

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760487

研究課題名(和文) 港湾・海運・通商政策評価のための国際物流業行動モデルと貿易予測モデルの開発

研究課題名(英文) Modelling of International Cargo Transportation Firm Behavior and Trade Estimation for Evaluating Port/Maritime/Trade Policies

研究代表者

石黒 一彦 (ISHIGURO, KAZUHIKO)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60282034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、(1)物流業の輸送サービス生産構造と運賃の決定メカニズムを考慮した多地域応用一般均衡モデルの構築、(2)船社の寄港スケジュールを考慮した荷主の港湾選択行動モデルの構築、(3)積み替え拠点における規模の経済を考慮した輸送ネットワーク配分モデルの構築を行った。(1)では船舶の大型化の影響や内航海運市場開放の影響について、特に各地域の生産や地域間の交易の変化に注目して推計できた。(2)では新規寄港曜日の違いが必要に与える影響や寄港や利用に対するインセンティブの廃止の影響を推計できた。(3)では船舶の大型化や燃料費の上昇が積み替え輸送の増加をもたらすメカニズムを表現できた。

研究成果の概要(英文)：This study developed three models of cargo transportation. The models were assessed for reproducibility and validity. (1) A spatial computable equilibrium model was developed. A cargo transportation firm behavior and a freight mechanism is included in the model. The model was applied to estimating impacts of transportation market changes and policies such as an increase of ship size and deregulation of cabotage. (2) Shippers' port choice behavior models were developed by considering vessel calling schedule. The model was applied to estimating impacts of a new calling service by a day of the week and an abolition of incentives to calling and/or shipment at a particular port. (3) Cargo transportation assignment model was developed. Economy of scale at container terminal is expressed in the model. The model was applied to estimating impacts of an increase of ship size and a soaring fuel price.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：多地域応用一般均衡モデル 物流業 ロジットモデル 港湾選択モデル ネットワーク配分モデル

### 1. 研究開始当初の背景

貿易に関連する政策は幅広く、様々な分野に及んでいる。物流政策としては、港湾・空港整備、港湾・空港運営など社会基盤としての物流施設に関する政策や、海運や航空における規制としての政策が挙げられる。通商政策としては、関税政策、市場開放政策、貿易手続きの簡素化に関する政策などが挙げられる。港湾整備などの物流政策により、港湾関連費用、港湾混雑、港湾ネットワークが変化し、直接的には船社が、間接的には生産者や消費者が影響を受ける。通商政策によっては、国際間の財取引量が変化し、更には海外直接投資も変化する。それら政策のいずれもが関係各国の生産や消費に影響を与えることになるが、政策の効果を予測し、適切な意思決定を行うためには、以上のような貿易関連政策が船社や生産者、さらには消費者に及ぼす様々な影響を分析できる体系の構築が望まれる。

国際物流需要予測は、海上貨物の場合を例に説明すると、貿易予測と船舶寄港予測の二段階に分けられる。貿易予測には主に計量経済モデルや国際産業連関モデルが用いられ、過去のトレンドが継続するような仮定の下に予測が行われる。関税削減などの交易条件向上や海外直接投資の規制緩和による多国籍企業の発展などにより、最近では国際的な産業連関構造が複雑化している。特に、国際分業形態の多様化に伴って中間財貿易が世界中で急速に増加している。貿易予測においてはこうした国際間の産業連関構造を的確に表現することが課題となっている。

船舶寄港予測は港湾の需要予測を基にした計量モデルの他、貨物の流動経路を同時に求める OR モデルや、荷主の行動も反映させたゲーム理論を用いたモデルが開発されている。貿易予測と船舶寄港予測の二段階予測は、それぞれ独立に発展してきているため、船社の行動が貿易予測に反映されることはなく、また貿易予測の結果はそのまま船舶寄港予測の与件となっている。かつての船社は与えられた需要に応えるだけの受動的な存在であったが、その需要が増加するに従って必然的に規模も大きくなり、競争や協調の形態も変化してきた。これら変化は世界の貿易において無視することのできない影響を与えるに至っていると考えられるため、貿易予測においては生産者や消費者の行動のみならず、船社の行動をも考慮する必要が生じている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は通商政策、海運政策、港湾政策が貿易に与える影響の評価が可能な多地域モデルを構築することである。貿易分析に広く適用されている空間一般均衡 (SCGE) モデルは、生産要素や生産された財の市場における需給均衡点を求めることにより、多地域の各地域における生産、消費、政府行動等

