

# 代替港湾の取扱能力を踏まえた 大規模災害後の港湾・経路選択モデルの開発

赤倉 康寛<sup>1</sup>・慈道 充<sup>2</sup>・丁子 信<sup>3</sup>・川村 浩<sup>4</sup>・渡部 富博<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 京都大学 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail:akakura.yasuhiro.6n@kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 一般財団法人 阪神高速道路技術センター (〒541-0054 大阪府大阪市中央区南本町4-5-7)

(元中央復建コンサルタンツ株式会社)

E-mail:mitsuru-jido@tech-center.or.jp

<sup>3</sup>正会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 (〒533-0033 大阪府大阪市淀川区東中島4-11-10)

E-mail:chouji\_m@cfk.co.jp

<sup>4</sup>国土交通省 東北地方整備局 港湾空港部 (〒981-0013 宮城県仙台市青葉区花京院1-1-20)

E-mail:kawamura-h82ab@pa.thr.mlit.go.jp

<sup>5</sup>正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒239-0831 横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:watanabe-t2w3@ysk.nilim.go.jp

大規模災害後には、被災港の機能が停止あるいは大幅に低下するため、その機能を代替する港湾を予め特定しておくことが非常に重要である。この際、代替先となる港湾では、貨物の集中により、取扱能力が限界に達する可能性がある。東日本大震災では、日本海側港湾において、限界に達した例が見られた。

以上の状況を踏まえ、本研究では、外貿コンテナ貨物流動を対象に、大規模災害後の代替港湾におけるターミナルの取扱能力を推計すると共に、その取扱能力を踏まえた港湾・経路選択モデルを開発したものである。モデルには、既開発の犠牲量モデルを用い、能力を超えたコンテナ量は、他港へ再配分した。その結果、モデルの東日本大震災への再現性に向上が見られ、さらに、今後想定される大規模災害への適用性も向上した。

**Key Words :** *large-scale disaster, alternative port, container terminal, handling capacity*

## 1. 序論

大規模災害後には、被災港の機能が停止あるいは大幅に低下するため、その機能を代替する港湾を予め特定しておくことが非常に重要である。この際、代替先となる港湾では、貨物の集中により、取扱能力が限界に達する可能性がある。東日本大震災では、日本海側港湾において、限界に達した例が見られた。以上の状況を踏まえ、本研究では、外貿コンテナ貨物流動を対象に、大規模災害後の代替港湾におけるターミナルの取扱能力を推計すると共に、その取扱能力を踏まえた港湾・経路選択モデルを開発するものである。

東日本大震災では、東日本の太平洋側港湾が損壊し、日本海側港湾や東京湾が、その機能を代替した<sup>1)</sup>。また、阪神・淡路大震災でも、神戸港の機能を、大阪港を始めとする主要港で代替した<sup>2)</sup>。この状況を踏まえ、国土交

通省交通政策審議会港湾分科会防災部会の答申「港湾における地震・津波対策のあり方～島国日本の生命線の維持に向けて～」(平成24年6月)では、港湾の災害対応力の強化のため、各港で港湾BCPを策定し関係者間で共有することに加え、港湾相互のバックアップ体制をあらかじめ検討し、バックアップ機能を有する港湾を港湾BCPに位置付けることが必要とされている。この検討に資するため、筆者らは、既開発の犠牲量モデル<sup>3)</sup>を用いて、東日本大震災における被災港、周辺港の状況等を設定条件として、代替港や輸送経路の試算を行った<sup>4)</sup>。その結果は、全般的には東日本大震災におけるコンテナ貨物流動の変化を把握できていたが、一部の日本海側港湾においては、取扱能力を大きく超える外貿コンテナ量(平時の10倍超)が推計された。今後想定される、首都直下地震や南海トラフ地震においては、三大湾の港湾が被災し、その周辺の港湾、例えば首都直下地震における

清水港や茨城港（常陸那珂港区）では、被災港の全機能を代替することはできない状況が想定される。また、震災後の代替港においては、コンテナ取扱の状況が平時とは異なる部分がある。以上の状況を踏まえると、港湾BCPの一環として、それぞれの港湾において、震災後における代替能力を見積もることが必要となっていると言える。

