



RIETI Discussion Paper Series 13-J-061

## 国際輸送部門における環境政策に関する経済分析

寶多 康弘  
南山大学



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<http://www.rieti.go.jp/jp/>

## 国際輸送部門における環境政策に関する経済分析\*

寶多 康弘 (南山大学) †

## 要旨

本稿の目的は、国際輸送サービス部門のある2国2財の貿易一般均衡モデルを構築して、国際輸送に対する環境規制の効果を分析することである。本モデルで、各国政府は、財セクターとは別に、国際輸送サービス部門に対して独自の排出枠を設定している。この仮定は、国際輸送からの排出は、その帰属先の特定が困難なため、既存の国際的な環境規制の枠組み（京都議定書）の規制対象外となっており、国際輸送について独自の環境規制が実施・検討されている事実在即しており、妥当である。本稿の主な結果は2つある。第1に、2国の国際輸送サービス部門の間での国際排出量取引によって、排出枠の売買価格に依存せず、国際輸送サービス輸入国は得する。しかし、国際輸送サービス輸出国は、排出枠の売買自体からの利益をすべて独り占めしたとしても、国際排出量取引によって損失を被るかもしれない。第2に、自発的にある国が国際輸送サービス部門の排出枠を削減するとき、その国の国際輸送サービス部門は縮小するにもかかわらず、交易条件効果を通じて、厚生は上がるかもしれない。当初、国際輸送に対する環境規制が緩いならば、自発的な規制強化によって、両国の厚生がともに改善するかもしれない。

キーワード：国際輸送，環境規制，排出量取引，汚染排出枠，国際貿易

JEL classification：F11，F18，Q56，Q58，R41

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、(独)経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

\* 本稿は(独)経済産業研究所におけるプロジェクト「大震災後の環境・エネルギー・資源戦略に関わる経済分析」の成果の一部である。本稿を作成するに当たっては、赤尾健一氏、大橋弘氏、岡田洋祐氏、小田圭一郎氏、東田啓作氏、日引聡氏、藤田昌久氏、馬奈木俊介氏、森川正之氏、森田玉雪氏、山城宗久氏、経済産業研究所ディスカッション・ペーパー検討会参加者の方々から多くの有益なコメントをいただいた。

† 南山大学総合政策学部 〒489-0863 愛知県瀬戸市せいれい町27 ytakara@ps.nanzan-u.ac.jp

## 1. はじめに

世界的な国際貿易と直接投資の拡大の中、国際輸送サービス部門の役割はますます重要となっている。資源、中間財および最終財といった物品の国際輸送、さらにはビジネスや観光目的の国際旅客輸送は拡大の一途である。この結果、国際輸送サービス部門からの温暖化ガス排出量は増加し続けている。中でも、国際海運と国際航空からの温暖化ガス排出量は急増している。国際輸送サービス部門は、グローバル経済を支える不可欠な要素であるが、その環境への悪影響が懸念されている。

国際海運と国際航空からの温暖化ガス排出は、既存の世界的な環境規制の枠組み（気候変動枠組条約（UNFCCC）の対象外という特徴がある<sup>1</sup>。なぜなら、国際海運と国際航空（以下では国際輸送と表記）からの温暖化ガス排出については、その責任をどの国が持つべきかを特定することが困難なためである。そこで、国際輸送からの温暖化ガス排出への規制については、国際輸送に関する専門の国際機関である国際民間航空機関（ICAO）および国際海事機関（IMO）にゆだねられている。国際輸送からの温暖化ガス排出に対する規制の重要性が認識され、国際機関で議論がなされているものの、実質的な環境規制は未だ実施されていない。そこで、国際航空に関しては、欧州連合（EU）が独自に EU ETS（欧州排出量取引制度）を導入して規制強化の必要性を主張しており、国際輸送に対する環境規制についての関心はますます高まっている。

本稿では、国際輸送サービス部門における環境政策について、その現状と課題を説明するとともに、理論分析を用いて環境政策の影響を考察する。国際輸送に対する環境規制の強化は、環境の質の改善につながるが、国際輸送サービス部門にマイナスの影響を与えるため、国際貿易への障害となる。そこで、国際輸送に対する環境規制が、国際輸送サービスと財の国際貿易を通じて、どのような影響を各国の経済厚生に与えるかを明らかにすることは、極めて重要である。

従来の貿易と環境の研究とは異なり、本稿では貿易に付随する国際輸送からの汚染排出に焦点を当てた分析である。既存研究では、国際貿易によって汚染集約的な産業の生産が各国で変化する結果生じる汚染排出の変化（カーボン・リーケージ（carbon leakage）など）に着目していた。本稿のように国際貿易に不可欠な国際輸送自体からの汚染については考慮されておらず、本稿は既存研究を補完するものとして大きな貢献がある。

---

<sup>1</sup> 鉄道やトラックなど陸路での国際輸送の温暖化ガス排出は、UNFCCC の規制対象である（京都議定書を参照）。

本稿では、国際輸送サービス部門における環境政策を考察するために、国際輸送サービス部門を明示的に考慮した2国の貿易一般均衡モデルを構築する。国際輸送に対する環境規制は、国際輸送サービス市場を通じて財の国際貿易に影響を与えるので、市場間の相互作用を考慮した国際貿易を含んだ一般均衡モデルによる分析が適切である。

本モデルには2つの重要な特徴がある。第1に、国際輸送サービス部門を1つの独立した産業としてモデル化した点である。輸入には国際輸送サービスが不可欠である。つまり、輸入の派生需要として国際輸送サービス需要が発生する。通常、貿易理論モデルでは、国際輸送サービス部門は捨象されている。本モデルは国際輸送サービス部門を明示的に導入することで、モデルが非常に複雑になっているが、単純化の工夫を行い分析可能となっている。本モデルでは、財と国際輸送サービスの両方の世界市場の需給を反映した価格変化を考慮に入れた分析となっている。

第2の特徴は、自由貿易であるにもかかわらず、輸出国と輸入国の間で内外価格差が生まれることである。つまり、財価格が輸出国よりも輸入国で輸送サービス料金分だけ高くなる。これはあたかも輸入関税が課された場合と同様に見える。しかし、関税とは次の点で全く異なる。国際輸送サービス価格は、世界の国際輸送サービス市場の需給均衡によって内生的に決まる。これに対して、(最適)関税の場合は政府が政策的に関税率を設定する。

本稿では、以下で説明する2つの環境政策に焦点を当てる。(i)2国の国際輸送サービス部門の間での国際的な排出量取引について分析する。国際排出量取引は、ICAOやIMOなどで環境政策の経済的手法として関心が高く、その効果を明らかにすることは国際排出量取引の制度設計に資するところが多い。(ii)国際輸送サービス部門における環境規制の強化の効果について考察する。ある国が率先して国内の国際輸送サービス部門の環境規制を厳格化したとき、どのような効果があるかを明らかにする。環境の質に関心の高い自発的規制強化国だけでなく、相手国に対してどのような影響を与えるかも考察する。

日本では、東日本大震災後の火力発電所の稼働率の増加によって、温暖化ガスの削減が困難となっている。また、新興国の経済成長に伴って温暖化ガスの排出量は増え続けている。世界的な気候変動を抑制するためには、世界規模での温暖化ガス排出の削減が急務である。国際輸送からの温暖化ガス排出に対する新たな環境政策の導入は、国際貿易に依存する海運国家の日本に大きな影響を及ぼすと考えられる。したがって、国際輸

送部門における環境政策について考察することは極めて重要である。

本稿の主な興味深い結果は以下の2つである。第1に、2国の国際輸送サービス部門の間での国際排出量取引によって、国際輸送サービスの輸入国の厚生は上がる。他方、排出枠の国際売買価格が国際輸送サービス輸出国の国内価格と同程度で、排出枠の売買自体からの利益をほとんど得られないとき、国際輸送サービス輸出国の厚生は悪化する。この結果は直観に反して大変興味深いものである。特に、国際輸送サービス輸入国は、排出枠の売買自体からの利益が全くなくても、厚生が改善するのである。しかし、国際輸送サービス輸出国は、排出枠の売買自体からの利益を独り占めしたとしても、厚生は悪化する可能性がある。

この結果の直観的説明は以下の通りである。国際排出量取引によって国際輸送サービス部門の生産の効率性が改善するので、少なくとも1カ国の厚生は必ず改善する。しかし、両国とも厚生が改善しないかもしれない理由は、交易条件効果が存在するからである。特に、国際輸送サービスの貿易パターンが決定的である。国際排出量取引によって、両国において排出枠の売買利益が生じる。また、国際輸送サービスの供給量は増えるため、国際輸送サービス価格は下落傾向である。これは国際輸送サービスの輸入国（輸出国）にとって交易条件の改善（悪化）を意味する。国際輸送サービス価格の変化は、間接的に輸入需要に影響を与えて財価格を変化させる。つまり、財の貿易においても交易条件効果が存在する。国際輸送サービス輸入国では、排出枠の売買利益と国際輸送サービス貿易の交易条件効果が他の効果を上回るほど強いため、厚生が改善する。しかし、国際輸送サービス輸出国では、排出枠の売買利益が他の効果を上回るかどうか不明なのである。

第2に、国際輸送サービス部門における環境規制の強化（汚染排出枠の削減）は、自発的に規制を強化した国の経済厚生を上げて、相手国の経済厚生を下げるかもしれない。当初均衡において環境規制が緩かった場合、両国の厚生を足し合わせた世界の厚生は上がるので、少なくとも1カ国の厚生は必ず改善する。この結果の直観的説明は以下の通りである。環境規制の強化は、国際輸送サービス価格を上昇させる傾向にある。なぜなら、汚染削減活動に生産要素を投入しなければならず、国際輸送サービスの生産量が減少するからである。国際輸送サービス価格の変化は、輸入需要に影響を与えて、財の世界市場を通じて財価格が変化する。国際輸送サービスの輸出国（輸入国）は、国際輸送サービス価格が上昇すると得（損）する。財の国際貿易においても交易条件効果が存在

する。これらの交易条件効果と汚染削減のプラスの効果が合わさって厚生効果が決まる。ところが、国際輸送サービス市場と財市場を通じた影響が複雑に絡み合っ、一般には厚生効果が確定しないのである。

一般均衡モデルに明示的に輸送コストを導入した初期の研究として、Samuelson (1954)と Mundell (1957)がある。これらの研究では、いわゆる iceberg 型の輸送コストが仮定されており、輸送コストは外生的である。Herberg (1970)は、最終財とは別に、内生的に国際輸送サービスが供給される 2 国 2 財の一般均衡モデルを構築した。両国において、国際輸送サービスは労働と資本を投入して規模に関して収穫一定の生産技術で生産される。ある国で生産される国際輸送サービスは、その国の輸入のみに使用されると仮定している。つまり、国際輸送サービスの世界市場はなく、国内市場のみである。Cassing (1978)は Herberg モデルを基礎に、国際輸送サービスが必要な財は 2 財の内 1 つの財だけであると単純化して、リプチンスキー定理などの基本定理が成立するかどうかを分析した<sup>2</sup>。しかし、これらの既存研究では、輸送からの環境汚染については全く考慮されていない。

