

航路の変更を考慮した災害時国際海上貨物輸送に関する一考察*

A Speculation of International Maritime Transportation at the Time of Disaster Considering Route Formation*

安福皓介**・竹林幹雄***

By Kosuke YASUFUKU**・Mikio TAKEBAYASHI***

1. はじめに

地震や台風などの自然災害の多頻度化、またその規模の巨大化が地域を越えた問題となりつつある。災害が貨物輸送に与える影響は深刻化しており、特に貨物集配の拠点である港湾への被害は、その物流構造をも変化させる可能性があるという点で、地域経済全体に与える影響は甚大である。加えて、伝染病やテロなど、国際間の交易に被害を及ぼし得る外的要因は増加しつつある。

このような背景もあり、災害時における物流経路の確保は、災害発生の影響を最小限に抑えるためにも不可欠である。しかし海上輸送の分野では、その重要性とは逆に具体的な方法論は述べられていない。

以上のような問題意識の下、本研究では、災害時の海上貨物輸送のパターンの変化と港湾間の相互依存関係について評価するための手法を提案する。まず災害が港湾物流に与える影響について分析し、その特徴を整理する。また、船社の航路決定のモデル化を行い、国際海上コンテナ輸送市場モデルとともに援用し、災害時を想定したシナリオ分析を行う。それによって、港湾の機能停止時における船社の緊急輸送経路の選択を推定するとともに、それがアジアの主要港湾における貨物取扱量に与える影響を分析する。

2. 災害による港湾物流への影響分析

(1) 分析の概要

本分析では、実際に災害によって被災した港湾を例に、コンテナ貨物取扱量の時系列分析を行った。対象港湾は、Gulfport港（2005：ハリケーン・カトリーナ）、神戸港（1995：兵庫県南部地震）、釜山港（2003：台風14号）、高雄港（1999：台湾地震）の4港湾とする。Gulfport港および釜山港のコンテナ貨物取扱量（輸出入総計）を

*キーワード：防災計画、空港・港湾計画

**学生員，神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻

***正員，工博，神戸大学大学院准教授，工学研究科

(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1，

E-mail: takebaya@kobe-u.ac.jp)

図-1，図-2に示す。データはContainerization International Yearbook 1972-2007¹⁾を用いた。

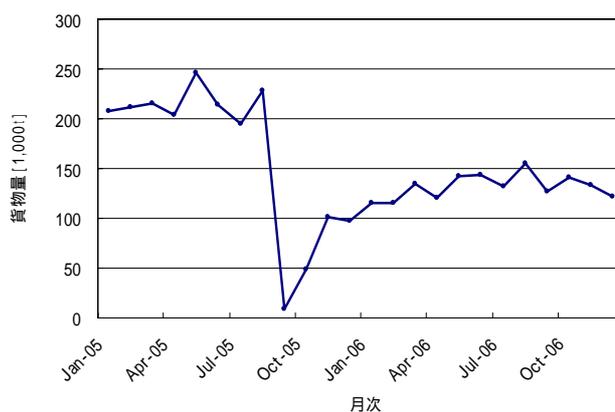


図-1 Gulfport港コンテナ貨物取扱量

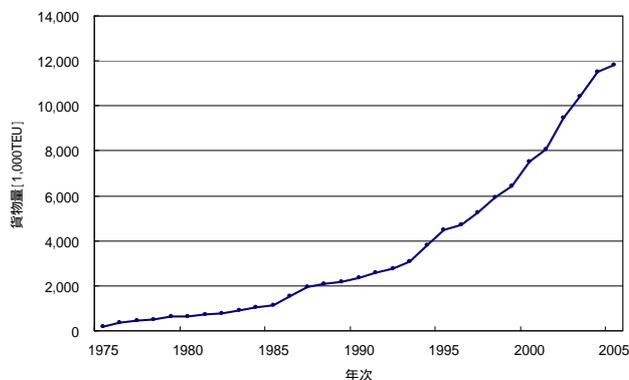


図-2 釜山港コンテナ貨物取扱量

(2) 分析結果

Gulfport港および神戸港の例では、災害によって貨物量が激減しており、またそのショックが一時的なものではなくその先にも残存し続けるものである、ということが時系列分析によって数値的に確認された。これらの港湾の例では、災害からの復旧に比較的長期間を要したために、災害によるショックが貨物量に長期にわたって影響し、それによって物流構造が変化してしまったと考えることができる。

