで特筆すべきことは、環境性能による港湾使用料減免施策は、燃料油課金といった負担金と異なり、一律適用と CBDR について、先進国・途上国の対立を回避することができる可能性があることである。つまり、施策を実施している港において、基準を満たす船は一律に減免が適用されることより、一律適用の原則が満たされていることになる。次に施策を実施する港の基準の引き上げや補助水準を変化させることにより、差異のある責任を表すことができる。よって、先進国の港においては、減免基準を中程度とし対象の船舶を多くする。そして、途上国の港においては高性能の環境性能を持つ船や LNG 船に対して港湾使用料を減免することで、対象となる船を少なくするのである。減免施策はこのような措置をとることができるため燃料油課金などで見られる先進国・途上国の関心の方向性が問題になることが見られなくなる。また、国と港は地理的に連動している場合が多いことにより、責任と国家との繋がりについて明確にできることが明らかになった。結果、補助施策は適応可能な CO₂ 削減施策の 1 つであることを提示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Okada Akira	4. 巻 46 (5)
2. 論文標題 Benefit, cost, and size of an emission control area: a simulation approach for spatial relationships	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Maritime Policy & Management	6. 最初と最後の頁 565-584
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1080/03088839.2019.1579931	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Hidemi, Okada Akira	4. 巻 73
2. 論文標題 Effects of market-based measures on a shipping company: Using an optimal control approach for long-term modeling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Research in Transportation Economics	6. 最初と最後の頁 63-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.01.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Akira Okada
2. 発表標題 A Study on Acceptable Incentive Measure for Promoting Reduction of CO2 Emissions from Ships
3. 学会等名 Annual conference of the International Association of Maritime Economists (IAME) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	田中 秀実 (Tanaka Hidemi)		