

国際海峡通航の安全性維持のための費用分担に関する一考察*

A Speculation of Cost Sharing for Safe Operation at International Straits*

安福皓介**・竹林幹雄***

By Kosuke YASUFUKU**・Mikio TAKEBAYASHI***

1. はじめに

国際貨物輸送において大きな役割を果たす海上輸送は、港湾や海峡、運河といった、いわゆる「国際インフラ」の利用によって成り立っている。とりわけ国際海峡、例えばマラッカ海峡やジブラルタ海峡といった国際海峡を通航するルートを多くの船社が設定し、荷主に対して輸送サービスを提供している。換言すると、こういった国際海峡を通過する航路サービスは、国際海峡の通航の安全性に大きく依存していることになる。

しかし、国際貨物輸送のキーポイントともいえる国際海峡においては、船舶事故や自然災害、テロ、海賊行為等、海上貨物輸送を阻害し得る要因が数多く存在する。仮に上記のようなことがらが現実に発生することになれば、船社は航路変更を余儀なくされ、荷主は従来通りのサービスを受けることができなくなる。こういった不利益は、例えば、リードタイムの増加、運航コスト全体の増加といったことに如実に表れることになる。このような荷主・船社の双方に追加的なコストが発生する可能性があり、その増加は無視しうる値ではないと考えられる。また、船社の航路変更によってルートから抜港される港湾が発生する可能性もある。港湾の競争力としては取扱貨物量が一つの指標となるため、このような抜港は港湾管理者にとって大きな損害となる。このような「コスト増加の可能性」を本稿では一括して「リスク」と表現することとする。

さて、上記のようなリスクを未然に防止するためには、沿岸地域の巡視や船舶の航行補助、自然災害に対する防災設備等への投資が必要となる。そこで問題となるのが、その投資のためのコストの負担者と、その負担額である。これは国際輸送におけるリスクマネジメントの問題であ

ると考えられ、リスクの発生によるコスト上昇が、潜在的な便益に対する支払額であると捉えることができる。しかし、最も分析の進んだマラッカ海峡等においても、各主体が潜在的に被るリスクを定量化することで費用負担額を算定するという方式は現在まで採られてはおらず、各主体自身が任意で負担額を決定するという包括的な手法が採用されている¹⁾。国際海峡の安全航行実施のためには公正な費用分担を実現が急務であり、またそのためにはリスク計量と費用分担方法について定量的手法の提案が急務である。

以上のような問題意識に基づき、本稿では、潜在リスクの計測とそれに基づく費用分担方法を提案するための第1段階として、リスクの計量方法の提案と、それに基づく費用分担方法についての比較分析を行う。本稿では、欧州-アジア間の東西基幹航路の要衝であるマラッカ海峡を分析対象として設定し、数値計算を実施する。

具体的には、まず海峡が通航不能となった場合における海運市場の変化を、船社の航路変更モデル²⁾を用いて分析し、各主体の海峡の潜在的利用価値を推定する。次に、上記より得られた出力値を利用して、海峡における防災コストの分担額を、提携形ゲーム理論で提案された各種方法論を用いて評価する。以上のプロセスにより、公正で社会的最適な費用分担方法についての比較分析を行い、望ましい分担ルールについて考究する。

2. 国際海峡利用の潜在的利用価値の計測方法

(1) 分析方法の概要

前稿³⁾では、災害時における船社の航路変更およびそれによる貨物流動の変化を分析することを目的として、船社の航路決定行動のモデル化を行った。本稿でもそのモデルを用いて分析を行うが、既発表モデルであるため、その概要を簡単に示す。

船社の航路決定問題は整数計画問題であり、一般的にNP困難となることが知られている。新谷ら⁴⁾は、航路決定を考慮した海運市場のモデル化を行う際に、効率的な近似解法として遺伝的アルゴリズム (GA/Genetic Algorithm) を採用し、大幅に計算時間を短縮することを可能にしている。本研究では新谷アルゴリズムに改良を

*キーワード：防災計画

**学生員，神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻
(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1,
E-mail:095t143t@stu.kobe-u.ac.jp)