特に関連性が深い最近の論文として、寡占の貿易モデルを用いて、国際輸送への環境規制強化と貿易自由化の効果を分析した Abe et al. (2012)がある。彼らは部分均衡分析を用いており、戦略的な環境規制や貿易自由化について関心があり、国際排出量取引は分析されていない。また、数少ない実証研究として、Criatea et al. (2012)では、国際貿易に関連するすべての温暖化ガス排出の内、3 分の 1 が国際輸送からの温暖化ガス排出であることを示した (Olsthoorn (2001)や Gallagher (2008)も参照せよ)。しかし、国際輸送サービス部門における国際排出量取引を扱った実証研究は存在しない。我々の知る限りにおいて、国際輸送サービス価格が内生的に決まる一般均衡モデルを用いた国際輸送に対する環境規制の理論分析は存在せず、この分野で大きな貢献があるといえる。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 節では、国際輸送に対する環境規制の現状と課題を説明する。先行研究について第 3 節で紹介する。第 4 節では国際輸送部門における環境政策について理論的に分析を行う。第 5 節で議論を整理するとともに残された課題について述べる。

---

<sup>2</sup> 空間経済学の分野において、輸送サービス部門を生産化したモデルとして、例えば、Takahashi (2006)や Behrens et al. (2009)などがある。

## 2. 国際輸送に対する環境規制の現状と課題

### 2.1 国際輸送セクターの特徴と汚染排出の現状

近年、新興国の経済成長と国際貿易の拡大に伴い、国際輸送（国際海運と国際航空）への需要が急速に高まっており、国際輸送からの温室効果ガスの排出量は増え続けている。経済協力開発機構（OECD）によると、国際輸送を含む交通輸送産業の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出量は1990年から2008年までに44%増え、2008年には世界全体のCO<sub>2</sub>排出量の約23%を占めている<sup>3</sup>。そのうち、2008年に国際海運から排出されたCO<sub>2</sub>は、1990年に比べて63%増の約5.8億トンとなっており、これは世界全体のCO<sub>2</sub>排出量の約2%である<sup>4</sup>。また、2008年における国際航空からのCO<sub>2</sub>排出量は約4.5億トンで、1990年に比べて約76%も増加し、世界全体の排出量の約1.5%を占めている。図1において(a)は主な産業のCO<sub>2</sub>排出量の割合を示し、(b)は輸送産業の各サブセクションのCO<sub>2</sub>排出量の割合を示している。こうした状況を背景にして、輸送産業に対する環境規制は現在、注目されている。

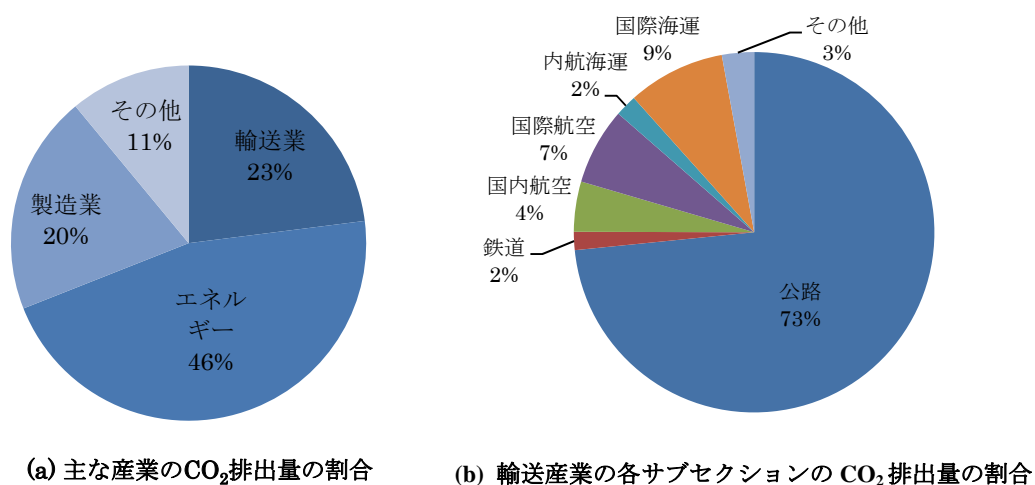


図1 産業別CO<sub>2</sub>排出量割合

出典：OECD (2010, p.8) より筆者作成

国際輸送には主に3つの特徴がある。第一に、複数の国・地域を移動するため、国際

<sup>3</sup> 世界の交通輸送分野におけるCO<sub>2</sub>排出量の現状は、OECD (2010a)を参照せよ。

<sup>4</sup> 国際海事機関（IMO）の独自の研究（IMO, 2009）によると、2007年に国際海運から排出されたCO<sub>2</sub>は1990年に比べて86%増加し、8.7億トンに達した。これは世界全体の排出量の約3%で、ドイツ1国分の排出量に相当する。

輸送から排出される温暖化ガスについて、通常の国・地域単位で削減義務を負う温暖化ガスの規制枠組みを適用することが困難である。例えば、自国（輸出国）から外国（輸入国）にコンテナ船で荷物が運ばれる場合、コンテナ船からの汚染排出（公海上での汚染排出も含めて）について自国と外国に帰属する量を決めなければならない。荷物が第三国のハブ港を経由するときは、第三国も関わることになるだろう。国際航空からの温暖化ガス排出も同様である。つまり、国際輸送からの汚染排出について、特定の国に帰属することは困難である。そこで、国際輸送部門独自の環境規制が必要となる。

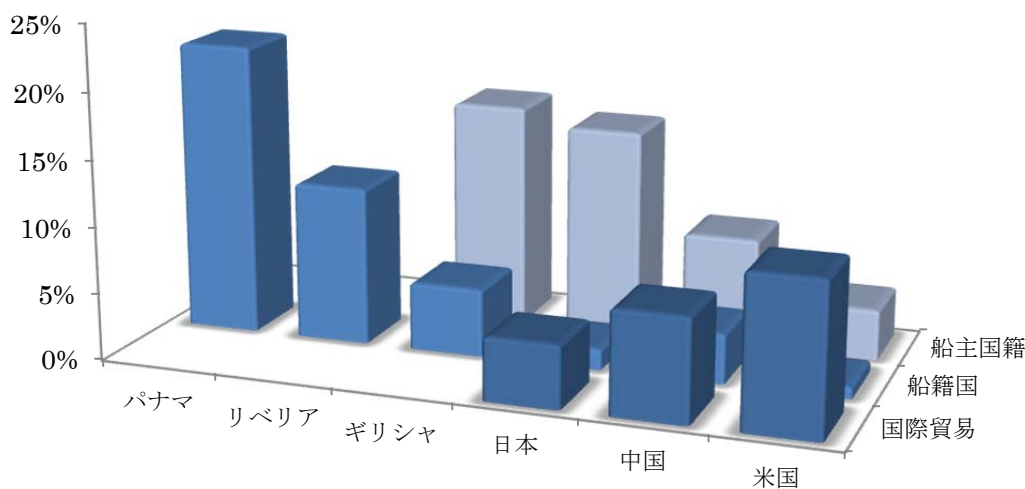


図2 船籍国、船主国籍と国際貿易の主な国が世界全体に占める割合

出典：UNCTAD (2011) と IMO (2009) より筆者作成

第二に、多様な主体が国際輸送に携わっているため、利害調整が困難であると考えられる。国際海運において、規制の対象は個々の船舶であり、その管轄主体は船籍国（旗国）である。しかし、海運事業に関わる主体として、船舶の所有者（船主）、海運事業者、荷主等、様々な主体があり、それらの国籍が異なる場合も多い。図2は国際海運において、船籍国、船主国籍と国際貿易の主な国が世界全体に占める割合を示している。また、国際航空についてもある程度類似した状況である。しかし、多くの場合、航空機の国籍は航空事業者の所属国と同一であり、航空事業者が航空機を所有する場合も多く、海運と比べて関連する主体は少ないと考えられる。このことも、国・地域単位での環境



規制の枠組みを適用することが困難な理由といえる。

第三に、国際輸送からの温暖化ガスの排出については、国内汚染のような世界的な規制の枠組みが存在しない。気候変動枠組条約（UNFCCC）の下で 1997 年に締結された京都議定書では、国別排出目標の中に国際航空輸送産業および国際海運業の排出量が含まれていない。つまり、これまで国際的規制の対象外となっている。京都議定書の 2.2 条には「付属書 I に掲げる締約国（先進国）は、国際民間航空機関（ICAO）及び国際海事機関（IMO）を通じて、航空機用及び船舶用の燃料からの温室効果ガスの排出の抑制又は削減を追求する。」旨定めた記述がある。国際航空と国際海運については、その性質上、歴史的に独自の国際機関がある。国際民間航空条約（シカゴ条約）と ICAO や IMO では、締約国間の差別的待遇を避けることが原則（「無差別原則」）となっている。しかし、UNFCCC と京都議定書においてはそれとは異なる原則として、「共通だが差異ある責任（CBDR : Common but Differentiated Responsibility）原則」が適用されている。このことから、気候変動への共通の対策を行うことが困難であることが示唆される。

## 2.2 国際輸送からの CO<sub>2</sub> 排出量の予測・削減可能性

航空と海運業界における汚染排出の予測と削減可能性について、環境と経済に関する調査・研究を行っている団体である Pew Center on Global Climate Change<sup>5</sup> が 2009 年 12 月に発表した報告書 McCollum et al. (2009) に沿って説明する。

まず航空需要についてみると、2000 年から 2006 年にかけて、航空旅客輸送の世界全体の需要は、年平均 3.8% の増加率を示している。次に海運需要をみる。2000 年から 2007 年にかけて、国際貿易による貨物輸送の世界全体の需要は年平均 5.5% の増加率を示し、それは世界経済成長率の約 2 倍である。そのうちの 8 割が海運でまかなわれている。2008 年の世界金融危機により短期的に増加率が小さくなると予想されているものの、長期的にみれば、海運と航空輸送は今後も高い増加が見込まれる。

航空輸送の今後の需要予測をみると、アメリカを除く世界の国内線・国際線を合わせた航空輸送は、旅客輸送で年率 4%、貨物輸送で 5% という高い伸びを示しており、2030 年までには旅客輸送で 150% 弱、貨物輸送でほぼ 200% 増加する見通しである。それにともない航空部門からの世界全体の温暖化ガス排出量は、何も対策をとらない BAU

---

<sup>5</sup> 2011 年 11 月からは Center for Climate and Energy Solutions (C2ES) に移行した。

(Business as Usual) の場合、年率 3.1%の割合で増加し、旅客・貨物合わせて 2030 年までに 60%増、40 年後の 2050 年までには 300%増、つまり現在の 4 倍の排出量になる。一方、海運の今後の需要は年率 2.1–3.3%増、2050 年までに 150–300%の増加と見込まれる。BAU の場合、国際海運からの温暖化ガス排出量は 2030 年で 2007 年の 1.7 倍、2050 年で 3.4 倍にも増える見込みである。

