

港湾BCPにおける外貨コンテナ貨物の輸送需要及び代替経路の推計

Estimation of Demand/Alternative Route of International Container Cargo after Large-Scale Earthquake/Tsunami Disaster for Port-BCP

赤倉康寛・小野憲司

Yasuhiro AKAKURA and Kenji ONO

Synopsis

After the Great East Japan Earthquake, the supply chains of many companies were disconnected. For the countermeasures, Port-BCPs (Business Continuity Plan for port management) are now being developed. The most important issue of Port-BCP is how quickly cargo handling capacity can be restored in consideration of the recovery of cargo demand. Based on this background, this study conducts (1) the quantification of the demand for foreign container cargo volume by the estimation of recovery curve of company's operation capacity, and (2) the development of estimation model for alternative port and route corresponding to supply-demand gap.

キーワード: 港湾BCP, 大規模災害, コンテナ, 代替港湾

Keywords: port-BCP, large-scale disaster, container, alternative port

1. 序論

東日本大震災では、多くの企業のサプライチェーンが寸断され、経済被害がさらに拡大した。そこで、今後の大規模災害に対して、なるべく途絶しない物流網の構築に向け、港湾BCP (Business Continuity Plan) の策定が進められている。港湾BCPにおいては、発災後の港湾貨物需要を踏まえつつ、貨物取扱能力をいかに早く回復させるかが最も重要な検討事項となる。しかし、発災後の港湾貨物需要を推計するためには、荷主の被災度や復旧速度等を定量化する必要があるが、その推計手法は確立されていない。また、被災港湾で取り扱うことが出来なかった貨物は、他の港湾・経路で輸送されるため、これも港湾BCPにおいて評価する必要があるが、そのための手法も確立されていない。以上の状況を踏まえ、本研究は、外貨コンテナ貨物を対象に、発災後の港湾貨物需要量と、需給ギャップに対応した代替港湾・輸送経路の推計を行うものである。

東日本大震災では、八戸港から鹿島港の太平洋側港湾において、防波堤の破損、係留施設の損壊、エ

ブロンや荷さばき地の液状化、瓦礫・車両・コンテナ等の航路泊地への埋没等甚大な被害が発生した。津波警報・注意報が解除された翌日より、東北・関東地方整備局等関係機関において航路啓開作業が進められ、3月中には被災した全主要港湾で一部の係留施設が利用可能となる等急ピッチでの復旧作業が進められた。しかし、仙台塩釜港の高砂コンテナターミナルでは、1号バース供用まで約3ヶ月、ガントリークレーン復旧まで約半年が経過する等復旧までに長期間を要したため、貨物輸送需要に応えきことは出来ず、日本海側港湾等を利用した代替経路での輸送を余儀なくされた。

国土交通省交通政策審議会港湾分科会防災部会でとりまとめられた「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、今後の地震・津波対策の基本的考え方として、①防災・減災目標の明確化、②港湾BCPに基づく港湾の災害対応力の強化、③港湾間の連携による災害に強い海上輸送ネットワークの構築が掲げられており、②では、限られた人的・物的資源の中で効果的かつ迅速な応急復旧により港湾物流機能

を回復するため、港湾BCPを策定して関係者間で共有することが必要であり、その取組みを全国的に進めることが重要とされている。また、③では、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に位置付ける必要があるとされている。

以上の状況を踏まえ、本稿では、2.において港湾BCPにおける貨物需給曲線の位置付けを明確にした上で、3.において東日本大震災に関する企業アンケート結果を使用して、震災後の外貿コンテナ貨物需要の定量化を行う。4.においては、既開発の港湾・輸送経路選択モデルを用いて、被災港湾の機能停止等を踏まえた代替港湾・輸送経路を推計し、5.において、結論をとりまとめる。

2. 港湾BCPにおける貨物需給関係

大規模災害後の港湾物流機能としては、その輸送形態等により、①外貿コンテナ輸送、②外貿バルク輸送、③内貿ユニットロード輸送、④内貿バルク輸送及び⑤緊急物資輸送に大別できる。①・③のコンテナ・シャーシ貨物は、多数の荷主による比較的広範囲の背後圏を有している。一方、②・④のバルク貨物は、臨海部の少数荷主の割合が大きく、個別の状況となる。例えば、鹿島港では、外貿貨物に占める石炭・鉄鉱石輸入及び鋼材輸出が過半数を占めて（2010年港湾統計年報）おり、新日鐵住金鹿島製鉄所の割合が非常に大きいものと想定され、貨物需要はその被災や復旧の状況に左右される。本研究は、多くの、そして広範囲の荷主を有するため、個別の状況では整理の難しい①外貿コンテナ貨物を対象としている。