本稿では、以下、2章において日本海側港湾へのヒアリング結果を踏まえた震災後の代替港湾の能力を推計し、3章で取扱能力を考慮した経路・港湾選択モデルを構築し、4章で東日本大震災に関連するシナリオ算定を行い、5章において結論をとりまとめる。

## 2. 代替港湾の取扱能力の推計

### (1) ヒアリング結果

東日本大震災後における日本海側港湾（秋田、酒田及び新潟）でのコンテナ貨物取扱の状況について、港湾関係者にヒアリングを行った。その結果の概要は、以下のとおりである。

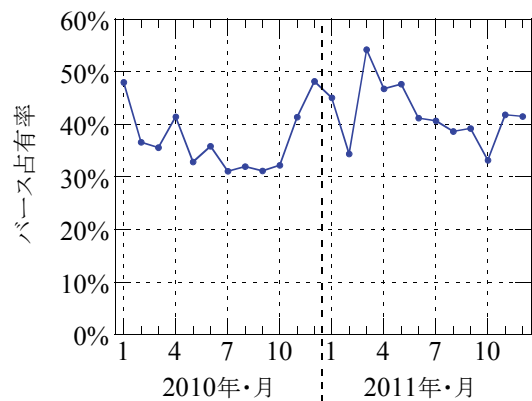
〔各港共通の状況〕

- ・平時に被災港で取り扱われていたコンテナ貨物が流れてきて、取扱量が増大した。そのため、ターミナルの取扱能力は、限界もしくは、これに近いレベルに達していた。
  - ・本船荷役やゲートオープンは、時間を延長して対応した。
  - ・蔵置能力の不足に対応し、臨時の蔵置スペースを確保した。一方、平均蔵置日数も平時に比べて増加した（理由は、ドレージ能力の不足、空コンテナの引き取り遅れ、輸入貨物の長期滞在等）。
  - ・被災港の港湾運送業より、人員や機材の応援があった。
- 〔各港で異なっていた状況〕
- ・代替利用したコンテナ貨物が、一部定着した港湾と、平時に戻った港湾とがあった。

### (2) 阪神・淡路大震災後の状況

阪神・淡路大震災後の代替港湾（大阪、名古屋、東京、横浜、北九州、博多等）におけるコンテナ貨物取扱の状況について、文献2)より、各港の状況の概要をまとめると、以下のとおりである。

- ・平時に神戸港で取り扱われていたコンテナ貨物が流れてきて、取扱量が増大した。
- ・本船荷役については、緊急措置として日曜荷役を実施した。
- ・蔵置能力の不足に対応し、臨時の蔵置スペースを確保し、段積み数を増加した港湾もあった。一方、平均蔵



※NCTCの本船予定データ: <http://www.nctc.jp/>より作成

図-1 新潟港のバース占有率

置日数は増加した（理由は、ドレージ能力の不足や揚げ地変更に伴う長期滞在等）。

- ・大阪港には神戸港から港湾労働者約300人の応援があったほか、他の港湾への神戸港からの応援もあった。
- 以上の状況は、東日本大震災後の日本海側港湾と非常に似ていることから、これらの情報を基に、大規模災害後の代替港湾におけるコンテナ取扱能力を推計する。

### (3) 平時の取扱能力

まず、平時のコンテナターミナルのコンテナ取扱能力は、①バース着岸能力、②岸壁クレーンの能力、③ヤードの蔵置能力、④ゲートの処理能力等コンテナターミナルを構成する要素能力のうち、最低のもので決まる。このうち、①バース着岸能力については、一般に着岸希望日時に偏りがあり、例えば、震災前後の新潟港でも平均占有率は4～5割程度であった（図-1）ことから、日時を選ばなければ着岸は可能である。②岸壁クレーンや④ゲートの能力については、東日本大震災後や阪神・淡路大震災後において時間延長において対応されており、緊急措置として更なる延長により、理論上は、能力を増加させることができる。ある日本海側港湾での東日本大震災後の本船荷役時間は、21時頃までであったとのことである。

以上より、一般的に、コンテナターミナルの取扱能力は、蔵置能力により定まる場合が多いと言える。蔵置能力と、ターミナルの取扱能力 $C$  (TEU/年) は、式(1)により算定される<sup>3)</sup>。

$$C = N \cdot \frac{g \cdot e}{f} \quad (1)$$

ここに、 $N$  : コンテナ蔵置個数 (TEU)