国際輸送からの CO<sub>2</sub> 排出量の主要な削減策は 3 つある。第一に、飛行機と船舶の運航効率の向上である。第二に、飛行機と船舶自体の設計によるエネルギー効率の向上である。第三に、代替燃料の開発・利用である。McCollum et al. (2009) によると、これらの対策をすべて活用すれば、2050 年までに、BAU のケースに比べて、合計では、航空輸送からの CO<sub>2</sub> 排出量を 53%、海運からの CO<sub>2</sub> 排出量を 62%削減できるとしている(表 1 を参照)。ただし、そのためには、海運業界と航空業界に対する国際的・国内的な政策的介入が不可欠であるとされている。そこで次節において、国際輸送における環境規制の現状を概観する。

	2050 年までに航空輸送からの CO <sub>2</sub> 削減可能性	2050 年までに国際海運からの CO <sub>2</sub> 削減可能性
運航効率の向上	5%	27%
設計によるエネルギー効率向上	35%	17%
代替燃料の開発・利用	24%	38%
BAU に比べての合計削減率	53%	62%

表 1 輸送分野からの CO<sub>2</sub> 排出削減可能性

出典：McCollum et. al (2009, p.15) より筆者作成

注：航空輸送は国内と国際航空輸送の合計。合計削減率は重複計算を避ける形で計算。

## 2.3 国際輸送における環境規制の現状

### 2.3.1 国際海運の環境規制<sup>6</sup>

#### (1) 直接規制

IMO では、技術的手法として「エネルギー効率設計指標 (EEDI : Energy Efficiency

<sup>6</sup> 詳しくは IMO (2011) と国土交通省ホームページを参照せよ。また、大坪 (2010) も詳しい説明をしている。

Design Index)」を、運航的手法として「船舶エネルギー効率マネジメントプラン (SEEMP : Ship Energy Efficiency Management Plan)」について議論が続けられている。EEDI とは、新造船を対象とするもので、1 トンの貨物を 1 マイル (1852 メートル) 運ぶ際に排出する CO<sub>2</sub> 排出量を指数化したもので、自動車のカタログ燃費に相当するものである。一方、SEEMP とは既存船が減速や最適ルートの設定などを通して、最小 CO<sub>2</sub> 排出量で運航するための管理手法である。

2011 年 7 月に開催された IMO の第 62 回海洋環境保護委員会 (MEPC62) においては、EEDI の導入と後述する EEDI 指標に基づく CO<sub>2</sub> 排出規制の実施、及び SEEMP の船舶への適用の義務化について、日本提案をベースとした海洋汚染防止条約 (MARPOL 条約) 付属書 VI の一部改正案が採択された<sup>7</sup>。この結果、国際海運分野に初めて CO<sub>2</sub> 排出規制が導入されることとなった。また、2012 年 2 月から 3 月にかけて開催された MEPC63 において、この改正 MARPOL 条約の実施に不可欠なガイドライン (EEDI の計算方法、EEDI の検査・認証方法、SEEMP の作成方法) が採択され、2013 年 1 月に発効<sup>8</sup>となり、規制の枠組みが整ったといえる。

主な規制内容は以下の通りである。まず技術的な手法について説明する。2013 年 1 月 1 日以降に建造契約が結ばれる新造船 (ただし、締約国は IMO に通報することにより、実施を最大 4 年間延期することができる。)、とりわけそのうち総トン数 400 トン以上の国際航海を行う船舶について、CO<sub>2</sub> 排出性能 EEDI (トンマイル当たりの CO<sub>2</sub> 排出量) の計算が義務付けられ、建造契約年に応じて CO<sub>2</sub> 排出基準の達成が要求される。なお、CO<sub>2</sub> 排出基準は段階的に強化される。基準値を満たさない船舶は海運市場に参加できない。次に、運航的な手法について説明する。現存船を含む全ての船舶に SEEMP を義務化し、個船に適した効率的な運航方法 (減速、海流・気象を考慮した最適ルート選定、適切なメンテナンス等) を自己宣言、文書に記載すること、さらに航海毎に実燃費を把握し、継続的な運航的手法を見直すことにより、CO<sub>2</sub> 排出の削減を目指している。

## (2) 経済的手法

IMO では、経済的手法 (MBM : Market Based Mechanism) の検討も進んでいる。この

---

<sup>7</sup> 例えば、[http://www.nmri.go.jp/main/cooperation/imo\\_iso/contents/IMO2011/IMO\\_MEPC62\\_J.pdf](http://www.nmri.go.jp/main/cooperation/imo_iso/contents/IMO2011/IMO_MEPC62_J.pdf)  
<http://www.imo.org/MediaCentre/PressBriefings/Pages/42-mepc-ghg.aspx> を参照せよ。

<sup>8</sup> <http://www.imo.org/MediaCentre/PressBriefings/Pages/01-MARPOL-EEDI.aspx> を参照せよ。

手法は、経済的インセンティブを用いて排出量の削減を図ろうというもので、京都議定書以降の国際的潮流に沿った動きである。その中身は多様である。主な案として、国際海運からの排出量に上限値を設定し（キャップを課し）、その量を各船舶にオークションで配分して、排出枠を対象船舶間で取引することで、汚染削減のための総コストを最小化しようという「キャップ・アンド・トレード」がある<sup>9</sup>。また、一定の燃費の効率基準を上回る船舶に対して優遇措置を与える方法、さらには海運業界から途上国での温暖化緩和・適応資金拠出に絡めたものまで千差万別であり、容易には決着しそうにない。

提案国・団体	制度名称	制度概要
デンマーク等	GHG FUND	燃料油課金制度：国際海運の排出削減目標を上回る燃料油の購入量に応じて課金を支払い、基金は途上国の適応プロジェクト等に活用
ノルウェー，ドイツ，フランス等	ETS : Emission Trading System	海運セクターの排出総量規制：個船に排出量を割当て、実排出量に応じての排出量取引制度
日本，WSC	EIS : Efficiency Incentive Scheme	燃料油課金制度をベースとし、所定のレベルを超えて効率を改善した船舶に、その程度に応じて課金を減免する制度
アメリカ	SETC : Ship Efficiency and Credit Trading	一定の効率基準を設定し、該当基準を達成していない船舶と達成している船舶の間において、効率クレジットを取引する制度
ジャマイカ	PSL : Port State Levy	航海毎の燃料消費量に応じて、寄港地で課税する制度

表 2 経済的手法の主な提案

出典：IMO (2010) と国土交通省 (2012b) より筆者作成

経済的手法については、2008年10月のMEPC58までに提案されていたのは、燃料油課金制度（デンマーク提案）およびキャップ・アンド・トレード（ノルウェー、ドイツ、フランス提案）の2種類であった。その後、日本やアメリカをはじめ数多くの国や団体

<sup>9</sup> 船舶が得る排出枠の無償配分の制度導入については、例えば大坪 (2010) を参照せよ。

から提案がなされた。それを受けて、各提案の実現可能性と影響を評価するための専門家グループが設立され、アメリカ、デンマーク、日本、ノルウェー、世界の定期船運航会社の業界団体である WSC (World Shipping Council) などから提出された 10 の提案について評価を行い、その内容が MEPC61 に報告された。主な提案の内容については表 2 にまとめている。

### 2.3.2 国際航空の環境規制

国際航空輸送における温暖化対策は、国際海運と同じく、①航空機の燃費効率向上や代替燃料への切り替え（低炭素化）などの技術的手法、②最適高度・速度で飛行する「エコフライト」やそれを可能にする航空管制の高度化などの運航的手法、③経済的インセンティブによる温室効果ガスの排出抑制を図る経済的手法の 3 通りがある。

国際航空輸送については、国際海運と異なる点がある。それは、欧州連合 (EU) が、2012 年 1 月に EU 発着の国際航空輸送会社 (aircraft operators) にまで、EU ETS (欧州排出量取引制度) の対象を拡大したことである (2012 年 11 月 12 日に一時凍結の発表)。これは、自国の環境法の域外適用の問題があるものであり、WTO (国際貿易機関) ルールとの整合性の問題も含み、航空分野のみならず温暖化対策全般に大きな影響を与えるものである。

#### (1) ICAO の取り組み<sup>10</sup>

環境問題に対する ICAO の取り組みは比較的遅く、2004 年からの航空環境委員会 CAEP (the Committee on Aviation Environmental Protection) で気候変動対策の本格的検討が始まった。その中心的なテーマは、国際的な排出量取引制度に国際航空を組み込む場合のガイダンスの策定であった。しかし、協議は当初から難航した。

2007 年第 36 回総会決議<sup>11</sup>では、シカゴ条約の「非差別原則」と UNFCCC の「CBDR 原則」の両者を尊重すべきこと、今後、国際航空に関する燃料効率性ベースの意欲的目標を設定することが決議された。さらに、排出量取引制度を導入する場合には、2 国間あるいは多国間で建設的に協議と交渉を行うことが決議された。しかし、EU は排出量取引について留保の立場を表明した。

<sup>10</sup> 詳細は ICAO のホームページ <http://www.icao.int/Pages/default.aspx> を参照せよ。

<sup>11</sup> [http://www.icao.int/publications/Documents/9902\\_en.pdf](http://www.icao.int/publications/Documents/9902_en.pdf) の A36-22 (I-54 ページ) を参照せよ。

2008年には、上記の総会決議に基づき、GIACC（Group on International Aviation and Climate Change）を設置し、行動プログラムを作成して、2009年に最終報告書をICAOに提出した。その主な内容は、国内・国際航空輸送全体の燃費を2050年まで年2%向上（法的拘束力なし）、国際航空分野での経済的手法の枠組み開発などである。

その後、2010年の第37回総会<sup>12</sup>において、自らが掲げる年2%の燃料効率改善という目標が不十分であることを認め、航空の持続可能性のためには、より野心的な目標が必要であると述べた。そして、2020年以降に国際航空分野からの排出量を2020年レベルに抑制するという努力目標を掲げている。また、経済的手法に関しては、3年後の次期総会までに枠組みを作成するとともに、既存の排出量取引制度を国際航空分野に適用する際には、対象国の間で建設的に協議・交渉を行うこととしている。これはEU排出量取引制度の一方的導入を牽制するものであった。このとき、EUは再度留保の立場を表明した。

2013年秋の第38回総会に向け、2012年11月9日のICAO理事会<sup>13</sup>では、経済的手法による環境規制に関する高レベルのポリシーグループの設置が合意された。

## (2) IATA の取り組み

国際航空輸送協会（IATA）は、国際線を運航する航空会社、空港、旅行代理店、その他関連企業の民間業界団体であり、1945年に設立され、現在、115カ国の航空会社230社が加盟している団体である。IATAが提唱してきたのがGlobal Sectoral Approach<sup>14</sup>である。