外貿コンテナ貨物について、大規模災害後の需給関係を模式的に示したのが、Fig. 1である。コンテナ輸送需要は、荷主である製造業等の操業度が被災から回復するに従い、復旧していく。これに対して、コンテナ取扱能力は、航路啓開や係留施設の暫定供用、荷役施設の修理等によって復旧していく。発災時に最低限必要な機能を維持し、更に復旧を加速するための港湾BCPにおいては、このコンテナ輸送需要／取扱能力復旧曲線の定量化が不可欠であり、コンテナ取扱能力復旧曲線をいかに早めることができるかが港湾BCPの核心部分となる。コンテナ輸送需要が取扱能力より大きい場合には、需給ギャップが発生し、代替港湾の利用が必要となる。大規模災害後に需給ギャップを完全になくすことは困難であることから、代替港湾・輸送経路をあらかじめ港湾BCPに位置付ける必要がある。

既往の研究では、安部（2007）が港湾BCPのため

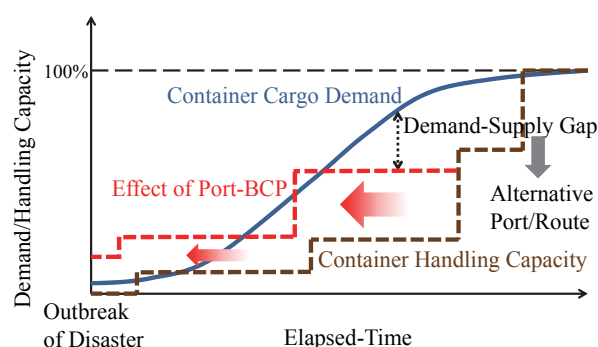


Fig. 1 Demand-Supply Relationship of Container Cargo

の製造業の輸送ニーズの復旧曲線を示しているが、実際の災害による被害状況を踏まえていない。中野ら（2013）は、地震被災後の操業能力低下を対象とした脆弱性曲線を推計しているが、港湾貨物量との関係性は研究対象となっていない。一方、港湾貨物取扱能力の復旧曲線については、名古屋港についての宮本・新井（2010）の研究が見られる。なお、本稿の内容は、筆者らがこれまで発表してきた研究内容（赤倉ら，2013a；邊見ら，2013；赤倉ら，2013b）をとりまとめて再構成し、一部修正を行い、今後の進め方等を加筆したものである。

3. 震災後の外貿コンテナ輸送需要の定量化

3.1 推計方法

震災後の外貿コンテナ輸送需要は、製造業等荷主の事業所の被災強度に依存する。また、事業所の操業度とコンテナ輸送需要との関係性にも考慮が必要である。これらの点を踏まえた推計フローを、Fig. 2に示す。

まずは、各港湾において、地震・津波の被害想定より、災害の外力強度分布を整理する。本研究では、地震動強度は気象庁震度階を、津波強度は津波被災の有無で評価した。この外力強度分布に、各外力強度における事業所操業度の復旧状況を重ね合わせることで、各港湾での操業度復旧曲線（平均操業度の推移）を算定する。この、外力強度と操業度の関係性は、3.2において、企業アンケートにより定量化する。

さらに、操業度をコンテナ輸送需要の復旧度へ換算することにより、コンテナ輸送需要の復旧曲線（平均コンテナ量の推移）を算定する。この換算式は、3.3において、荷主アンケートにより定量化する。

最終的には、各港湾において、港湾BCPに使用するための、想定地震・津波発生後における外貿コンテナ輸送需要の定量化が可能となる。3.3では、さらに、提案する手法により、東日本大震災後の被災港