を推定するものであり、外的変化の影響を、企業、家計、その他諸々の主体の行動変化を通じた地域的波及を考察することができる。その SCGE モデルの利点を生かすために、国際物流業の行動を明示的かつ整合的に取り扱う手法を開発する。

本研究では、開発したモデルのケーススタディとして、国際輸送関連企業の合併による生産性向上、船舶の大型化による効率性向上、船員の出身国の変化、内航海運の市場開放などが日本および世界の貿易に与える影響を推計する。国際間・地域間の交易量増加に伴い、国際物流業の重要性はますます高まってきた現状を鑑みるに、本研究のような国際物流業の行動も生産者や消費者と同等に扱うモデルが必要とされている。例えば、世界の海運業界は、以前は同盟や協定などにより自由競争とはほど遠い状況にあったが、最近ではコスト競争力のある新規参入者の台頭もあり、競争的になってきている。輸送における生産性向上や効率化が一層進展する現状や、輸送サービス供給量制約を、より具体的な形で表現できることになり、より信頼性の高い貿易予測が可能となる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 多地域応用一般均衡モデル

SCGE モデルに関する研究は数多く、それらにおいても生産者や消費者の行動表現方法に関してはおおよそ共通している。多地域応用一般均衡モデルにおいては、企業、家計、政府の行動が定式化され、結果として各財の生産量、各財や各生産要素の価格が求まる。一般に、企業は利潤最大化を行い、家計は効用最大化を行うと仮定される。本研究においても、それら従来研究の表現方法を踏襲する。生産関数や効用関数として Cobb-Douglas 型関数を用いる。従来の SCGE モデルにおいては、国際物流業の輸送サービス生産構造と運賃の決定メカニズムを十分に明示的に考慮したものはほとんどないため、これらを明示的に考慮しモデルに組み込むことが本研究の特徴である。各地域に港湾が1つずつ存在し、対象地域全体に海運業が1つずつ存在する状況を想定する。また、通常の SCGE モデルと同様に各地域にそれぞれ複数の産業、家計、政府が存在するものと想定する。また、従来のモデルは一般に金額ベースでの議論に終始しており、重量ベースでの計算や考察が行われていない。国際輸送企業の生産物は輸送サービスであり、その単位は ton・km などといった、重量と距離の積で表現される。そのため、従来のモデルでは輸送の需給構造を物量単位では表現できないため、本研究では物理量の表現を明確にしながらモデル構築を行っている点が特徴であり、独創的な点である。

#### (2) 荷主の港湾選択モデル

地方部の荷主の港湾選択要因分析を集計

ロジックモデルにより行い、地方ごとの荷主の特性を把握するとともに、地方港に関わる政策の影響を評価する。多くの従来研究において、荷主の経路選択行動には、陸上輸送費用、陸上輸送時間といった陸上輸送要因と、海上輸送費用、海上輸送時間、寄港頻度といった海上輸送要因が大きく影響しているとしている。本研究でもそれら要因を考慮するが、従来研究では考慮されなかった詳細な配船スケジュールも荷主の港湾選択の要因となると仮定する。例えば、寄港頻度が週2便であるとき、同じ曜日に2便なのか、それぞれ違う曜日に寄港しているのか、またその間隔が何日あるのかによって、荷主にとっての利便性が異なり、結果として選択確率に影響を与えていると考える。便数が複数ある場合の海上輸送時間についても、最短、調和平均、相加平均、最長の4通りの時間を考慮し、それらの結果の比較を行う。対象とする輸送は、東北・中国・四国地方と北米・欧州との間のコンテナ貨物とする。荷主は京浜港や阪神港といった国内拠点港の利用と、地元港を利用して釜山港でトランシップの二肢選択を行っているとして仮定する。

### (3) 船社の貨物輸送ネットワーク配分モデル

物流量の変化に伴う規模の経済性による物流費用の変化を明示的に組み込み、広域物流拠点の適正な立地場所と規模を決定するモデルを、国際海上コンテナ輸送ネットワークに適用できるように、特に積み替えの表現を改良した。従来研究では、積み替えは考慮されているものの、積み替えにおける規模の経済や、ネットワークの階層性が明示的に考慮されていない点が問題であり、本研究はこれらを考慮した点が特徴である。

多数のトランシップ貨物を集める国際的なハブ港湾から末端の小規模港湾まで、港湾は機能別に分類できる。本研究では広域をカバーする国際ハブ港湾、それに準ずる規模の地域ハブ港湾、長距離基幹航路の寄港が少ないフィーダー港湾の3種類を想定する。貨物の発生集中場所は、各港湾の直背後地とする。発生集中地においては、最寄りの港湾を積み卸し港湾として利用し、港湾選択は行わないものとする。これらを輸送貨物の発生集中地点として発着ノードと定義する。