$g$  : 有効係数

$e$  : 年間回転数 = 年作業日数 / 平均蔵置日数

$f$  : ピーク係数

表-1 代替港湾での臨時蔵置スペースの確保状況

震災	代替港湾	蔵置面積 増加率
東日本	秋田	1.22
	酒田	1.53
	新潟	1.89
阪神・淡路	東京※	1.03
	横浜※	1.08
	名古屋	1.42
	大阪	1.39
	北九州	1.28
	博多	1.26

※東京・横浜はさらに能力増加の予定であったが、必要がなかった<sup>2)</sup>。

表-2 代替港湾の震災前後での取扱量変化

震災	代替港湾	取扱量(トン数) 増加率
東日本	秋田	1.25
	酒田	1.84
	新潟※	1.32
阪神・淡路	東京	1.06
	横浜	1.30
	名古屋	1.42
	大阪	2.01
	北九州	1.37
	博多	1.63

※新潟は蔵置能力が限界

#### (4) 震災後の蔵置能力に基づく能力推計

震災後の代替港湾では、例外なく臨時の蔵置スペースが確保された。その面積について、平時に対する増加率で整理したのが、表-1である。コンテナターミナルの近接地に、適切なスペースが存在するかどうか依るため、港湾により差があるが、平均的には、臨時蔵置スペースは、能力増加予定を取りやめた東京・横浜港を除くと、平時の約4割の面積となっていた。なお、一部の港湾の数値には、推計が入っている。

さらに、震災後の代替港湾での共通の状況として、平均蔵置日数が増加していた。そこで、式(1)の有効係数やピーク係数を平均的な数値（有効係数：0.75、ピーク係数：1.25）で固定し、これにより、平均蔵置日数の増加割合を確認することとした。ヒアリング結果によれば、新潟港では震災前後のいずれにおいても蔵置能力が限界に達していたと見られることから、逆算すると、平均蔵置日数は、震災前：7.8日から、震災後：10.9日に、約4割の増加となった。震災前後にて、有効係数やピーク係数に変化がある可能性があるが、この目安値を用いることにより、臨時蔵置スペースの確保面積と併せて、式(1)より、震災後の代替港湾における、蔵置能力に基づくコンテナターミナルの取扱能力が算定できる。

#### (5) 港湾運送業の取扱能力

一方、東日本大震災後においては、秋田及び酒田港では、コンテナ蔵置能力は限界に達していなかった。しかし、ドレージ能力や燃料・人員等が不足し、コンテナ取扱は限界、もしくは、これに近いレベルに達していたとのことであった。これらは、港湾運送業の取扱能力であり、震災後に急激に増加させることはできないものの、被災港からの応援によりある程度まで増加可能である。その増加量を見積もるために、港湾統計（国土交通省）より、震災前後1年間での月別コンテナ取扱量の最大値を比較したのが、表-2である。蔵置能力による限界であったことが確実な新潟港、能力限界には達していなかったと見られる東京・横浜港、さらには、神戸港から大挙

して応援のあった大阪港を除くと、平均は約5割増となっており、これが、被災港からの応援がある程度確保出来る場合における港湾運送業の取扱能力の限界の目安と捉えることも可能である。

以上を踏まえると、震災後の代替港湾のコンテナ取扱能力は、

- ①コンテナヤードの蔵置能力に基づく数値（臨時蔵置スペース及び平均蔵置日数の増加を要考慮）
  - ②港湾運送業の取扱能力に基づく数値（過去の取扱実績に対して、被災港からの応援の度合いを要考慮）
- のいずれか小さい方で定まるものと考えられる。