それに対して釜山港および高雄港の例では、災害による影響が貨物量の変化として表れていない。これは、災

害後の港湾機能の復旧が数週間以内といった比較的短期間で行われ、すぐに貨物および船舶の呼び戻しが実現したことを示している。

これらの分析結果より、本研究では災害発生後の船社の戦略を2つの期間に分類する。すなわち、災害発生後から数週間以内の短期間では、船社はいかにして災害発生以前の荷主の輸送需要を引き続き満足させるかを考え、一時的に被災した航路の代替を行う。そのため、経路貨物量は災害発生以前のパターンのままとする。そして港湾の機能停止が長期間に及ぶのであれば、被災した港湾を考慮して、中長期的なスパンでの効率的な貨物輸送ネットワークを実現するように航路決定を行う。この場合、経路貨物量は船社と荷主の行動の均衡によって得られることになる。

災害時の貨物輸送を考えるにあたっては、上記の2つのどちらの場合についても分析を行うことが必要であるが、本研究においてはまず短期の場合を取り扱い、分析およびモデル化を行うこととする。

3. 災害時におけるネットワーク分析

(1) モデルの構築

本研究では、災害時における船社の航路変更による貨物流動の変化をシミュレーション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。

本モデルの航路決定問題では、まず、船社の保有する各航路において最適解の候補を作成する航路候補作成問題を解く。その次に、作成した航路の候補からその最適な組合せを決定する航路組合せ決定問題を解き、最適解を得る。以上が通常時における航路決定問題のモデルであり、本研究ではこれをモデルの現況再現性の確認に使用する。

一方、本研究の目的は災害時における貨物流動の変化を分析することである。被災港湾が機能停止することによって、その港湾を利用していただ経路の貨物は経路変更されるはずであり、それを表現する問題を定義する必要がある。貨物経路の変更例を図-3に示す。被災港湾が到着港であった貨物は他の代替港湾で本船から降るされ、そこから被災港湾の背後圏へとフィーダー輸送もしくは

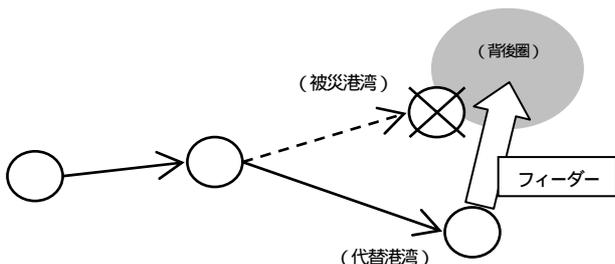


図-3 貨物経路の変更例

陸送される。したがって、そのフィーダー輸送にかかるコスト、および代替港湾における港湾料金が新しく発生するコストとなる。

よって、災害時におけるモデルでは、上記の航路決定問題に貨物経路変更問題を組み合わせることで解を得る。通常時および災害時における航路決定モデルの流れを図-4に示す。

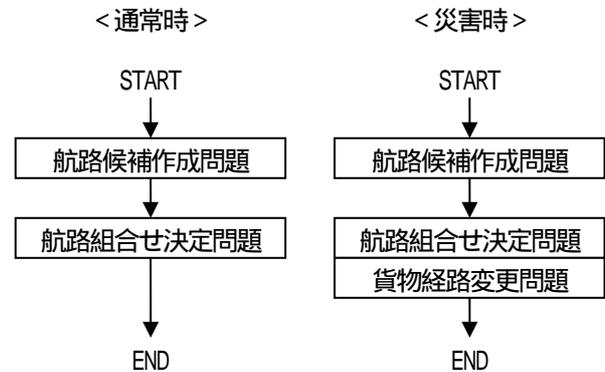


図-4 航路決定モデルの流れ

ここで、前述したとおり、本研究では災害発生後の短期間を取り扱うため、経路貨物量は一定であると仮定する。よって、船社の運賃収入についても与件であり、船社はコスト最小化を目的として航路決定を行う。ここで、経路貨物量については、横尾ら²⁾の国際海上コンテナ輸送市場モデルによる貨物配分計算結果を用いる。なお、解法については新谷ら³⁾による遺伝的アルゴリズムを用いた方法を採用し、一部改良を施したが、詳細は紙面の都合上省略する。