港湾とそれらを結ぶリンクから構成される海上輸送ネットワークは、その機能により長距離基幹航路ネットワーク、地域基幹航路ネットワーク、フィーダーネットワークに分けられる。長距離基幹航路ネットワークは船型の大きな船舶によってアジア欧州間の主に国際ハブ港湾間を結ぶネットワークである。地域基幹航路ネットワークは中型の船舶による輸送ネットワークを想定しているが、地域内に限らず、アジア欧州間の輸送も行うネットワークとして定義する。アジア欧州間においては、長距離基幹航路ネットワークと地域基幹航路ネットワークのいずれでも輸

送が可能とする。フィーダーネットワークは地域内輸送に限定した輸送ネットワークとして定義される。輸送単価は長距離基幹航路ネットワークが最も安く、フィーダーネットワークが最も高い。多くの港湾間において、フィーダーネットワークにより国際ハブ港湾までフィーダー輸送を行い、長距離基幹航路ネットワークを利用するか、地域基幹航路ネットワークを利用して直接長距離輸送を行うかの選択肢が用意される。

本研究では、ネットワーク交通量配分で広く用いられている分割配分法により輸送費用最小化に基づく港湾取扱量を求める。通常の方法では、各回の配分の貨物量が少ないため、規模の経済を享受するだけの貨物量がハブ港湾に集まらず、明らかに高コストな解となる。そこで、港湾での費用の中で大きな割合を占める固定費を初期配分時には著しく低く設定し、一定の割合で固定費を高く更新しながら繰り返し計算を行う方法を提案する。この際、一度配分が終了した段階で、各港湾で取扱われた貨物量を次回更新された固定費を与えた費用関数に代入し、初期積替単位費用として次回の分割配分で与え、前回の貨物量より多く取扱われるまで一定であるとする。

## 4. 研究成果

### (1) 多地域応用一般均衡モデル

日米 EU アジア 4 地域を対象とした適用例  
世界の大手船社の多くがグローバルアライアンスを形成し、航路ネットワークを拡大させることにより、それら各船社においてネットワークの経済性を享受している。グローバルアライアンスを形成することにより各船社の経営が効率化し、外航海運業全体の生産性が向上するものと考え、式(5-12)における生産性パラメータを10%上昇させた場合の計算を行った。日本の輸出は0.3%増加し、輸入は0.5%増加する結果となり、4地域間合計では0.4%の貿易量増加となった。貿易量全体と比較すると非常に小さいが、外航海運業の生産性向上がすべての地域間において貿易を促進する結果を得た。

コンテナ船を中心に輸送の効率化を目指した船舶の大型化が継続的に進展している。その影響を計測するため、外生的に与えている外航海運業の資本量を基準状態よりも30%上昇させた場合の計算を行った。船舶大型化は需要増加を前提として考えられていることが多いが、船舶大型化による輸送費用削減はすなわち貿易障壁の緩和であるため、それ自体が輸送需要の増加をもたらすものと考えられる。そこで輸送の効率化と貿易増加の関連をモデルにより推計する。全体的な傾向はアライアンス形成の例と同様な結果を得たが、貿易促進効果はいずれの地域間においても大きい結果となった。資本量の増加はCobb-Douglas型生産関数においては生産性の向上と同様の意味を持つとの解釈も可能

であり、結果としては妥当である。

先進海運国はかねてから国際競争力の低下を背景に、船員費の面で有利な外国人船員を自由に配乗することができる利点を求めて、リベリアやパナマなどの外国に船籍を登録するいわゆる便宜置籍船を増やしてきた。その一方で、自国船員の減少は便宜置籍船の増加による自国籍船の減少とともに問題視され、税制や社会保障における優遇策が検討・導入されている。ここでは船員の国籍構成の変化が各国へ及ぼす影響を推計する。全船員がアジア人である場合を想定し、船員の賃金の移転先をすべてアジアとして計算を行った。アジアの所得が増加し、その他地域の所得が減少するため、アジアの貿易量が増加し、その他地域間の貿易量は減少する結果となったが、既にその傾向は進んでいるため、現状を基準に考えれば、更なる変化はあまり大きくない。

内航海運市場は安全保障上必要な措置として各国とも閉鎖的な状況にある。市場開放を行った場合の経済的メリットが、その安全保障のための費用と言い換えることができる。日本の内航海運市場に外航海運業が参入した場合の影響を推計する。完全な自由化を想定するのではなく、日本の内航輸送の10%を外航海運業が行うものとして計算を行った。日本の貿易量は輸出入合計で0.06%の増加となった。国内運賃の低下により日本国内の取引も活発化される結果を得た。他の地域間においてはほとんど変化が見られなかった。厚生は日本では年間1億ドル以上向上するが、他地域ではそれぞれ数百万ドルの向上に止まる。