### 3. 取扱能力を踏まえた港湾・経路選択モデル

#### (1) 既往の犠牲量モデル

港湾・経路選択モデルには、筆者らにより既開発<sup>3)</sup>の犠牲量モデルを用いた。犠牲量モデルは、全てのコンテナ貨物が、総犠牲量 $S$ が最小となる経路で輸送されるとしたモデルである。

$$S = C + T \cdot \alpha \quad (2)$$

ここに、 $C$ ：輸送費用

$T$ ：輸送時間

$\alpha$ ：時間価値

このモデルでは、同じ発着地のコンテナ貨物であっても、時間価値 $\alpha$ により選択される経路が変化し、時間価値の高いコンテナ貨物ほど、速い経路を選択することとなる。基本となる時間価値は、対数正規分布を仮定し、全国輸出入コンテナ貨物流動調査（2008年11月、国土交通省）のデータを用いて推計している。算定される経路は、国内で最初に船積み（輸出）、もしくは、最後に船卸（輸入）される最初船積・最終船卸港と、本船に船積・船卸される仕向・仕出港（海外でのTS港湾も含む）である。例えば、輸出では、国内発地→最初船積港→仕出港→海外着地であり、直行の場合、最初船積港と仕出港は同一である。海外発着地は、欧米及びアジア域内の11の国・地域を対象としている。

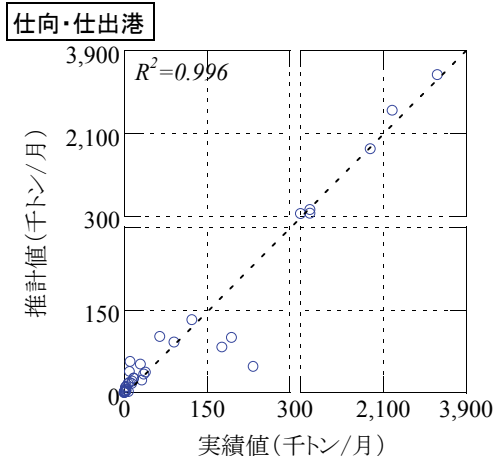
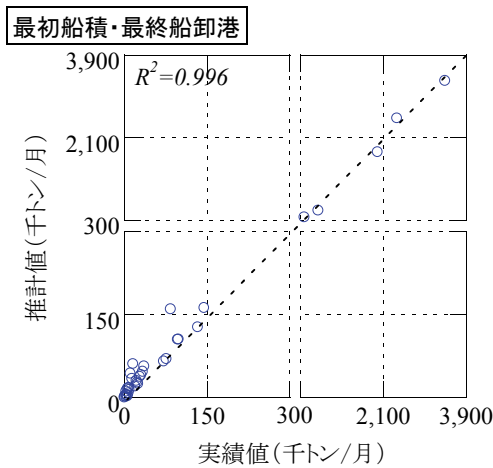


図-1 国内発着地を細分化したモデルの再現精度

## (2) 国内発着地の細分化

既開発モデル<sup>3)</sup>では、各港湾のコンテナ貨物量について、最初船積・最終船卸港及び仕向・仕出港のいずれも、実績値に対する推計値の決定係数：0.96であり、全体では十分な精度を確保していたものの、国内発着地を都道府県単位としていたため、一部の非常に小さな地方港湾では、航路があるにも関わらず、コンテナ貨物量が出ないこともあった。そこで、本研究では、精度向上を図るため、国内発着地を207生活圏（全国幹線旅客純流動調査：国土交通省による分類）に細分化し、更なる精度の向上を図った。その結果を図-1に示すが、最初船積・最終船卸港及び仕向・仕出港のいずれにおいても、実績値に対する推計値の決定係数：0.996となり、航路があるにも関わらず、コンテナ貨物量が出ないことはなくなった。ただし、算定に要する時間は、約10倍となった。

## (3) 算定フロー

既開発モデル<sup>3)</sup>では、各港湾におけるコンテナ貨物の取扱能力を考慮していなかった。これは、平時においては、コンテナ貨物量の増加に対しては、港湾施設の拡張整備により対応可能であり、コンテナ取扱能力が、コンテナ貨物需要に対して、突然、著しく不足する状況は、現在の日本においては想定されないためである。しかし、