IATAは、このアプローチに基づいて、これまで意欲的なビジョンを打ち出してきた。まず2007年には、航空からの温室効果ガス排出を緩和するための環境ビジョンとして、50年以内にゼロ・エミッションの商用航空機を製造すること、そしてこのビジョンを達成するためにFour Pillar Strategy：①技術の改善、②効率的な操縦、③効率的なインフラ、④経済的手法、を適用することを提案した。①については、新しい機体デザイン、軽量素材、革新的なエンジン、バイオ燃料などの技術において大きな進歩が期待されて

<sup>12</sup> <http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Assembly.aspx> を参照せよ。

<sup>13</sup> 詳細は

<http://www.icao.int/Newsroom/Pages/new-ICAO-council-high-level-group-to-focus-on-environmental-policy-challenges.aspx> や

[http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-12-854 en.htm#PR\\_metaPressRelease\\_bottom](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-854_en.htm#PR_metaPressRelease_bottom) を参照せよ。

<sup>14</sup> [http://www.iata.org/pressroom/facts\\_figures/fact\\_sheets/Pages/emissions-approach.aspx](http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Pages/emissions-approach.aspx) を参照せよ。

いる。今後 2020 年までに新しい機体の開発に 1.5 兆ドルを投資し、2020 年までに全機体数の 27%にあたる約 5,500 体の機体を更新することによって、何も対策をとらなかった場合に比べて総排出量を 21%削減できるとしている。またバイオ燃料についても、完全な炭素ライフサイクルを確立すれば、CO<sub>2</sub> 排出の 80%削減も可能であると大きく期待し、2017 年までに代替燃料を 10%使用するという数値目標を掲げている。

「カーボン・オフセット・プログラム」を IATA は推進している<sup>15</sup>。一般に、航空会社は環境課税の導入に対する拒否反応が強い。各社によるカーボン・オフセットの積極的導入（自主的環境税・環境料金設定）は、環境課税の導入回避のための自主的取組みという意味合いが強い。2009 年において、30 社以上の航空会社がカーボン・オフセットを導入し、自主的なカーボン・オフセットの市場価値はすでに 3 億 3 千 8 百万ドルに達している。IATA のカーボン・オフセット・プログラムは、フェーズ I において、インターネットベースの販売サイトを通じて参加航空会社の乗客にマネジメントサービス（乗客も排出削減に経済的に貢献できる仕組み）を提供する。フェーズ II では、参加組織の範囲を航空会社以外の航空事業のセグメント（航空関連事業分野）にも拡大する予定である。

### (3) EU の取り組み<sup>16</sup>

2008 年 11 月 19 日に EU（欧州連合）は、EU ETS の対象に航空分野を加えることにした。具体的には、2012 年 1 月から EU 域内<sup>17</sup>発着のすべてのフライトを対象に、EU ETS が適用されることが決まった<sup>18</sup>。これにより、EU 発着の EU 域外航空会社のフライトも対象となる。対象航空会社（EU の航空会社も含む）の排出総量（キャップ）は、2012 年については実績排出量の 97%、2013 年以降は（修正がない限り）95%である。ここでの実績排出量とは、2004～2006 年の 3 年間の平均排出量を指している。

---

<sup>15</sup> 詳細は <http://www.iata.org/whatwedo/environment/Pages/carbon-offset.aspx> や ICAO (2010) pp.154-156 を参照せよ。

<sup>16</sup> 詳細は EU ホームページの例えば

[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation/docs/presentation\\_icao\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation/docs/presentation_icao_en.pdf) を参照せよ。

<sup>17</sup> 正確にはノルウェーなど EU 以外の欧州地域も含まれている。

<sup>18</sup> ただし、軍事用など特殊目的のほか、対象となるフライトの年間排出量が 1 万トン以下、あるいは EU 発着の国際航空輸送回数が一定規模以下である会社は対象外とした。後者は途上国の反対を抑えるための条項である。

排出総量のうち 15%はオークションで配分され、残りが無償配分となる<sup>19</sup>。オークションの割合は将来的に引き上げの可能性がある。この航空会社への無償配分のベースは、輸送実績（旅客および貨物の輸送重量に輸送距離を乗じたもの）である。ICAO 第 37 回総会に提出した EU の文書で、「排出実績」ではなく「輸送実績」としたのは、既に新型航空機の導入などにより排出削減に努めてきた航空会社が不利にならないための措置であるとしている。違反の場合には運航禁止もあり得る。

この EU の規制は、ICAO 第 37 回総会の決議 A37-19, 第 14 項, すなわち「国際航空を既存の経済的手法の対象とする場合には、他の締約国と合意に達するべく 2 国間あるいは多国間で協議・交渉を行うよう要請する」との条項に違反するとともに、締約国間の差別を禁止するシカゴ条約にも反する恐れのある内容である（ただし、EU は総会決議のこの条項には留保を付している）。そこで、アメリカの定期航空会社の団体である米航空輸送協会（ATA : Air Transport Association of America）などが、EU を相手に訴訟を起こした（2009 年 12 月）<sup>20</sup>。2011 年 9 月には、アメリカ、ロシア、中国、インド、日本等を含む 26 の非 EU 加盟国が共同声明を発表し、EU 域内の排出量取引制度を批判した<sup>21</sup>。

このような反対を受け、EU は 2012 年 11 月 12 日、航空分野への EU ETS の適用を 2013 年秋の ICAO 第 38 回総会まで延期することを明らかにするとともに、ICAO 総会でこの問題の解決に向けて多国間の合意が形成されることを願うとした。しかし、もし世界規模での環境対策について合意がなされなかった場合、EU は即時、航空分野への EU ETS 適用を再開する姿勢を示した<sup>22</sup>。

## 2.4 日本の取り組み

国際海運<sup>23</sup>において、EEDI の国際基準化により、海運会社が船舶を建造する際に参考とする燃費指標が確立されることで、国際海運市場においてエネルギー効率に優れた

---

<sup>19</sup> 厳密には、新規参入者などに備えて 3%の特別枠が取り置かれる。

<sup>20</sup> 詳細は

<http://curia.europa.eu/juris/documents.jsf?pro=&lgrec=fr&nat=&oqp=&lg=&dates=&language=en&jur=C%2CT%2CF&cit=none%252CCJ%252CCR%252C2008E%252C%252C%252C%252C%252C%252C%252C%252C%252C%252C%252Ctrue%252Cfalse%252Cfalse&num=C-366%252F10&td=ALL&pcs=O&avg=&page=1&mat=or&jge=&for=&cid=1016730> を参照せよ。

<sup>21</sup> 詳しくは [http://www.greenaironline.com/photos/ICAO\\_C.194.WP.13790.EN.pdf](http://www.greenaironline.com/photos/ICAO_C.194.WP.13790.EN.pdf) を参照せよ。

<sup>22</sup> [http://ec.europa.eu/clima/news/articles/news\\_2012111202\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/news/articles/news_2012111202_en.htm) を参照せよ。

<sup>23</sup> 詳細は国土交通省「平成 24 年版海事レポート」（pp. 28-35）を参照せよ。



船舶の普及促進が期待される。そこで、日本は IMO における EEDI や燃費規制の提案を行うと同時に、それに対応した技術開発を行うため、平成 21 年度より 4 ヶ年計画で、船舶から排出される CO<sub>2</sub> の 30 %削減を目指した民間の技術開発を支援する事業「船舶からの CO<sub>2</sub>削減技術開発支援事業」を行っている。さらに、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律の改正により国内法上の担保も行っている。

2000 年代の世界的な造船需要の拡大期において、中国・韓国の新造船建造能力が拡大した結果、日本造船業の建造量は世界第 3 位に後退している。当面の建造需要は、世界の造船業の建造能力の半分程度といわれており、造船の国際競争はより一層厳しいものとなることが予想される。このような状況において、省エネ技術による日本造船業の国際競争力強化が重要との考えを官民で共有し、IMO における CO<sub>2</sub> 排出規制の国際条約化と並行して、世界に先駆けた省エネ船舶の技術開発に官民で連携して取り組んでいる。今回の IMO の規制は、国際的に一律・公平に実施されることから、燃費性能に優れた船舶で技術的優位に立つ日本造船業の国際競争力の向上が期待されている。

航空部門<sup>24</sup>において、日本は環境適応型航空機の導入支援（航空機にかかる特別償却制度等）、空港施設の改善、航空保安システムの高度化、バイオ燃料の活用により、温暖化対策を推進している。さらに 2009 年度からは、国土交通省航空局主管で TEAM ASPIRE（Asia and Pacific Initiative to Reduce Emissions）を結成し、アジア・太平洋地域で管制機関と航空会社が連携して効率的な運航を実現することで、消費燃料及び排出ガスの削減を図ろうとしている。

航空会社の取り組みとしては、新型機材導入によって環境負荷の軽減を目指すだけでなく、搭乗する航空機が排出する CO<sub>2</sub> をオフセットできる選択枝として「カーボン・オフセット」<sup>25</sup>も行っている。これは乗客を巻き込んだ自主的な参加により CO<sub>2</sub> の削減を目指すもので、カーボン・オフセット費用は様々な環境プロジェクトに使用される。

### 3. 国際輸送部門における環境政策に関する理論分析

本節では、国際輸送サービス部門における環境政策の効果を理解するために、理論的分析を行う。国際輸送に対する環境規制は、国際輸送サービス市場を通じて財の国際貿易に影響を及ぼすので、市場間の相互作用を考慮した国際貿易を含んだ一般均衡モデル

<sup>24</sup> 詳細は国土交通省の資料 <http://www.mlit.go.jp/common/000186914.pdf> を参照せよ。

<sup>25</sup> 例えば <http://press.jal.co.jp/ja/release/200901/001086.html> を参照せよ。

による分析が適切である。国際輸送部門の環境規制の強化、国際輸送部門における国際的な排出量取引について考察する。

### 3.1 基本モデル

国際輸送に伴う汚染排出に対する規制の影響を分析するためのモデルを構築する。2国（自国・外国）、2財（第1財・第2財）の一般均衡モデルに、国際輸送サービス部門を明示的に導入する。一般性を失うことなく、自国は第1財を輸出して第2財を輸入するとする。第2財を価値基準財とし、第1財の相対価格を $p$ と表す。すべての市場は完全競争的とする。まず自国について説明する。外国についても同様の設定で、外国の変数についてはアスタリスク（\*）を付けて表示する。

生産側について説明する。自国の労働賦存量は $L$ で、非弾力的に供給される。国際輸送サービス部門に特殊的な生産要素として資本 $K$ （船舶など）がある。最終財の生産についての汚染排出枠は $Z_C$ で、国際輸送部門の汚染排出枠は $Z_T$ とする。汚染排出枠はすべてオークション方式で配分され、その収入は消費者に一括補助金で再分配される。財の生産には労働と財の汚染排出を、国際輸送サービスの生産には特殊資本と輸送の汚染排出を投入する。ここでの特徴は、汚染排出があたかも生産要素のような扱いとなっている点である。最終財生産企業は汚染削減活動をしており、ある一定量の生産をしているとき、労働投入量を増やせば汚染を減らすことができる。つまり、汚染排出と労働投入は代替的な関係にある。同様に、国際輸送サービス企業についても汚染削減活動があるとする。この設定は貿易と環境の一般均衡理論分析では標準的である<sup>26</sup>。