国内多地域間を対象とした適用例

先に実施した内航海運市場の開放は、他国への影響はあまり大きくない一方で、国内への影響は大きいことが示唆された。そこで、多地域応用一般均衡モデルを国内47地域(都道府県単位)に対して適用し、内航海運市場開放の影響を推計した。

47地域40産業部門の多地域応用一般均衡モデルを構築し、内航海運市場の開放による内航輸送運賃低下の経済影響を分析した。ケーススタディとして、日本全域全品目一斉緩和に加え、航路別あるいは品目別に様々な内航海運市場の開放シナリオを想定した。航路別の想定の際には品目は限定せず、品目別の想定の際には航路は限定していない。ただしこれらは実際に検討されている政策とは関係なく、モデル適用が可能な範囲で分析を行うために設定したものである。外国籍船は、船員費、登録免許税、固定資産税、石油石炭税、石油関税が内航船よりも安価あるいは不要であることを考慮し、内航海運市場の開放により運賃は3割低下すると仮定した。

事前の予想通り、航路や品目を限定した場合、運賃低下の恩恵を直接受ける地域や産業には大きな経済効果をもたらされる結果が得られた。例えば、発地または着地が沖縄県

の航路について規制を緩和すると、沖縄県の雇用者所得総額は5.3%増加する。ただしこれは、生産規模拡大に伴う他地域からの労働者流入の効果が主に寄与したものである。一方で、国全体の雇用者所得総額は減少する結果となっている。国全体の雇用者所得総額が増加するのは、航路も品目も限定しないシナリオのみであり、その場合の増加率は1.0%であった。航路や品目を限定した規制緩和は市場を歪める形での地域振興や産業保護であり、恩恵が特定の地域や産業に集中する一方で、全体としては損失の方が大きい。内航海運市場の開放の提案の多くは、構造改革特区などにより特定の地域や貨物を対象とするもので、その効果として特定の地域の経済活性化が議論されるが、比較対象の安全保障は国全体の問題であるため、経済効果についても国全体に与える影響を常に意識する必要がある。

以上のように、本研究のモデルは、データさえ得られれば、多国間の分析から国内地域間の分析まで、様々な地域単位を対象とすることができる。

## (2) 荷主の港湾選択モデル

国内地域別及び三地方全体(4通り)、輸出入別(2通り)、相手地域別及び両地域(3通り)の計24通りに対して、それぞれ海上輸送日数(4通り)、配船スケジュール(2通り)、運賃の有無(2通り)の計16通りのモデルと海上輸送日数と平均待ち時間を合わせた海上総輸送時間(4通り)、運賃の有無(2通り)の計8通りのモデルを合わせた24通りのモデルを掛け合わせて、計576のモデルのパラメータ推定を行った。

モデル推定結果より、荷主は、輸出においては平均的な輸送時間を重視し、輸入においては最も輸送時間が掛かるケースを想定していることが明らかとなった。また、荷主は平均待ち時間を海上輸送日数と合わせて海上総輸送時間として考慮していることが明らかとなった。積替え時間は輸出の場合に考慮され、輸入では考慮されないことも推察された。モデルを用いたシナリオ分析により、単に便を増加させるだけでなく、曜日も考慮した誘致を行うことが有用であること、寄港へのインセンティブを廃止しても影響は小さいことが示された。

例えば、新規寄港を寄港曜日別にその輸出貨物への影響を推計した結果、広島は日曜以外の曜日で便があり、日曜日に新たに便が増えると平均待ち時間が0.14日削減され選択確率が1.3%増加する。仙台では火曜、水曜に便が増えると最も効果的で平均待ち時間が1.7日短くなり、週当たり約22.5TEUの貨物量増加が見込める。松山では土曜もしくは日曜に便が増えると平均待ち時間が0.3日短くなり、地方港選択確率が2.2%増加するなどといった結果が得られた。

また、インセンティブ廃止の影響に関して

は、ここではインセンティブを導入している  
広島港、八戸港、松山港において、インセン  
ティブが 100 ドルであるとし、インセン  
ティブ廃止は 100 ドルの運賃上昇をもたらすとしてその影響を推計した。各港湾で 0.2~0.3%  
地方港選択確率が低下するという結果が得  
られた。