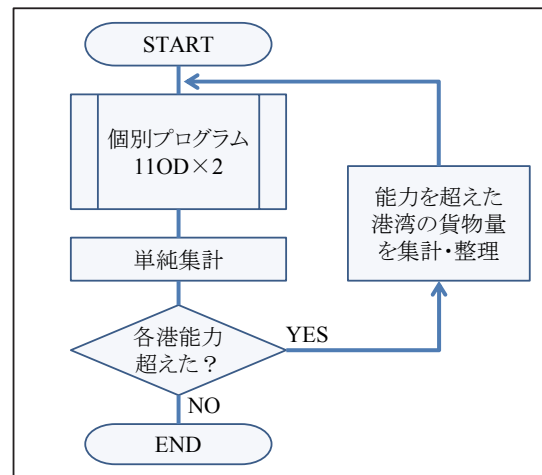


図-2 算定フロー

大規模災害後においては、東日本大震災におけるヒアリング結果から判るように、代替港湾にコンテナ貨物が流れてきて、取扱能力の限界まで取り扱う可能性がある。

算定フローを、図-2に示す。まず、個別OD（11国・地域×2（輸出入））のプログラム算定を行い、その結果を集計する。この集計結果と、各港湾の取扱能力とを比較し、能力を超えた場合（オーバーフロー）には、当該港湾を利用したコンテナ貨物量を減ずると共に、オーバーフローしたコンテナ貨物量をもって、個別プログラムの再算定を行った。この過程を、全港湾の取扱能力内に収まるまで実行した。なお、オーバーフローによるコンテナ貨物量の減少方法は、OD・国内発着地に依らず、一律であるとした。実際には、平時から当該港湾を利用していた荷主が優先され、代替港湾として急遽利用を試みた荷主が他港に流れるとの状況が発生したものと考えられるが、モデルにおいて従来から利用していた荷主であるかどうかの判定が困難であったため、簡易的に一律であるとした。

## (4) 東日本大震災後の再現精度の確認

筆者らは、既開発モデル<sup>3)</sup>を用いて、既に、東日本大震災後1ヶ月における推計を行っており、ある程度の再現性があることを確認している<sup>4)</sup>。その際、東日本大震災後の状況として、①被災港の機能停止、②代替港の便数変化（日本海側港湾での増便及び東京湾での抜港）及び③時間価値の変化を設定した。

本稿では、同じく東日本大震災後1ヶ月について、取扱能力を考慮した場合と、考慮しない場合の両者の算定を行い、その結果を比較した。代替港湾の取扱能力については、被災地域の周辺に位置する苫小牧・秋田・酒田・新潟の各港（以下、「周辺港」という。）について、実際の状況や蔵置能力を基に設定した。なお、モデル上、苫小牧港は北海道、新潟港は新潟県を代表する港湾となっており、苫小牧港には小樽港や石狩湾新港等、新潟港