(2) モデルの現況再現性

本研究では、モデルの現況再現性の検討のために、The New World Allianceの2008年の航路データ⁴⁾における航路数、航路パターン（周回航路・北米航路・欧州航路）、寄港数、投入船型を用いて、本モデルで航路決定問題を実践した。本モデルによって得られた航路の推計値と、データによる実測値との比較を行った結果、寄港順序については高い再現性が得られなかった。

そこで、各港湾への寄港回数について着目し、比較を行った。その結果を図-5に示す。これより、ほぼ全ての港湾において現況特性の傾向は再現できていると言える。ただし、アジアの他の港湾よりも港湾料金が比較的高額である香港港、高雄港、そして日本の諸港湾については、寄港数が実測値よりも少なく推計された。また、アジアの中でも比較的低廉な港湾料金を実現している港湾であるタンジュンペラパス港、レムチャバン港、寧波港、上海港、釜山港については、寄港数が実測値よりも多く推計された。本モデルに港湾料金を過大に反映する

特性があるために、このような結果が推計されたと考えられる。

以上の結果より、本モデルにはまだ改善の余地があるが、現段階でこれ以上の改善が難しいため、上記の問題点があることを念頭に置き以降の分析を行うこととする。

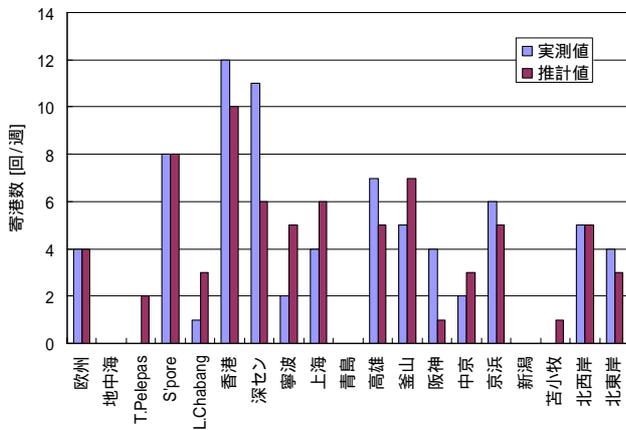


図-5 港湾への寄港数の現況再現性

(3) 数値計算例

本研究で構築したモデルを用いて、災害時を想定したシナリオでの数値計算を行う。具体的には、被災港湾を設定してその港湾を除いた状況を想定し、航路決定問題および貨物経路変更問題を実践する。それによって得られた航路、各港湾への寄港数等を用いて考察を行う。

a) シナリオ1：近隣主要港湾の機能停止

近隣に巨大なハブ港・ゲートウェイ港がある場合、一時的な機能停止であっても市場に大きな影響を与える。ここでは、東アジアのゲートウェイ港である釜山港の被災による機能停止を想定してシナリオ分析を行った。

災害想定時におけるアジア諸港湾への寄港数の変化を図-6に示す。これより、阪神港および青島港において寄港数の顕著な増加が見られた。釜山港を利用していた航路が、釜山港からのアクセスが良く、釜山へのフィーダー料金も低廉である阪神港および青島港を代替港湾として選んだものと考えられる。

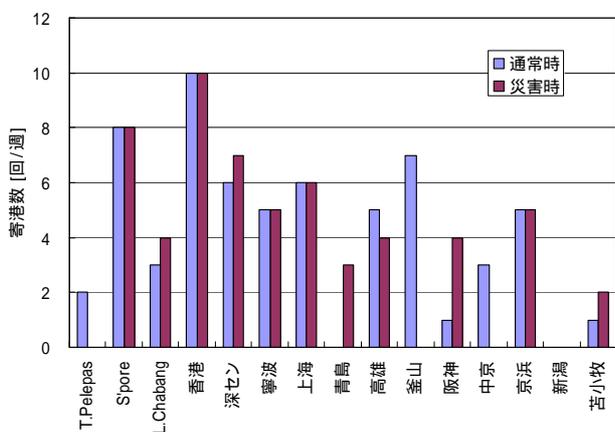


図-6 釜山港被災時における寄港数の変化

ここで、ある港湾の被災時にその貨物を代替する働きを持つ港湾をリリーバー港湾と定義する。上記の結果より、船社による航路変更の面から見ると、災害時における釜山港のリリーバー港湾としての潜在性を阪神港および青島港が有していることが示された。