(3)船社の貨物輸送ネットワーク配分モデル  
モデルの再現性を確認したところ、規模の  
経済に関するパラメータが比較的敏感に働  
く定式化となっているようで、中国、香港、  
シンガポールなど、現在のコンテナ取扱量  
が多い国・地域の推計値がより大きくなっ  
ている。逆に、相対的に規模の大きい国・地  
域については、過小推計となっている。以  
降のケーススタディにおいては、モデルの現  
況再現性についての問題を踏まえつつ、各  
ケースの影響のみを抽出して議論するため、  
ここで現況再現のために用いた推計値をベン  
チマークとして用いることとする。

船舶の大型化が進み、国際基幹航路および  
地域基幹航路の輸送コストが 20%削減され  
る状況を想定する。これは平均船型がおよ  
そ 2 倍に大型化されることに想定している  
ことになる。地域内輸送におけるコスト削  
減は、直行輸送の減少とトランシップの増  
加をもたらす。従って、与えた OD 貨物量  
は一定のままだが、港湾取扱量の合計はト  
ランシップの増加の分だけ増加している。中  
国の規模が大きいため、規模の経済の効果  
により、中国の港湾により集中する結果と  
なっている。日本については、対北米輸送  
におけるトランシップ貨物の増加がもたら  
された結果、取扱量が増加している。また、  
日本欧州間の輸送については、中国でト  
ランシップされる貨物が増加するが、規模  
の経済の効果によりトランシップ費用が低  
下し、全体としての輸送コストは低下して  
いる。

アメリカ合衆国政府がとりまとめている  
OK 原油先物価格は、2000 年初頭には 1 バ  
レル約 25 ドルであったものが、2010 年  
初頭には約 81 ドルと、10 年で 3 倍以上に  
高騰している。その間、2008 年には 140  
ドルを超える価格にまで上昇したこともあ  
り、今後もさらに上昇する可能性が考えら  
れる。また、需給逼迫による原油価格上昇  
のほか、地球温暖化対策としての政策であ  
る燃料税増税や排出権価格上昇なども考  
えられ、今後の燃料価格は上昇する可能  
性が高いと考えられる。ここでは燃料価格  
が 3 倍に高騰した状況を想定する。すべ  
ての船型において輸送コストは上昇する  
が、相対的に大型船が有利となるため、  
結果としては船舶大型化による影響と同  
様の傾向となった。燃料価格高騰はそれ  
自体が船舶大型化による効率性向上への  
動機ともなる。ここで考慮した 2 つの  
ケーススタディがいずれも同様の結果を  
もたらすことより、港湾取扱量におい  
て今回の推計結果のような傾向の  
変化が生じることは十分に考えら

れる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

石黒一彦：リバース・ロジスティクス効  
率化効果推計モデル，内航海運研究，  
Vol.3, pp.31-40, 査読有り，2014。

石黒一彦：カボタージュ規制緩和が地域  
経済および内航需要量に与える影響，内  
航海運研究，Vol.2, pp.43-54, 査読有  
り，2013。

石黒一彦：多地域応用一般均衡モデルを  
用いた船員問題の分析，内航海運研究，  
Vol.1, pp.11-19, 査読有り，2012。

〔学会発表〕(計 5 件)

石黒一彦：規模の経済と多層ネットワ  
ークを考慮した海上コンテナ輸送モデル  
の開発と適用，第 48 回土木計画学研究  
発表会，2013 年 11 月 2 日，大阪。

Kazuhiko Ishiguro and Pitu  
Mirchandani, Asian Container Cargo  
Transportation Model including  
Multi-Layer Transportation Network  
and Economy of Scale, 10<sup>th</sup> Eastern Asia  
Society for Transportation Studies,  
2013 年 9 月 9 日，Taipei (台湾)。

Rujun Jin and Kazuhiko Ishiguro,  
Economic Effect of International  
Transportation Infrastructure  
Development on a Landlocked Region,  
The 6th International Conference of  
Asian Shipping and Logistics, 2013  
年 8 月 31 日，神戸。

茅野宏人・石黒一彦：配船スケジュール  
を考慮した荷主の港湾選択行動分析，第  
47 回土木計画学研究発表会，2013 年  
6 月 1 日，広島。

Kazuhiko Ishiguro and Pitu  
Mirchandani, Equilibrium Model for  
Analysis on Opening and Improving  
Transportation Routes, INFORMS Annual  
Meeting, 2012 年 10 月 14 日，Phoenix  
(アメリカ合衆国)。

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

石黒 一彦 (ISHIGURO, Kazuhiko)

神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授  
研究者番号：60282034