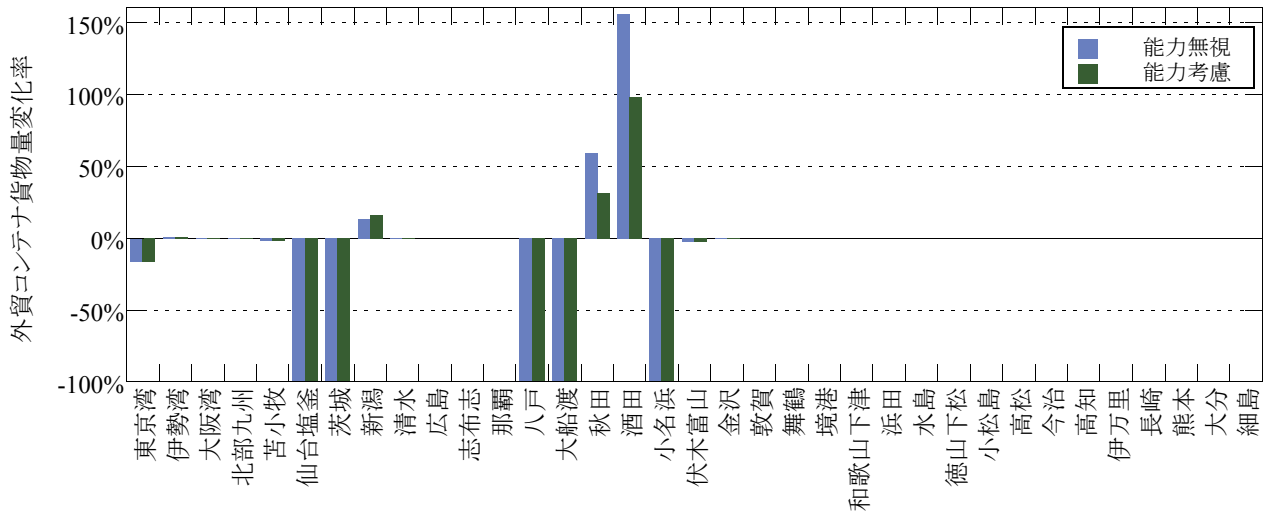


図-3 取扱能力の考慮の有無によるコンテナ貨物量推計結果の変化率

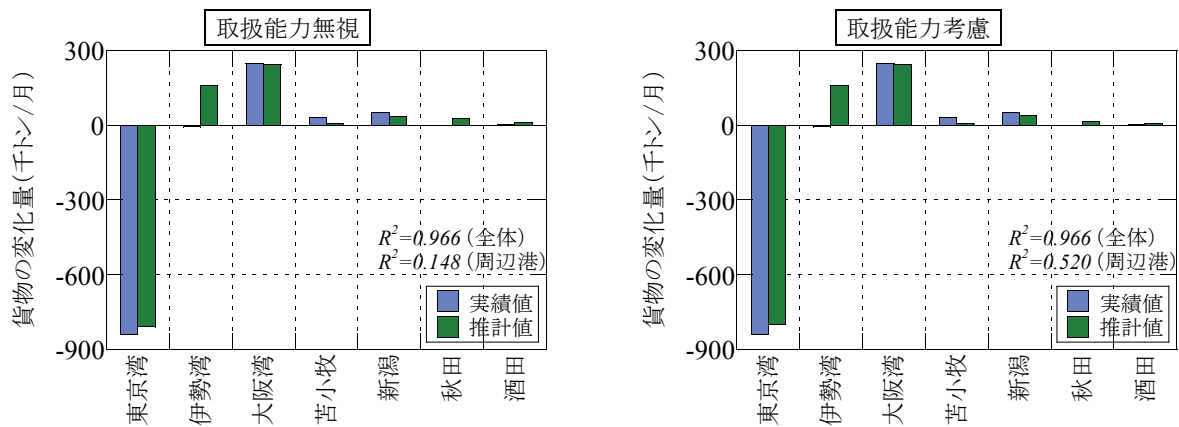


図-4 取扱能力の考慮の有無によるコンテナ貨物の変化量の実績値との比較

には直江津港の能力を含んでいる。秋田県及び山形県では、外貿コンテナ取扱のある港湾は一港ずつである。

日本全国の港湾の算定結果について、平時からの取扱量の変化率を整理したのが、図-3である。被災港である仙台塩釜・茨城（常陸那珂港区）・八戸・大船渡・小名浜の各港は、機能停止のため100%減となっている。港湾の取扱能力の考慮により変化率に大きな相違が見られたのは、日本海側の新潟・秋田・酒田の各港であり、秋田・酒田港が能力限界に達して減少したのに対し、新潟港はその分の増加があり、その結果として、新潟港においてもほぼ能力限界に達していた。また、三大湾や苫小牧港でも、変化率は小さいものの、増減が見られた。

次に、平時とコンテナ貨物量に変化が見られた三大湾及び周辺港の平時に対するコンテナ貨物の変化量を、港湾統計（国土交通省）による実績値と比較したのが、図-4である。実績値は、2011年3・4月の平均値であり、平時にコンテナ量は、2010年同月値に対して、2011年1・2月の対前年伸び率を掛け合わせて算定した。推計結果は、推計された変化率に平時のコンテナ貨物量を掛け合わせて変化量とした。取扱能力の考慮の有無によって、三大

湾を含む全体に対する再現精度には変化が見られなかったものの、周辺港については、再現精度の向上が見られた。ここで、実際の取扱能力を用いても、周辺港の再現精度がそれ程良くなかった（実績値と推計値の決定係数：0.520）のは、実際に周辺港で取扱能力に達したのが5～6月であり、3～4月の段階では、そこまで達していなかったことが原因である。例えば、秋田港では、2011年3・4月実績値の平時に対するコンテナ量の増加は、港湾統計上では、ほとんどなかった。

さらに、平時に仙台塩釜港を最初船積・最終船卸港として利用していたコンテナ貨物の代替港湾について、取扱能力を考慮した場合と、考慮しない場合を比較したのが、図-5である。全体では、東京湾が約6割、日本海側港湾が約4割で大きな差はないものの、取扱能力を考慮した場合には、能力限界に達した秋田・酒田港の割合が減少し、その分新潟港及び東京湾の増加が見られた。