本モデルでは、汚染排出枠は、財生産と国際輸送とで個別に決められていると仮定する。つまり、汚染排出枠は、2つの財セクター間の移動は許されているが、財セクターと国際輸送セクターの間では移動しない。この仮定は、国際輸送からの排出は、その帰属先の特定が困難なため、既存の国際的な環境規制の枠組み（京都議定書）の規制対象外であり、国際輸送について独自の環境規制が実施・検討されている事実在即しており、妥当である。また、要素市場を通じた相互作用がないことで分析が容易となる。

---

<sup>26</sup> この設定の特徴は、汚染への課税も考えることができる点である。汚染排出枠が政策変数（外生変数）の場合、汚染排出の価格は要素価格として内生的に決まる。他方、汚染への課税（汚染排出の価格）を政策変数とする場合、汚染排出量が内生的に決まる。政府の課税収入は一括補助金として消費者に分配されるとすれば、両者は本質的に同じである。詳しくは例えば Copeland and Taylor (2003) を参照せよ。

我々のモデルの大きな特徴は、輸入する際には国際輸送サービスが必要なため、自由貿易であるにもかかわらず、輸出国と輸入国間で財価格が異なる点である。第1財を1単位自国から外国に輸送するには、国際輸送サービスを $\alpha$ 単位だけ利用すると仮定する。同様に、第2財を1単位外国から自国に輸送するには、国際輸送サービスが $\beta$ 単位だけ必要とする。国際輸送サービスは中間財と解釈できる。国際輸送サービス1単位当たりの価格を $t$ とすると、自国において輸入財である第2財の価格は $1 + \beta t$ となる。また、外国において輸入財である第1財の価格は $p + \alpha t$ となる。つまり、財価格が輸出国よりも輸入国で輸送サービス料金分だけ高くなる。

自国の国民所得は、財と国際輸送サービスの生産からの所得の合計である。財生産からの所得は、通常のGDP (Gross Domestic Product) 関数 $G(p, q, L, Z_C)$ を用いて表すことにする。ただし、 $q = 1 + \beta t$ とする。国際輸送サービスの生産関数を $F(K, Z_T)$ とすると、国際輸送サービス生産からの所得は、 $tF(K, Z_T)$ と表される。したがって、自国の総所得は $G(p, q, L, Z_C) + tF(K, Z_T)$ となる。

需要側について説明する。自国の経済厚生 $u$ は、自国と外国の汚染排出量の合計である $Z_W = Z_C + Z_C^* + Z_T + Z_T^*$ から負の外部性を受ける。つまり、汚染は越境し、各国の経済厚生に同じように悪影響を与える。支出額は支出関数 $E(p, q, Z_W, u)$ で表すことができる。汚染は負の外部性なので、 $E_Z > 0$ である。ただし、下付の記号は偏微分を表しており、 $E_Z = \partial E(\cdot) / \partial Z_W$ である。つまり、汚染が増えたとき、効用を一定に保つには、財の消費量が増えなければならない。また、両財とも上級財であるとする、 $E_{pu} > 0$ と $E_{qu} > 0$ が成り立つ。先行研究と同様に、消費と汚染の外部性の分離性を仮定する<sup>27</sup>。この仮定により汚染量の変化は限界代替率に影響を与えない。つまり、 $E_{pz} = E_{pu}E_Z (> 0)$ が成立する。

モデルは以下の4本の式で記述される。

$$E(p, q, Z_W, u) = G(p, q, L, Z_C) + tF(K, Z_T), \quad (1)$$

$$E^*(p + \alpha t, Z_W, u^*) = G^*(p + \alpha t, L^*, Z_C^*) + tF^*(K^*, Z_T^*), \quad (2)$$

$$E_p(p, q, Z_W, u) - G_p(p, q, L, Z_C) + X_p^*(p + \alpha t, L^*, Z_C^*, Z_W, u^*) = 0, \quad (3)$$

$$\beta X_q(p, q, L, Z_C, Z_W, u) + \alpha X_p^*(p + \alpha t, L^*, Z_C^*, Z_W, u^*) - F(K, Z_T) - F^*(K^*, Z_T^*) = 0. \quad (4)$$

<sup>27</sup> 例えば Copeland and Taylor (2003, 2005) を参照せよ。

ただし、 $X_q(p, q, L, Z_C, Z_W, u) = E_q(p, q, Z_W, u) - G_q(p, q, L, Z_C)$ ,  $X_p^*(p + \alpha t, L^*, Z_C^*, Z_W, u^*) = E_p^*(p + \alpha t, Z_W, u^*) - G_p^*(p + \alpha t, L^*, Z_C^*)$ と定義する。  $X_q(\cdot)$ と $X_p^*(\cdot)$ はそれぞれ自国と外国の財の輸入量を表しており、いずれも正である。 (1)と(2)はそれぞれ自国と外国の予算制約式である。 (3)と(4)はそれぞれ第 1 財と国際輸送サービスの世界市場の需給均衡条件である。 ワルラス法則より第 2 財の世界市場は均衡している。

このモデルの特徴は、財と国際輸送サービスの貿易収支の合計が均衡しているとき、予算制約が満たされることである。 自国の輸出財である第 1 財の輸出量（額）が少ないからといって、輸入財である第 2 財の輸入量（額）も少ないとは限らない。 なぜなら、自国の国際輸送サービス収支が黒字であれば、第 2 財の輸入量（額）が多くても経常収支は均衡するからである。

国際輸送サービスが貿易に不可欠な設定の下では、内外価格差が生まれるので、あたかも輸入関税が課された場合と同様に見える。 しかし、関税とは次の点で全く異なる。 国際輸送サービス価格は、世界の国際輸送サービス市場の需給均衡によって内生的に決まる。 これに対して、（最適）関税の場合は政府が政策的に関税率を設定する。

## 3.2 国際輸送部門の汚染排出枠の削減効果

ある国が単独で国際輸送部門の汚染排出枠 $Z_T^*$ を削減した場合の影響を分析する。 環境規制の強化が、財価格、国際輸送サービス価格および経済厚生にどのような影響を与えるかを考察する。

### 3.2.1 排出枠削減の価格への影響

国際輸送サービス価格と財価格に対しての影響を分析する。 (1)-(4)を全微分して整理すると次を得る（Appendix 1 を参照）。

$$\frac{|H|}{F_Z} \frac{dt}{dZ_T} = (1 - \beta t E_{qu}) \lambda + X_p^* \{ E_{pu} (1 - \alpha t E_{pu}^*) - E_{pu}^* (1 - \beta t E_{qu}) \} + \kappa t E_{pu}, \quad (5)$$

$$\frac{|H|}{F_Z^*} \frac{dt}{dZ_T^*} = (1 - \alpha t E_{pu}^*) \lambda + X_p^* \{ E_{pu} (1 - \alpha t E_{pu}^*) - E_{pu}^* (1 - \beta t E_{qu}) \} + \kappa t E_{pu}^*. \quad (6)$$

$$\frac{|H|}{F_Z} \frac{dp}{dZ_T} = \{ E_{pu}^* (1 - \beta t E_{qu}) - E_{pu} (1 - \alpha t E_{pu}^*) \} T^* - \mu t E_{pu} - \kappa (1 - \beta t E_{qu}), \quad (7)$$

$$\frac{|H|}{F_Z^*} \frac{dp}{dZ_T^*} = \{ E_{pu}^* (1 - \beta t E_{qu}) - E_{pu} (1 - \alpha t E_{pu}^*) \} T^* - \mu t E_{pu}^* - \kappa (1 - \alpha t E_{pu}^*), \quad (8)$$

ただし、 $\lambda = E_{pp} - G_{pp} + X_{pp}^*$ ,  $\mu = \beta X_{qt} + \alpha X_{pt}^*$ ,  $\kappa = \beta X_{qp} + \alpha X_{pp}^*$ ,  $T^* = \alpha X_p^* - F^*$ とする。

外国が国際輸送サービスの輸入国（輸出国）ならば  $T^* > (<) 0$  となる。支出関数と GDP 関数の性質から、 $\lambda < 0$  と  $\mu < 0$  である。 $\lambda < 0$  は、他の事情を一定として、第 1 財の価格  $p$  が上がれば、その消費量は減り生産量は増えることを意味する。また、 $\mu < 0$  は、他の事情を一定として、国際輸送サービスの価格  $t$  が上がると、その利用量は減ることを表している。均衡が局所的に安定的であるならば、 $|H| > 0$  である（証明は Appendix 1 を参照）。限界消費性向について  $pE_{pu} + qE_{qu} = 1$  が成り立つ。これを用いると、 $1 - \beta t E_{qu} = pE_{pu} + E_{qu} > 0$  と書き換えることができる。外国についても同様に書き換えることで、 $1 - \alpha t E_{pu}^* > 0$  を示すことができる。

明確で意味ある結果を得るために、次の妥当な仮定を置く。

$$\kappa \cong 0. \quad (9)$$

この仮定が妥当な理由は、以下の通りである。第 1 財の価格が上がる場合について説明する。自国では、相対的に安くなった輸入財である第 2 財の消費は増えるが生産が減るので、国際輸送サービスの需要は増大する ( $\beta X_{qp} > 0$ )。これに対して、外国では、高くなった輸入財である第 1 財の消費は減るが生産が増えるので、国際輸送サービスの需要は減少する ( $\alpha X_{pp}^* < 0$ )。つまり、仮定(9)は、国際輸送サービス需要の増加・減少効果がほぼ打ち消し合うことを意味している。

国際輸送サービス価格の変化について、次の命題が得られる。

**命題 1** 国際輸送サービス部門における環境規制の強化（汚染排出枠  $Z_T^{(*)}$  の削減）は、第 1 財の選好が自国では弱く（小さい  $E_{pu}$ ）外国では強い（大きい  $E_{pu}^*$ ）ならば、仮定(9)の下、国際輸送サービス価格  $t$  を引き上げる。

この命題の証明は以下の通りである。自国の第 1 財の選好  $E_{pu}$  が小さく、外国の第 1 財の選好  $E_{pu}^*$  が大きいとき、(5)と(6)の右辺第 2 項の中括弧の中身は負となる。右辺第 1 項は負で、仮定(9)より第 3 項は微少な値なので、(5)と(6)の右辺は全体として負となる。つまり、自国（外国）の汚染排出枠  $Z_T$  ( $Z_T^*$ ) をほんの少し削減することで、国際輸送サービス価格  $t$  は上昇する。

この結果の直観的説明は以下の通りである。自国の汚染排出枠  $Z_T$  が減った場合を考えよう。国際輸送サービスの供給が減るので、直接的に国際輸送サービス価格は上昇する

(直接効果). 自国においては, 国際輸送サービス生産量が減少しているため, 国際輸送部門からの所得は減るか増えるかは不明である. よって, 所得変化による輸入需要の変化も不明確である. 他方, 外国では国際輸送部門からの所得が増え, 輸入財である第1財を好むので, 輸入需要は増大する. つまり, 外国の国際輸送サービス需要は増える. これら2つを足し合わせたのが間接効果で, それは国際輸送サービス価格を引き上げる傾向にある. また, 国際輸送サービス価格の変化は, 輸入需要の変化を通じて財価格に影響を与えて, 財価格の変化がさらに国際輸送サービス価格に影響を与える. しかし, その影響は仮定(9)により無視できる程度の大きさとなっている. 間接効果は国際輸送サービス価格を必ず押し上げるかどうか分からないが, 直接効果が支配的で, 国際輸送サービス価格は上昇するのである. 外国の排出枠 $Z_T^*$ が減った場合も類推で説明できる.