***正員，工博，神戸大学大学院，海事科学研究科
(〒657-8501 神戸市東灘区深江南町5-1-1,
E-mail:takebaya@kobe-u.ac.jp)

施し、船社の航路変更問題を定義した。

航路分析の際に必要な、船社の輸送すべきOD貨物量については、竹林ら⁵⁾による海上貨物輸送市場モデルによる均衡配分計算結果を用いる。本稿では海峡の短期間（数週間～数月程度）の通航不能を対象としているため、災害発生前に予定されていた貨物のODフローが保存されると仮定している。つまり、船社は輸送する貨物のODフローが既知として、航路編成を行い、貨物の経路を決定する。そのため、船社の獲得する運賃収入についても与件であり、船社は運航コストの最小化を目的として航路編成を行う。モデルの詳細については講演時に示す。

(2) 分析対象地・対象市場の概要

東西基幹航路の欧州 - アジア間において、多くの船社がマラッカ海峡を通航するルートを採用している。このような国際海峡としての重要度に比して、この海域は喫水が浅く風向きが変化しやすいために船舶事故が多く、また近年では自然災害も頻発しており、沿岸国を中心に安全性維持のための議論が行われている。しかし、防災機能への出資については、船社やその他の団体が任意で行うといった形や、マレー半島沿岸の港湾の港湾料金の一部が利用されるという形で行われており、公正な費用分担が行われているとはいえないのが現状である¹⁾。

そこで本章では、マラッカ海峡の防災コストの公正で社会的最適な負担についての議論を行う準備として、マラッカ海峡の潜在的利用価値についての分析を行う。すなわち、船舶事故等によるマラッカ海峡の通航不能を仮定し、構築した航路変更モデルを用いて数値計算を行い、海峡通航不能時に損害を被る主体と、その損害額の大きさを推定する。

具体的には、アジアの港湾と欧州・地中海の港湾を結ぶ航路において、図 - 1 に示すように、マラッカ海峡を通航する最短距離のルート (Malacca Route) の通航不能時の迂回航路として、スマトラ島西のスンダ海峡を通航するルート (Sunda Route) とジャワ島西のバリ海峡を通航するルート (Bali Route) を設定する。その際に、表 - 1 のように、船社の航路決定モデルで分析を行う際のインプット値となる港湾間距離の値が変更されることになる⁶⁾。例えば表より、タンジュンペラパス港 - 欧州港湾間の航海距離は、マラッカ海峡利用時には8,288NMであるが、迂回してスンダ海峡を利用する場合には9,124NMに増加することを示している。各ルートを採用した場合での航路の推定、損益計算を行い、出力結果である各港湾への寄港回数、貨物の輸送時間を用いて、次章で費用分担方法の分析を行う。

なお、ここに示した以外に入力データが多数必要であるが、紙面の制約上割愛することとする。

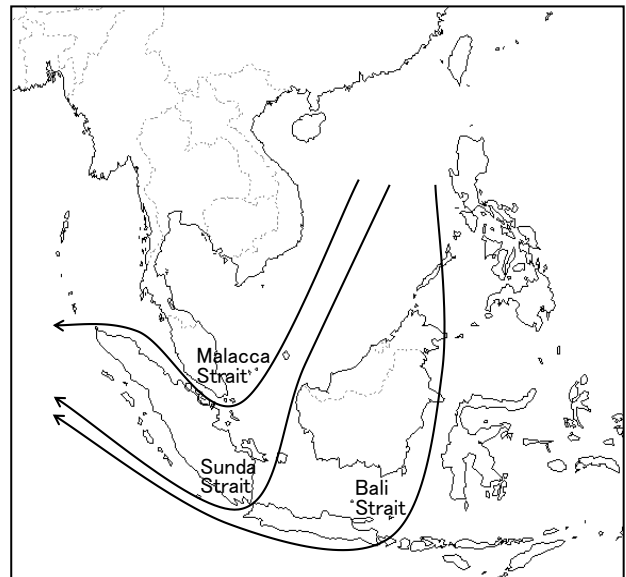


図 - 1 海峡通航不能時の代替航路

表 - 1 港湾間距離の比較

	欧州		地中海	
	Malacca	Sunda	Malacca	Sunda
TJペラパス	8,288	9,124	6,433	7,269
シンガポール	8,314	9,150	6,459	7,295
ランチャパン	9,115	9,951	7,251	8,087
香港	9,755	10,591	7,900	8,736
深セン	9,825	10,661	7,970	8,806
寧波	10,384	11,220	8,527	9,363
上海	10,472	11,308	8,615	9,451
青島	10,788	11,624	8,933	9,769
高雄	9,939	10,775	8,084	8,920
釜山	10,812	11,648	8,957	9,793
阪神	11,034	11,870	9,160	9,996
中京	11,117	11,953	9,262	10,098
京浜	11,185	12,021	9,392	10,228