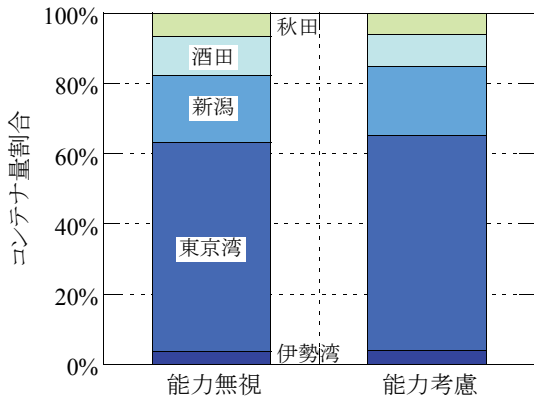


図5 取扱能力考慮の有無による仙台塩釜港の代替港湾の比較

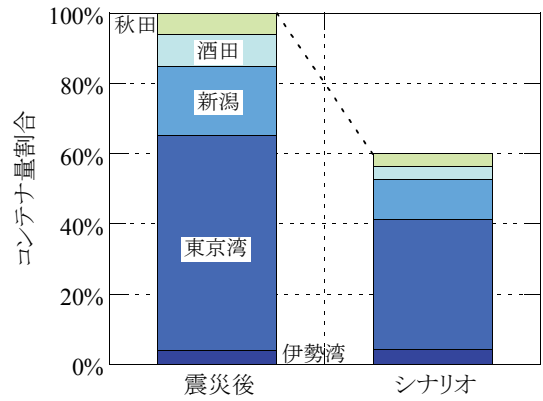


図7 シナリオ算定による仙台塩釜港の代替港

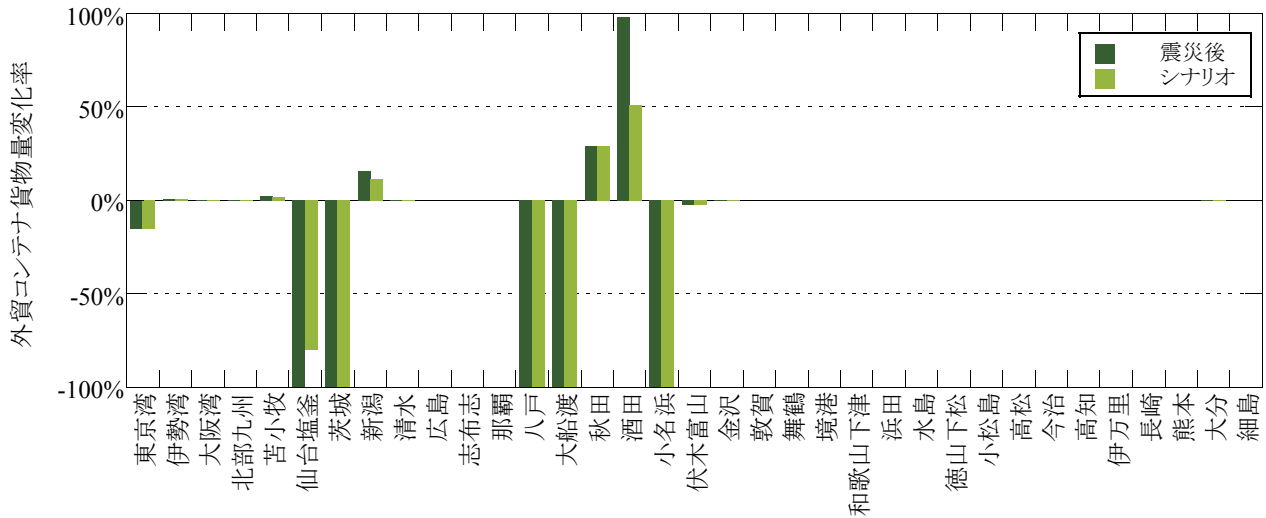


図6 最初船積・最終船卸港についての東日本大震災後の再現値とシナリオ算定値の平時からの変化率

#### 4. シナリオ算定

##### (1) シナリオ設定

前章にて構築した取扱能力を踏まえた港湾・経路選択モデルを用いて、シナリオ算定を行った。具体的には、東日本大震災において、仙台塩釜港の高砂コンテナターミナルが応急復旧により、一部使用可能であった場合とのシナリオである。その設定としては、実際には高砂コンテナターミナルは、地震・津波により港湾施設が大きく被災し、蔵置されていたコンテナが散乱したことを踏まえ、①寄港航路は、比較的浅い水深での寄港可能な国際フィーダーのみ、②蔵置スペースはリーファーは使用不可、ドライは平時の1/4とし、ストラドルキャリアの被災を考慮して段積み数を平均3段（実入：2段，空：4段）に減少（平時は実入：3段，空：5段）と設定した。この場合、蔵置能力に基づくコンテナターミナルの取扱能力は、平時の約2割にまで低下した。

##### (2) 算定結果

最初船積・最終船卸港の推計結果について、平時に対して、東日本大震災の再現値（取扱能力を考慮した場

合）と、シナリオ算定値の変化率を整理したのが、図-6である。仙台塩釜港では、能力の設定により、国際フィーダーコンテナ貨物のみ、平時の約2割を取り扱った。その結果、周辺港において、その分のコンテナ量の減少が見られた。特に、仙台塩釜港から一番近い酒田港では、平時からの増加率が概ね半減し、取扱能力の限界にまで達しない結果となった。

さらに、仙台塩釜港の代替港（最初船積・最終船卸港）について、東日本大震災の再現値（取扱能力を考慮した場合）との比較を示したのが、図-7である。東日本大震災の再現値を基準とした場合、シナリオ算定による代替コンテナ量は、全体で約4割減であり、国際フィーダー航路がある東京湾の減少は当然として、日本海側の新潟・酒田・秋田の各港においても、コンテナ量は大きく減少していた。