釜山港の被災想定時において、本モデルで貨物経路変更問題を行った際の、アジア諸港湾の取扱貨物量の変化を図-7に示す。これより、寧波港および阪神港において貨物量が増加しており、また京浜港においても若干ではあるが増加を示している。これら3港湾は、いずれも釜山へのフィーダー料金が低廉であるために、釜山港へのトランシップ貨物がシフトしたと考えられる。なお、寧波港および京浜港については、図-6において寄港数の増加は見られなかったが、供給スペース数に余裕があったためにトランシップ貨物の受け入れが可能であったと考えられる。

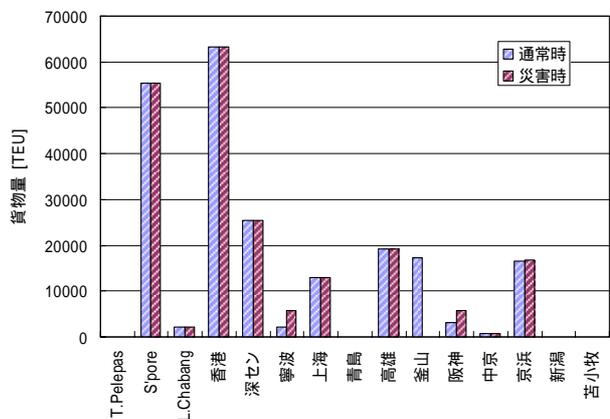


図-7 釜山港被災時における取扱貨物量の変化

b) シナリオ2：災害時における日本港湾の料金割引

次に、釜山港の被災時において、阪神港が港湾料金を半額に割引いた場合を想定してシナリオ分析を行った。このようなシナリオを想定した理由としては、釜山港の被災時に阪神港が料金を割引くことによって、本船の寄港およびトランシップ貨物が阪神港にシフトするのであれば、阪神港のリリーバー港湾としての利用価値をさらに増大させることができ、それが日本の港湾政策への示唆となるのではないかと考えられるためである。

釜山港の被災時において、阪神港が料金割引を行った場合および割引しない場合のアジア諸港湾への寄港数の比較を図-8に、また取扱貨物量の比較を図-9に示す。図-8より、阪神港への本船寄港数は増加するどころかむしろ減少していることが確認できる。しかし図-9より、阪神港の取扱貨物量については増加しており、図-7において釜山港の貨物を代替していた寧波港から貨物がシフトしたことが示されている。