[NM/Nautical Mile]

3. 提携形ゲームを用いた費用分担方法の分析

(1) 主体の整理

本章では、国際海峡における防災コストの公正で社会的最適な費用分担方法の分析を行う。前章での分析の出力結果を用いて、マラッカ海峡を例として数値計算を行う。その準備として、まずは費用分担に参加し得る主体の整理を行う。

海峡の防災投資に出資を行う意思のある主体としては、海峡が利用できない場合に損害を被る主体が考えられる。つまり、防災プロジェクトによって期待される自身の被害軽減額が、その主体の支払意思額となる、という考え方である。

前稿³⁾より、海峡通航不能時の航路変更の結果として、

船社の運航コストの上昇と貨物の輸送時間の増加という大きく二つの損害が発生するということが得られている。輸送時間の増加は荷主の不便益であるが、前述したように本稿では短期間の通航不能を仮定しているため、既に予定されていた荷物の遅延による損害は船社が荷主に対して補償するものと考えられる。つまり、輸送時間の増加も船社が被る損害であると仮定する。

また、海峡の通航不能によって地理的な優位性を失い、抜港されてしまう港湾が生じると考えられる。例えば前稿より、津軽海峡の通航不能時の分析では、釜山港における本船の寄港回数が減少するという結果が示された。港湾の競争力としては取扱貨物量が一つの指標となるため、港湾も船社の航路変更によって損害を被る主体であると考えられる。

以上より、本稿では船社と港湾の2主体を防災コストの分担に参加し得る主体であるとして分析を行う。

(2) 費用分担ルール

本稿では、複数の主体が意思決定を行い、かつ他の主体の選択結果が自らの意思決定に影響を及ぼす状況にある。このため、戦略分析の主流であるゲーム理論を用いた分析を行う。特に、国際海峡における安全性確保のためには、互いが競合している状態を想定するよりも「主体間での協力の可能性」を想定する方が实际的であると考えられる。こういった理由から、本稿では、「公平な」費用分担ルール設定のため、主体の提携行動を考慮する提携形ゲームの枠組みを用いることとする。ここで提携とは、主体の一部もしくは全部により形成されたグループで、誰がどのような行動をとるかの取決めをして行動するものである。

本稿では複数の費用分担ルール（協力ゲームにおける解の概念）とその出力を比較することにより、公平性と効率性双方における費用分担ルールのパフォーマンスについての検討を行う。ここでは2つの解概念についてふれておく。

a) シャープレイ値による解

シャープレイ値は、全員提携が形成されたときに得られる利得を、主体間でいかに分け合えばよいかを与える解である。提携に対する各主体の貢献度に基づいて定義される。ここで主体 i の貢献度とは、式(1)のように表される⁷⁾。

$$v(S \cup \{i\}) - v(S) \quad (1)$$

S : 提携に属する主体の集合

$v(S)$: 特性関数（提携 S のメンバーが協力したときに獲得できる利得の値）

提携 S は彼らだけの努力によって利得 $v(S)$ を獲得できるが、そこに主体 i が加わると獲得できる利得は $v(S \cup \{i\})$ となる。この二つの値の差を主体 i の貢献度という。この貢献度の算出の際に、前章での航路分析の出力結果を参照する。

海峡における防災プロジェクトの提携に一主体ずつ加わっていく提携形成を考える。主体数が n のとき、 $n!$ 個の提携形成がすべて同じ確率で起こるとする。このときの各主体の貢献度の期待値をシャープレイ値という。主体 i のシャープレイ値 $\phi_i(v)$ は式(2)のように表される。

$$\phi_i(v) = \frac{1}{n!} \sum_{\pi \in \Pi} (v(P^{\pi,i} \cup \{i\}) - v(P^{\pi,i})) \quad (2)$$