財価格への影響(7)と(8)については, 明確な結果を得ることが追加の条件を課しても困難である. というのも, 国際輸送サービス市場と財市場を通じた影響が複雑に絡み合っていて, 一般にどのような価格変化になるか分からないからである.

### 3.2.2 排出枠削減の経済厚生への影響

国際輸送部門の汚染排出枠の削減の経済厚生に対する影響について考察する. (1)から次が得られる (Appendix 1 を参照).

$$du = X_p^* dp - (\beta X_q - F) dt + (tF_Z - E_Z) dZ_T. \quad (10)$$

国際輸送部門の汚染排出枠 $Z_T$ が増えると, 国際輸送サービスの生産量は増えるとする ( $F_Z > 0$ ). これは国際輸送部門に対して, 当初においてある程度の環境規制がかかっていることを意味しており, 妥当な仮定である. 規制が緩くなる (汚染排出枠が多くなる) と, 汚染削減活動を減らせるので, 同じ特殊資本の量でも生産量を増やすことができる. 外国についても同様に $F_Z^* > 0$ とする.

自国の厚生は, (10)の第1項と第2項のそれぞれ財貿易と国際輸送サービス貿易についての交易条件効果, 第3項の汚染削減による純便益の3つに依存している. 自国は第1財を輸出しているので ( $X_p^* > 0$ ), 第1財の価格 $p$ が上がれば自国の経済厚生は増大する. もし国際輸送サービスの輸出国 ( $\beta X_q - F < 0$ ) ならば, 国際輸送サービス価格 $t$ の上昇は厚生を改善する. また, 当初において環境規制が緩い場合, 排出枠が減ることで失う利益 (国際輸送サービスからの所得減少 $tF_Z$ ) よりも, 汚染減少による利益 ( $E_Z$ )

の方が大きいので、汚染排出枠の削減は厚生を上げる。同様にして、外国の厚生についても考えることができる。上述したように、汚染排出枠の削減の価格に対する影響が不明確であるため、個別の厚生効果は同様にはっきりしない（詳細は Appendix 2 を参照せよ）。

両国の厚生を足し合わせた世界の厚生への影響は明確で、次のように表される。

$$du + du^* = (tF_Z - E_Z - E_Z^*)dZ_T + (tF_Z^* - E_Z - E_Z^*)dZ_T^*. \quad (11)$$

当初均衡において、環境規制が緩いならば、(11)の右辺の括弧の中はいずれも負となる。したがって、環境規制が緩いならば、汚染排出枠の削減は世界の経済厚生を必ず改善する。つまり、少なくとも1カ国は得をする。これは自明な結果である。

以上の分析結果からいえることは、国際輸送部門における環境規制の強化（汚染排出枠 $Z_T^{(*)}$ の削減）を、ある国が単独で行ったとしても、その国の経済厚生は改善するかもしれない、ということである。国際輸送部門の環境規制をある国が自発的に厳しくしたとき、国際輸送部門からの所得が減少するので、その国にとって不利なように一見して思われる。しかし、財市場や国際輸送サービス市場を通じた価格変化次第では、自発的に環境規制を強化することで厚生を上げることが可能である。さらに、国際輸送部門における環境規制が緩い状況では、規制強化は世界の厚生は改善するので、相手国に対してもよい効果をもたらす可能性が高い。

### 3.3 国際輸送部門における国際排出量取引

2国の国際輸送サービス部門間で国際的な排出量取引が行われた際の影響について分析する。一般性を失うことなく、当初均衡において、自国の排出枠価格は外国よりも高い（ $tF_Z^* \leq tF_Z$ ）と仮定する。 $tF_Z^{(*)}$ は汚染の限界生産力価値で、各国における国内汚染排出価格を表している。この仮定は、国際輸送部門の環境規制が、自国で厳しく、外国で緩いことを意味する。また、排出枠の国際取引価格 $r$ は、両国の国内排出価格の間にくるとする（ $tF_Z^* \leq r \leq tF_Z$ ）。この状況の下では、国際的な排出量取引が許されると、自国は汚染排出枠の買い手で、外国は売り手となる。排出枠の国際移動によって、排出枠はより効率的に活用されるので、世界の厚生は改善する。なぜなら、同じ排出枠でも、燃費のよい船舶や航空機を使うことで、国際輸送サービスの生産量を増やすことができるからである。現実には、特に環境技術の格差が大きいとされる船舶において、汚染の

限界削減費用は大きく異なるので、排出枠の国際移動によって、汚染量を増やさずに国際海運サービスの生産量を世界全体で大きく増やすことが可能である。

以前のモデルは以下のように修正される。

$$E(p, q, Z_W, u) = G(p, q, L, Z_C) + tF(K, Z_T + z) - rz, \quad (12)$$

$$E^*(p + at, Z_W, u^*) = G^*(p + at, L^*, Z_C^*) + tF^*(K^*, Z_T^* - z) + rz, \quad (13)$$

$$\beta X_q(p, q, L, Z_C, Z_W, u) + \alpha X_p^*(p + at, L^*, Z_C^*, Z_W, u^*) - F(K, Z_T + z) - F^*(K^*, Z_T^* - z) = 0. \quad (14)$$

ただし、 $z$ は国際移動する排出枠の量である。自国の排出枠購入の支払いは、(12)の右辺第3項で表されている。他方、外国の排出枠の売却収入は(13)の右辺第3項である。なお、第1財の世界市場の均衡条件は以前と同じ(3)である。よって、(3)、(12)-(14)の4本の式でモデルは記述される。

### 3.3.1 排出量取引の価格への影響

国際輸送サービス価格と財価格への影響を考察する。(3)、(12)-(14)を全微分することで以下を得る。

$$|H| \frac{dt}{dz} = (tF_z - r)(\kappa\varepsilon - \gamma\lambda) + (F_z - F_z^*)[t\gamma E_{pu}^* X_p^* + \{\kappa t E_{pu}^* + (1 - \alpha t E_{pu}^*) (\varepsilon X_p^* + \lambda)\}], \quad (15)$$

$$\begin{aligned} |H| \frac{dp}{dz} = & -(tF_z - r)(\varepsilon\mu - \gamma\kappa) - (F_z - F_z^*)\{\mu t E_{pu}^* + \varepsilon T^*(1 - \alpha t E_{pu}^*)\} \\ & - (F_z - F_z^*)\{\kappa(1 - \alpha t E_{pu}^*) + \gamma t T^* E_{pu}^*\}, \end{aligned} \quad (16)$$

ただし、 $\gamma = \beta E_{qu} - \alpha E_{pu}^*$ 、 $\varepsilon = E_{pu} - E_{pu}^*$ とする。第1財の1単位当たり国際輸送サービス必要量 $\alpha$ が大きく、第2財の国際輸送サービス必要量 $\beta$ が小さいならば、 $\gamma < 0$ と $\kappa < 0$ が成り立つ。また、第1財の選好が自国では強く(大きい $E_{pu}$ )、外国では弱い(小さい $E_{pu}^*$ )ならば、 $\varepsilon > 0$ が成り立つ<sup>28</sup>。

まず国際輸送サービス価格の(15)について詳しく見ていく。均衡の安定条件の1つ(Appendix 1の(A2))から、 $\varepsilon X_p^* + \lambda < 0$ となる。よって、 $\gamma < 0$ 、 $\kappa < 0$ 、 $\varepsilon > 0$ ならば、(15)の右辺全体は負となる。つまり、微少な排出枠の国際移動 $z$ によって、国際輸送サ

<sup>28</sup> 両国の厚生関数が同じで、財消費の部分効用関数が相似拡大的であれば、 $\varepsilon > 0$ が成り立つ。Appendix 2を参照せよ。



ービス価格 $t$ は低下する。そして、両国間の排出価格の差 ( $F_z - F_z^*$ ) が大きいほど、排出枠の国際移動によって国際輸送サービスの生産量は大きく増えるので、国際輸送サービス価格の低下幅は拡大する。上記の条件は十分条件であるため、一部の条件が満たされないとしても、同様の結果が得られる可能性がある。

この結果の直観的説明は以下の通りである。排出枠の国際移動によって国際輸送サービスの供給が増え、国際輸送サービス価格は低下する（直接効果）。さらに、排出枠の国際移動によって、両国において所得が増加するので、財消費が増え、以下の2つの間接効果が生じる。財消費の増加は、その派生需要である国際輸送サービス需要を増やす。しかし、自国（外国）では輸出財である第1財（第2財）を好んで消費しているので、国際輸送サービス需要はそれほど増えない。また、財消費の増加は、財価格 $p$ の変化を通じて、国際輸送サービス需要に影響を与える。国際輸送サービス必要量 $\alpha$ が十分に大きいとき、外国において第1財の価格 $p + at$ は高いのでその輸入量は少ない（小さい $X_p^*$ ）。つまり、財価格 $p$ の変化による国際輸送サービス需要の変化は小さい。よって、直接効果が間接効果を上回るので、国際排出量取引によって国際輸送サービス価格は低下する。

次に財価格の(16)について考える。国際輸送サービス価格の場合と同様の条件 $\gamma < 0$ ,  $\kappa < 0$ ,  $\varepsilon > 0$ ならば、自国が国際輸送サービスの輸入国 ( $T^* < 0$ ) のとき、右辺の第3項の符号は不確定だが、それ以外はすべて正となる。よって、微少な排出枠の国際移動 $z$ によって、第1財の価格 $p$ は上がる傾向にある。直観的には、排出枠の国際移動による所得増加、国際輸送サービス価格が低下することによる国際輸送サービス貿易における交易条件の改善という2つの恩恵を受ける自国において、第1財の選好が強いので、第1財の価格が上がる傾向にあるといえる。ただし、一般には、国際輸送サービス市場と財市場の相互作用によって、様々な効果が複雑に絡み合っているため、財価格への影響は曖昧である。

当初均衡において、自国の排出枠価格が外国よりも低い ( $tF_z \leq r \leq tF_z^*$ ) ケースについても、国際輸送サービス価格と財価格に関して同様の結果が得られることが、簡単に確認できる。このケースのとき、自国は排出枠の売り手で、外国が排出枠の買い手となるので、 $dz < 0$ に注意が必要である。

### 3.3.2 排出量取引の経済厚生への影響

国際排出量取引の各国の厚生への影響は、(3), (12)-(14)を全微分することで、以下の

ように導出される.

$$|H| \frac{du}{dz} = (tF_Z - r)\lambda\mu - (F_Z - F_Z^*)\{t\mu X_p^* E_{pu} - \lambda T^*(1 - \alpha t E_{pu}^*)\} \\ - \kappa[\kappa(tF_Z - r) + (F_Z - F_Z^*)\{X_p^*(1 - \alpha t E_{pu}^*) - tT^* E_{pu}^*\}], \quad (17)$$

$$|H| \frac{du^*}{dz} = (r - tF_Z^*)\lambda\mu - (F_Z - F_Z^*)\{-t\mu X_p^* E_{pu} + \lambda T^*(1 - \beta t E_{qu})\} \\ - \kappa[\kappa(r - tF_Z^*) + (F_Z - F_Z^*)\{X_p^*(1 - \beta t E_{qu}) + tT^* E_{pu}^*\}]. \quad (18)$$

まず排出枠の買い手である自国の厚生(17)について詳しく見ていく. 自国が国際輸送サービスの輸入国 ( $T^* < 0$ ) ならば, 右辺第2項は正となる. 仮定(9)と  $tF_Z^* \leq r \leq tF_Z$  より, 右辺全体は正となる. つまり, 微少な排出枠の国際移動  $z$  で, 自国の厚生  $u$  は上がる.