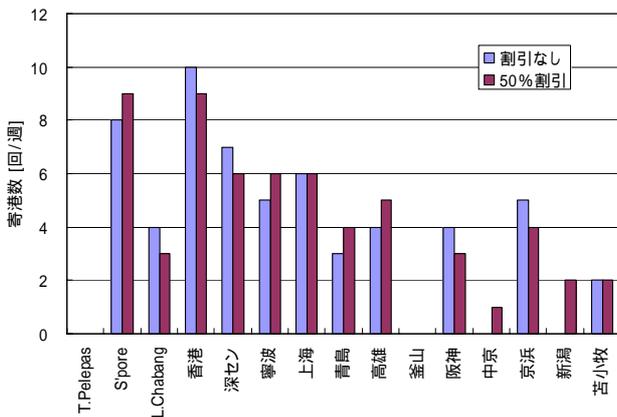


図- 8 阪神港の料金割引時における寄港数の変化

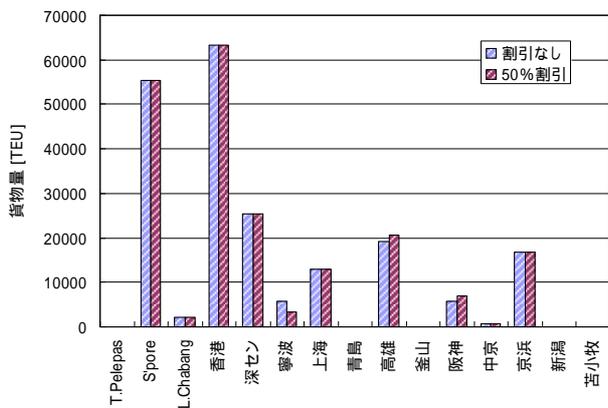


図- 9 阪神港の料金割引時における取扱貨物量の変化

ここで、推計された航路の寄港順序を表- 1 に示す。これを見ると、阪神港に寄港している3つの航路のうち2つにおいて、阪神港が北米からアジアへのファーストポートとなっていることが確認できる。つまり、元々存在していた北米 - 釜山港という経路の貨物が、釜山港が被災したことによって北米 - 阪神港という経路に変更され、阪神港から釜山へのフィーダー輸送が行われたと考えられる。それが阪神港における取扱貨物量の増加をもたらした要因である。

表- 1 阪神港の料金割引時における寄港順序

航路名	航路																			
PNW	Spore	苫小牧	寧波	青島	深セン	京浜	北西岸	北東岸	阪神											
PS1	阪神	京浜	上海	深セン	高雄	香港	北西岸	京浜												
PSX	香港	深セン	北西岸	高雄	L.Chabang	Spore														
SAX	香港	北西岸	高雄	深セン																
NYX	寧波	青島	北西岸	阪神	新潟	青島														
ESX	上海	寧波	香港	北東岸	寧波															
APX	寧波	高雄	深セン	Spore	上海	京浜	北東岸	欧州	北西岸	Spore	苫小牧	中京								
JEX	新潟	青島	上海	香港	上海	L.Chabang	欧州	Spore	香港											
AEX	香港	寧波	Spore	欧州	Spore	香港	高雄													
CEX	L.Chabang	上海	香港	Spore	欧州	Spore	深セン													

例えば、災害発生以前に香港港 - 釜山港というリンクを含む経路の貨物が存在したとする。この貨物は釜山港が被災することによって、他の代替港湾を利用する経路に変更されるのではなく、香港港で本船から降ろされそこから釜山までフィーダー輸送される、という変更が行

われるのが妥当であると考えられる。つまり、アジア域内のリンクが被災することによって他の代替港湾の利用にシフトする、ということは考えられ難い。これより、北米/欧州からアジアへのファーストポートとなる航路、もしくはアジアから北米/欧州へのラストポートとなる航路を多く持つ港湾ほど、被災港湾に代わってトランシップ貨物を代替するリリーバー港湾としての利用価値が大きいと考えられる。

4. 研究の成果と今後の課題

本研究のシナリオ分析によって、阪神港の被災想定時には、釜山港からのアクセスが良くフィーダー料金も低廉である阪神港および寧波港等が、釜山港のリリーバー港湾としての潜在性を有しているという結果が得られた。また、北米航路および欧州航路において、アジアにおけるファーストポートもしくはラストポートとなる航路を多く持つ港湾ほど、被災港湾に代わってトランシップ貨物を代替するリリーバー港湾としての利用価値が大きいということが示された。

東アジアにおける海上輸送では港湾間に緊密な関係性があり、災害発生時に港湾が機能停止した場合でも、物流のシフトがスムーズに行われ、貨物輸送市場における被害が最小限にとどまることが望ましい。このような文脈の中で、港湾間の相互依存関係の評価を行うことは重要であり、本研究における分析結果についても有意なものであると考えられる。

ただし、本モデルの精度については、寄港順序等において再現性が低く、改善が必要である。また、本研究では災害発生後の短期間を対象として取り扱ったが、災害時の貨物輸送を考えるにあたっては中長期の場合についても分析を行うことが重要である。本問題では貨物フローを既知としたが、中長期の問題を扱うにあたっては、船社の航路決定と荷主の貨物配分の均衡によって海運市場を表現するモデルを構築しなければならない。

参考文献

- 1) Containerization International Yearbook 1972-2007 : Informa UK Ltd. , 1972-2007
- 2) 横尾俊宏：貨物流動特性の違いを考慮した国際海上コンテナ輸送市場モデルの構築：修士論文，2009
- 3) 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
- 4) 国際輸送ハンドブック2008：（株）オーシャンコマース