π : n 人の主体を並べた順列

Π : $n!$ 個の順列 π の全体

$P^{\pi,i}$: 順列 π における主体 i の先行者の集合

このシャープレイ値が、全員提携が形成されたときに得られる利得であり、つまり防災投資に対して期待される被害軽減額である。よって、この値がそのまま各主体の費用分担額の配分であると考えることができる。

b) 公共財供給問題の応用による解

国際海峡は、公共財としての特性を持っているとも考えることができる。ここでは国際海峡を（純粋）公共財の性質を備えたものであると仮定して分析を行う。

平井⁸⁾は、公共財の供給問題を、提携ゲーム理論を用いて分析した。本項ではその方法を応用し、国際海峡における防災費用分担の問題に適用する。

一公共財一私的財の経済、譲渡不可能効用（NTU/Non-Transferable Utility）を仮定する。各主体 i は私的財の初期保有量 ω_i を持ち、それを私的財として消費（ x_i ）もしくは公共財（海峡の防災設備）生産への投資という選択を行う。また、公共財を生産するための私的財の投入量を表す費用関数 $c(y)$ が存在する（ c^{-1} は生産関数に相当する）。ここで、船社にとっての私的財の消費とは、自社船舶への投資や貨物の料金の引き下げを意味するものとする。同様に港湾管理者にとっては、港湾施設への投資・拡張や港湾料金の引き下げを意味するものとする。提携 S にとって達成可能な配分 (x^S, y^S) は、式(3)、(4)のように記述される。

$$x_i^S = (1 - t)\omega_i, \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$y^S = c^{-1}\left(t \sum_{i \in S} \omega_i\right) \quad (4)$$

x_i : 各主体の私的財消費量

y : 公共財生産量（＝消費量）

ω_i : 私的財の初期保有量
 $c(y)$: 費用関数
 $N = \{1, \dots, n\}$: 主体全体の集合

上式を満たす $t \in [0,1]$ が存在するとき、達成可能な配分となる。 t を費用分担ルールと呼び、初期保有量に応じた費用分担が行われると仮定していることになる。 t と配分 (x^S, y^S) は一対一の対応であるため、主体 i の効用関数は t で記述することができる。これを間接効用関数 \bar{u}_i と呼び、式(5)のように表すことができる。

$$\bar{u}_i(t, S) = u_i \left((1-t)\omega_i, c^{-1} \left(t \sum_{i \in S} \omega_i \right) \right) \quad (5)$$

この方法では、費用分担が初期保有量に応じて t で一律に定められる。この解法を国際海峡の問題に適用するにあたっては、費用分担ルールに、航路再編成モデルのアウトプットを反映させることを行う。すなわち、貨物の輸送時間の増加による船社の不便益や、寄港回数の減少による港湾の不便益の出力値を用いて、費用分担ルールを設定することを試みる。なお、求解はコアの概念を用いて行うこととする。

4. おわりに

本稿では、国際海峡における公正な費用分担について考究するための第1段階として、リスク計量方法の提案および協力ゲームの解概念を導入した費用分担ルールの特性分析をマラッカ海峡における航行不能を対象として行った。なお、本稿における分析の枠組みはあくまでも短期的（数日～数週間程度）な事象に対する分析であり、航路形成や地域経済全体の変化をも考慮した中期的・長期的事象に対応したものではない点に注意が必要である。

なお、紙面の都合上、2.におけるモデルの構造に関する説明、ならびに具体的な出力結果は割愛している。これらに関しては、講演時にまとめて発表することとする。

参考文献

- 1) Joshua H. Ho: Enhancing Safety, Security, and Environmental Protection of the Straits of Malacca and Singapore, *Ocean Development & International Law*, 40:233-247, 2009
- 2) 安福皓介, 竹林幹雄: 航路の変更を考慮した災害時国際貨物輸送に関する一考察, *土木計画学研究・論文集*, Vol.39, 2009
- 3) 安福皓介, 竹林幹雄: 災害時における国際海上貨物輸送のネットワーク分析, *土木計画学研究・論文集*, Vol.40, 2009
- 4) 新谷浩一: 国際海上コンテナ輸送における寄港ルートネットワークに関する研究, 博士論文, 2005
- 5) Mikio Takebayashi, Katsuhiko Kuroda, Hazuki Miyamoto, Masataka Iwai: Network Equilibria Analysis of International Maritime Container Transport Market for Port Management Policy, 3rd International Conference on Maritime Transport, 679-689, 2006
- 6) 海上保安庁: 距離表, 2003
- 7) 中山幹夫, 船木由喜彦, 武藤滋夫: 協力ゲーム理論, 勁草書房, 2008
- 8) 平井俊行: 公共財供給問題の提携ゲーム理論分析, 三菱経済研究所, 2009