次に, 排出枠の売り手である外国の厚生について考える.  $T^* < 0$  とすると, (18)の右辺第2項は負となる. 排出枠の国際売買価格が, 外国の低い国内排出枠価格とほぼ等しい ( $r - tF_Z^* \cong 0$ ) ならば, 右辺全体は負となる. つまり, 排出枠を売ることによって外国は損失を被る.

排出枠価格の差が  $tF_Z \leq r \leq tF_Z^*$  のケースでの厚生効果についても, 同様に考えることで, 本質的に同じ結果が得られることが簡単に確認できる. 上記の結果は, いずれの国が排出枠の買い手・売り手になるかに依存せず成り立つ.

以上をまとめると, 次の命題を得る.

**命題 2** 自国が国際輸送サービスの輸入国 ( $T^* < 0$ ) であるとする. 仮定(9)の下, 国際輸送部門における国際的な排出量取引によって, 以下の結果が得られる.

- (i) 自国の厚生は上がる.
- (ii) 外国の厚生は, 排出枠の国際売買価格が外国の国内排出枠価格とほぼ等しい ( $r - tF_Z^* \cong 0$ ) ならば, 下がる.

財価格と国際輸送サービス価格の変化が不確定であったにもかかわらず, 厚生効果は明確に得られた. 我々の結果は, 直観に反してとても興味深いものである. 驚くことに, たとえ排出枠の売買自体からの利益を全く得られない ( $tF_Z - r = 0$ ) としても, 国際輸送サービスの輸入国である自国は, 国際排出量取引によって得する. また,  $tF_Z - r = 0$  のとき, 外国が国際排出量取引自体からの利益を独り占めしているにもかかわらず, 国際

輸送サービスの輸出国である外国は損する可能性がある。我々の結果は、国際排出量取引の厚生効果は、国際輸送サービスの貿易パターンに決定的に依存していることを示唆している。

この結果の直観的説明は以下の通りである。国際排出量取引によって効率性が改善しているため、少なくとも1カ国は厚生が改善する。まず自国の厚生効果について説明する。排出枠の国際移動によって、国際輸送サービス価格には低下圧力がかかっているため、国際輸送サービス貿易における自国の交易条件が大きく悪化することはない。また、排出枠の売買自体から所得が増えて利益を得る。所得の増加によって財の需要が増えて、財貿易における交易条件効果が生じるが、これは自国にとって有利かどうか一般に不明である。財価格の変化は、輸入需要の変化を通じて国際輸送サービス需要に影響を与えるが、この影響は仮定(9)により無視できるほど小さい。自国では、国際輸送サービス貿易における交易条件の改善と所得増加の効果が他の効果を上回るため、厚生が改善するのである。次に外国の厚生効果について説明する。外国にとっては、国際輸送サービス価格の低下は交易条件の悪化となる。排出枠を国内の排出枠価格と同じ価格で売買するため、排出枠の売買そのものからの所得増加はない。また、財貿易の交易条件効果は一般に不明である。国際輸送サービス貿易での交易条件の悪化が支配的であるため、外国は損するのである。

政策的インプリケーションは以下の通りである。国際輸送サービスの輸入国は、排出枠の買い手・売り手を決める環境規制の厳しさや排出枠の売買価格の水準にかかわらず、国際排出量取引を支持する傾向にある。しかし、国際輸送サービスの輸出国は、国際排出量取引への参加に慎重な姿勢を示すだろう。排出枠の売買からの利益を独り占めできるなら、国際排出量取引に賛同するかもしれない。すべての国際排出量取引の参加国が利益を得るためには、国際排出量取引制度の設計に工夫が必要である。国際輸送サービスの輸出国と輸入国の間で、一般に利害が一致しない。そこで、一部の排出枠をオークションで配分して、国際輸送サービス輸出国に対してのみ、オークション収入を国際所得移転として与え、参加国すべてが利益を得られるようにすることが重要である。国際排出量取引によって経済の効率性は高まるので、参加国すべてが利益を得られるように制度を設計することは可能である。

貿易統計によると、日本の輸送収支の海上輸送貨物収支は2000年代の初期は赤字で

あったが、2000年代後半から2012年は黒字である<sup>29</sup>。航空輸送貨物収支は、2000年～2012年は一貫して黒字である。つまり、日本は本研究における国際輸送サービスの輸出国といえる。よって、日本は排出枠の取引価格に十分に留意することが必要である。もし排出枠の買い手となる場合は、排出枠をできるだけ安く購入して、排出量取引自体からの利益をできるだけ大きくすることが重要である。

本モデルでは、明確な分析結果を得るために、最終財部門と国際輸送サービス部門の間での生産要素の移動がない設定となっている。言い換えれば、生産要素が産業特異的な短期・中期の状況を記述しているといえる。仮に両部門で労働を投入して生産し、労働が財セクターと国際輸送サービス部門の間を自由に移動できるとすると、我々の結果は本質的に変わらないが、以下のように修正されるだろう。追加的な効果として、労働の産業間移動の効果が発生する。要素移動によって、財と国際輸送サービスの両部門の生産効率性は以前よりも高まるので、世界全体の両部門の生産量は増加する。つまり、世界全体の厚生は必ず上がる。また、生産量の増加によって、財と国際輸送サービス貿易における交易条件効果が発生する。したがって、交易条件効果次第で、国際輸送サービス輸入国の厚生は、国際排出量取引によって必ずしも上がるとはいえなくなる。また、国際輸送サービス輸出国は、国際排出量取引によって得する可能性が出てくる。追加的な効果によって、命題2は影響を受けるが、本質的に国際輸送サービス輸入国が得しやすく、輸出国が損しやすいことは変わらない。また、国際排出量取引によって効率性が高まっているので、少なくとも1カ国は得することも同じである。産業間の要素移動を考慮することはモデルを複雑にするだけであって、明確で興味深い新たな結果が得られるわけではない。

国際排出量取引を2国2財の貿易一般均衡モデルで分析した代表的な論文は Copeland and Taylor (2005) である。Copeland-Taylor モデルでは、最終財のみ生産し、2国の最終財セクター間の国際排出量取引を考察している。彼らは、国際排出量取引の厚生効果は不確定であることを示した。排出枠の買い手国は、たとえ相手国の低い排出枠の市場価格で排出枠を購入できて、排出枠の売買自体からの利益をすべて獲得しても、厚生が悪化する可能性がある (Proposition 9, p. 227)。厚生効果が不確定な理由は、財貿易の交易条件効果が存在するからである。交易条件効果が不利に働くときは、たとえ排出枠の売買

---

<sup>29</sup> 日本銀行の国際収支統計

[http://www.stat-search.boj.or.jp/ssi/cgi-bin/famecgi2?cgi=\\$nme\\_a000&lstSelection=10](http://www.stat-search.boj.or.jp/ssi/cgi-bin/famecgi2?cgi=$nme_a000&lstSelection=10) を参照せよ。

自体からの利益があっても、厚生が悪化するかもしれない。我々の結果と大きく異なる点は、我々のモデルでは明確な厚生効果が得られている（命題 2）。我々の結果は、国際排出量取引が、最終財セクター間か、国際輸送サービス部門（中間財セクター）間のいずれで行われるかで、影響が異なることを示唆している。

#### 4. おわりに

本稿では、国際輸送サービス部門における環境政策について概観するとともに、環境政策の影響について理論分析を用いて考察している。これまで実質的な環境政策が行われていない国際輸送に対する環境規制の強化は、国際輸送サービス市場を通じて国際貿易に大きな影響を与えるので、グローバル経済下で非常に関心の高いテーマである。財生産や国内輸送などからの温暖化ガス排出の帰属先は、その排出が実際に行われた国と特定できる。これに対して、国際輸送からの温暖化ガス排出の帰属先は、特定することが困難である。また、国際輸送サービスは活発に貿易されているので、特定の国だけでの規制強化ではあまり効果がない。そこで、世界の国際輸送サービス部門全体に対して、国際輸送独自の環境政策を実施する必要がある。本稿では、ICAO や IMO など導入の是非について議論され、特に関心の高い国際排出量取引について分析している。異なる国の国際輸送サービス部門間での国際的な排出量取引によって、各国の経済厚生がどのような影響を受けるかを明らかにすることは極めて重要である。

我々の分析から、国際輸送サービス部門における国際排出量取引の厚生効果は、国際輸送サービスの貿易パターンと排出枠の売買自体からの利益に大きく依存していることが明らかとなった。我々の結果には以下のようなインプリケーションがある。(i) 国際輸送サービス輸入国と輸出国の間で利害対立が発生する。そこで、一部の排出枠をオークションで配分して、国際輸送サービス輸出国に対してオークション収入を国際所得移転として与えるといった制度設計の工夫が必要である。(ii) 中・長期的に国際輸送サービス部門と財セクターの間で生産要素が大きく移動するならば、国際輸送サービス貿易と財貿易の双方における交易条件効果が強くなる。そこで、中・長期的には、利害調整のための追加的な措置が必要となるかもしれない。(iii) 我々のモデルは、実証研究のための基本モデルとして活用できる。実証研究によって、国際輸送サービス部門の貿易と国際排出量取引の関連性を数量的に分析できる。

今後の研究課題として興味深いものとして、不完全競争の貿易モデルを用いた国際輸

送サービス部門の間での国際排出量取引の分析がある。また、財セクターと国際輸送サービス部門を統合した国際排出量取引制度が構築された場合の影響についての考察である。これらの分析を行うことで、国際輸送に対する環境規制の効果についてより深い理解が得られるだろう。

## 参考文献

- 国土交通省 (2010) 「航空分野の CO2 削減について」
- 国土交通省 (2011) 「国際海事機関 (IMO) 第 62 回海洋環境保護委員会 (MEPC62) の開催結果」 <http://www.mlit.go.jp/common/000160760.pdf>
- 国土交通省 (2012a) 『平成 24 年版海事レポート』
- 国土交通省 (2012b) 「国際海事機関 (IMO) 第 63 回海洋環境保護委員会 (MEPC63) の開催結果」 <http://www.mlit.go.jp/common/000193652.pdf>
- 大坪新一郎 (2010) 国際海運における CO2 排出規制のあり方について－産業特性を考慮したセクター別アプローチの追求－「運輸政策研究」
- 財団法人空港環境整備協会／財団法人運輸政策研究機構 国際問題研究所 (2007) 『国際航空からの CO2 排出抑制策に関する報告書』 [www.jterc.or.jp/koku/koku\\_semina/pdf/070830report.pdf](http://www.jterc.or.jp/koku/koku_semina/pdf/070830report.pdf)
- Abe, Kenzo, Keisuke Hattori, and Yoshitaka Kawagoshi (2012) Environmental regulations on international transportation, mimeo.
- Cassing, J. H. (1978) Transport costs in international trade theory: a comparison with the analysis of nontraded goods, *Quarterly Journal of Economics* 92(4), 535-550.
- Copeland, B.R. and M.S. Taylor (2003) *Trade and the Environment: Theory and Evidence*, Princeton, the United States of America.
- Cristea, Anca, David Hummels, Laura Puzello, and Misak Avetisyan (2013) Trade and the greenhouse gas emissions from international freight transport, *Journal of Environmental Economics and Management* 65(1), 153-173.
- Gallagher, Kevin P. (ed.) (2008) *Handbook of Trade and the Environment*, Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Herberg, H. (1970) Economic growth and international trade with transport costs, *Zeitschrift für die Gesamte Staatswissenschaft* 82, 577-600.