以上の結果より、大規模災害後に、限られた能力ではあっても、応急復旧により被災港を使用可能とすることは、代替利用される港湾への負担を軽減し、平時に被災港を利用していた荷主のコンテナ輸送全体に対する時間・コスト軽減に大きな効果があるものと考えられる。

## 5. 結論

本研究は、外貿コンテナ貨物流動を対象に、大規模災害後の代替港湾におけるターミナルの取扱能力を推計すると共に、その取扱能力を踏まえた港湾・経路選択モデルを開発したものである。本研究の結論は以下のとおりである。

- (1) 大規模災害後の代替港湾の取扱能力は、①ヤード蔵置能力（臨時蔵置スペース及び平均蔵置日数増を考慮）、もしくは、②港湾運送業取扱能力（被災港からの応援を考慮）の、いずれか小さい方で定まる。
- (2) 代替港湾・輸送経路推計モデルにおいて、各港の取扱能力を踏まえたモデルを開発した。その結果、東日本大震災に対する再現性に改善が見られた他、被災港の一部機能が応急復旧により使用可能な状況の算定も可能となり、今後想定される大規模災害への適用性が向上した。

本研究の成果を、首都直下地震や南海トラフ地震に適用すれば、代替港湾に必要とされる能力の定量的な検討が可能である。四面環海の日本において、全体としての港湾の機能を継続させるため、引き続き研究を進めていきたい。

謝辞：本研究の実施にあたり、（一財）みなと総合研究財団のご助力を頂きました。また、本研究はJSPS科研費（25289165）の助成を受けました。ここに記し、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 赤倉康寛，小野憲司：荷主企業の追跡による対米国コンテナ輸出の東日本大震災後の需要・代替港湾の把握，土木計画学研究・講演集，Vol.48，CD-ROM，2013.
- 2) 社団法人日本船主協会：阪神・淡路大震災の海運及び海上物流への影響と対応，1995.
- 3) 井山繁，渡部富博，後藤修一：犠牲量モデルを用いた国際海上コンテナ貨物流動分析モデルの構築，土木学会論文集 B3，pp.I\_1181-I\_1186，2012.
- 4) 赤倉康寛，小野憲司，渡部富博，福元正武，邊見充：東日本大震災における外貿コンテナ貨物の代替港湾・輸送経路試算，土木計画学研究・講演集，Vol.47，CD-ROM，2013.
- 5) 高橋宏直：港湾計画段階におけるコンテナターミナルエリア規模推計モデルーコンテナターミナル諸元に関する計画基準(案)ー，国土技術政策総合研究所研究報告，No.10，2003.

(2014. 4. 10 受付)