- IATA (2009) A global approach to reducing aviation emissions, first step: carbon-neutral growth from 2020, International Air Transport Association.
- IATA (2010) Industry Carbon Offset Program, International Air Transport Association.  
<http://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/carbon-offset-sep2010.pdf>
- ICAO (2009) Global Aviation CO2 Emissions to 2050, International Civil Aviation Organization.
- ICAO (2010) Environmental Report: Aviation and Climate Change, International Civil Aviation Organization.
- IMO (2009) Second International Maritime Organization Greenhouse Gas study 2009, International Maritime Organization, London.
- IMO (2010) MEPC61/INF.2, Reduction of GHG Emissions from Ships, Full Report of the Work Undertaken by the Expert Group on Feasibility Study and Impact Assessment of possible Market-based Measures, International Maritime Organization.
- IMO (2011) Main Events in IMO's Work on Limitation and Reduction of Greenhouse Gas Emissions from International Shipping, International Maritime Organization.
- McCollum, D., Gould, G., and Greene, D. (2009) Greenhouse Gas Emissions from Aviation and Marine Transportation: Mitigation Potential and Policies, Pew Center on Global Climate Change, Arlington.
- Mundell, R. A. (1957) A Geometry of Transport Costs in International Trade Theory, *Canadian Journal of Economics and Political Science* 23, 331-348.
- OECD (2010a) Transport Greenhouse Gas Emissions, Country Data 2010, Organization for Economic Co-operation and Development.
- OECD (2010b) Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions, Trends and Data 2010, Organization for Economic Co-operation and Development.
- Olsthoorn, Xander (2001) Carbon dioxide emissions from international aviation: 1950-2050, *Journal of Air Transport Management* 7, 87-93.
- Samuelson, P. A. (1954) The Transfer Problem and Transport Costs; II: Analysis of Effects of Trade Impediments, *Economic Journal* 64, 264-269.
- UNCTAD (2011) *Review of Maritime Transport*, United Nations Conference on Trade and Development

## Appendix 1 $|H| > 0$ の証明

国際輸送部門の汚染排出枠 $Z_T^{(*)}$ を外生変数として、(1)-(4)を全微分して整理すると次を得る。

$$H \begin{bmatrix} du \\ du^* \\ dp \\ dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} tF_Z - E_Z & -E_Z \\ -E_Z^* & tF_Z^* - E_Z^* \\ -E_{pu}E_Z - E_{pu}^*E_Z^* & -E_{pu}E_Z - E_{pu}^*E_Z^* \\ F_Z - \beta E_{qu}E_Z - \alpha E_{pu}^*E_Z^* & F_Z^* - \beta E_{qu}E_Z - \alpha E_{pu}^*E_Z^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dZ_T \\ dZ_T^* \end{bmatrix}. \quad (A1)$$

ただし、

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & E_p - G_p & \beta E_q - \beta G_q - F \\ 0 & 1 & E_p^* - G_p^* & \alpha E_p^* - \alpha G_p^* - F^* \\ E_{pu} & E_{pu}^* & \lambda & \kappa \\ \beta E_{qu} & \alpha E_{pu}^* & \kappa & \mu \end{bmatrix}.$$

$E_u^{(*)} = 1$ と基準化している。これは効用 1 単位上げるのにかかる支出額が、1 単位の価値基準財であることを意味しており、支出関数アプローチではよく利用される仮定である。

第 1 財と国際輸送サービスの超過需要関数によって定義された微分方程式は、

$$\dot{p} = E_p(p, q, Z_W, u) - G_p(p, q, L, Z_C) + X_p^*(p + \alpha t, L^*, Z_C^*, Z_W, u^*),$$

$$\dot{t} = \beta X_q(p, q, L, Z_C, Z_W, u) + \alpha X_p^*(p + \alpha t, L^*, Z_C^*, Z_W, u^*) - F(K, Z_T) - F^*(K^*, Z_T^*) = 0.$$

これらを線形近似して、

$$\begin{bmatrix} d\dot{p} \\ d\dot{t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{pu}u_p + E_{pu}^*u_p^* + \lambda & E_{qu}u_t + E_{pu}^*u_t^* + \kappa \\ \beta E_{qu}u_p + \alpha E_{pu}^*u_p^* + \kappa & \beta E_{qu}u_t + \alpha E_{pu}^*u_t^* + \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dp \\ dt \end{bmatrix}.$$

ヒックスの完全安定条件は、

$$E_{pu}u_p + E_{pu}^*u_p^* + \lambda < 0, \quad \beta E_{qu}u_t + \alpha E_{pu}^*u_t^* + \mu < 0, \quad (A2)$$

$$\det \begin{bmatrix} E_{pu}u_p + E_{pu}^*u_p^* + \lambda & E_{qu}u_t + E_{pu}^*u_t^* + \kappa \\ \beta E_{qu}u_p + \alpha E_{pu}^*u_p^* + \kappa & \beta E_{qu}u_t + \alpha E_{pu}^*u_t^* + \mu \end{bmatrix} > 0, \quad (A3)$$

であり、このとき市場全体の安定性はもちろんのこと、各市場の均衡についても局所的に安定的である。なお、 $u_p$ 、 $u_p^*$ 、 $u_t$ 、 $u_t^*$ は、(1)と(2)を全微分して以下のように得られる。

$$u_p = -(E_p - G_p), \quad u_t = -(\beta E_q - \beta G_q - F),$$



$$u_p^* = -(E_p^* - G_p^*), \quad u_t^* = -(\alpha E_p^* - \alpha G_p^* - F^*).$$

$|H|$ を計算して書き直すと,

$$\begin{aligned} |H| &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & -u_p & -u_t \\ 0 & 1 & -u_p^* & -u_t^* \\ E_{pu} & E_{pu}^* & \lambda & \kappa \\ \beta E_{qu} & \alpha E_{pu}^* & \kappa & \mu \end{vmatrix} \\ &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & -u_p & -u_t \\ 0 & 1 & -u_p^* & -u_t^* \\ 0 & 0 & \lambda + E_{pu}u_p + E_{pu}^*u_p^* & \kappa + E_{pu}u_t + E_{pu}^*u_t^* \\ 0 & 0 & \kappa + \beta E_{qu}u_p + \alpha E_{pu}^*u_p^* & \mu + \beta E_{qu}u_t + \alpha E_{pu}^*u_t^* \end{vmatrix} \\ &= \begin{vmatrix} \lambda + E_{pu}u_p + E_{pu}^*u_p^* & \kappa + E_{pu}u_t + E_{pu}^*u_t^* \\ \kappa + \beta E_{qu}u_p + \alpha E_{pu}^*u_p^* & \mu + \beta E_{qu}u_t + \alpha E_{pu}^*u_t^* \end{vmatrix} > 0. \end{aligned}$$

したがって, (A3)より  $|H| > 0$ が導かれる.

## Appendix 2 汚染枠削減の厚生効果

(A1)を使って, 汚染排出枠の削減が各国の経済厚生に与える影響を求めると, 以下の通りである.

$$|H| \frac{du}{dZ_T} = \begin{vmatrix} tF_Z - E_Z & E_p^* - G_p^* & -F^* \\ tF_Z E_{pu}^* + (E_{pu} - E_{pu}^*)E_Z & \lambda & \kappa - \alpha\lambda \\ -\alpha E_{pu}E_Z - F_Z + \beta E_{qu}E_Z & \kappa - \alpha\lambda & \mu - 2\alpha\kappa + \alpha^2\lambda \end{vmatrix},$$

$$|H| \frac{du^*}{dZ_T^*} = \begin{vmatrix} -E_Z^* & E_p^* - G_p^* & -F^* \\ (E_{pu} - E_{pu}^*)E_Z^* - tF_Z E_{pu} & \lambda & \kappa - \alpha\lambda \\ F_Z - (tF_Z - E_Z^*)(\beta E_{qu} - \alpha E_{pu}) & \kappa - \alpha\lambda & \mu - 2\alpha\kappa + \alpha^2\lambda \end{vmatrix},$$

$$|H| \frac{du}{dZ_T^*} = \begin{vmatrix} -E_p & E_p - G_p & F^* \\ -tF_Z^* E_{pu}^* - (E_{pu} - E_{pu}^*)E_Z & \lambda & \kappa - \alpha\lambda \\ F_Z^* - \beta E_{qu}E_Z + \alpha E_{pu}E_Z & \kappa - \alpha\lambda & \mu - 2\alpha\kappa + \alpha^2\lambda \end{vmatrix},$$

$$|H| \frac{du^*}{dZ_T^*} = \begin{vmatrix} tF_Z^* - E_Z^* & E_p - G_p & F^* \\ tF_Z^* E_{pu} - (E_{pu} - E_{pu}^*)E_Z^* & \lambda & \kappa \\ F_Z - \alpha E_{pu}E_Z^* + (tF_Z^* - E_Z^*)\beta E_{qu} & \kappa & \mu \end{vmatrix}.$$

環境規制が緩い場合,  $tF_Z$ は $E_Z^*$ に比べて小さいと考えてよい. 両国の厚生関数が同じ

で財消費の部分効用関数が相似拡大的であれば、 $E_{pu} > E_{pu}^*$ が成り立つ。なぜなら、自国では輸出財である第1財が相対的に安いため第1財を多く消費しており、外国では輸入財である第1財が相対的に高いため第1財の消費割合が低いからである。このように追加の条件を課しても一部の符号が確定するにとどまり、全体としては複雑なままで符号は不確定である。