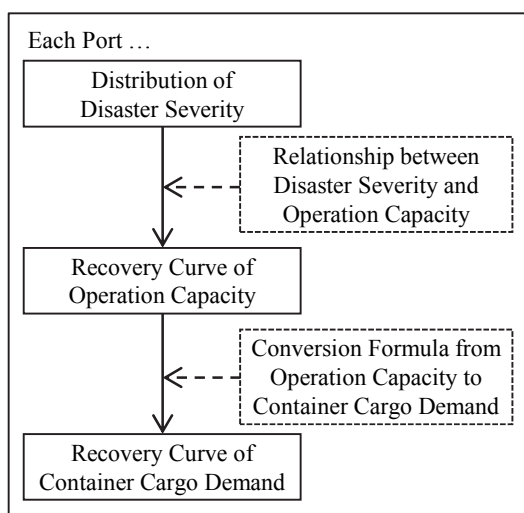


Fig. 2 Estimation Flow of Container Cargo Demand

湾での外貿コンテナ輸送需要を推計する。

3.2 操業度復旧曲線

(1) 企業アンケート

災害の外力強度と事業所の操業度との関係は、企業アンケートを用いて定量化した。使用したデータは、2011及び2012年度に、東北地方整備局と近畿地方整備局が実施したアンケート結果（東北地方整備局，2012；東北地方整備局，2013；近畿地方整備局，2012）である。

近畿地方整備局のアンケート調査は、全国の資本金10億円以上の製造業・流通業を対象としており、地震や津波被災の状況、操業度の時系列変化等を尋ねている（有効データ数：634事業所）。一方、東北地方整備局でのアンケート調査では、東北地方の被災港湾の荷主企業を対象に、被災の状況や操業度の復旧だけでなく、貨物量の推移も尋ねている（有効データ数：144事業所）。この2つのアンケート調査結果を、京都大学防災研究所において、重複を排除した上で統合して使用した。操業度復旧曲線の策定に使用したのは、震災直前を100%とした場合の、震災直後、1週間後、2週間後、1ヶ月後、3ヶ月後、6ヶ月後及び10ヶ月後の操業度の回答結果である。

(2) 外力強度の設定

地震・津波災害の外力強度は、地震動及び津波の強度により表現される。地震動強度の指標には、地震波の最大加速度、SI値等が存在するが、一般的な地震被害想定では気象庁震度階が使用されることが多いことから、気象庁震度階を採用した。津波の強度については、津波浸水深を使用すべきと考えられるが、近畿地方整備局のアンケートでは各事業所の津波浸水深を尋ねていないことから、津波被災の有無を指標とする他はなかった。

Table 1 Setting of Disaster Severity Index

Disaster Severity Index	Tsunami Damage: Non-Existence	Tsunami Damage: Existence
7	JMA S.I.=7	JMA S.I.=6±
6+	JMA S.I.=6+	JMA S.I.=5+
6-	JMA S.I.=6-	-
5+	JMA S.I.=5+	-
5-	JMA S.I.=5-	-

地震動強度と津波被災の有無を用いた外力強度の設定は、Table 1のとおりとした。津波被災があった場合については、津波被災がなかった場合の震度6強と同等かそれ以上の操業度の低下が見られたことから、震度7もしくは6強相当（すなわち、震度階を2つ上げて評価）と設定した。なお、各事業所での震度階は、当該事業所の所在市区町村で判断した。

(3) 外力強度と操業度の関係

外力強度別に、操業度の平均的な回復過程を推計した。アンケート結果において、空白の多いデータ及び原子力発電所警戒区域内の事業所データは控除し、さらに、操業度が震災直前を超えた場合でも100%とみなした上で、100%への漸近が表現できるゴンペルツ曲線を当てはめた（総事業所データ数：604）。

外力強度：7の結果が、Fig. 3である。アンケート結果は10%単位での記載が多いため、多くのデータが重なって表記されている。平均値で見ると、震災直後はほぼ0%、10ヶ月の時点でも約3/4であった。上限値を設けなかったゴンペルツ曲線の推計では、77%に漸近する結果となった。推計精度は、推計値とアンケート結果との決定係数が0.5近くあり、ある程度の精度が確保できていると言える。

外力強度：6強～5弱の結果を示したのが、Fig. 4である。外力強度：6強では、6ヶ月から10ヶ月にかけても平均値に上昇が見られたことから、外力強度：7

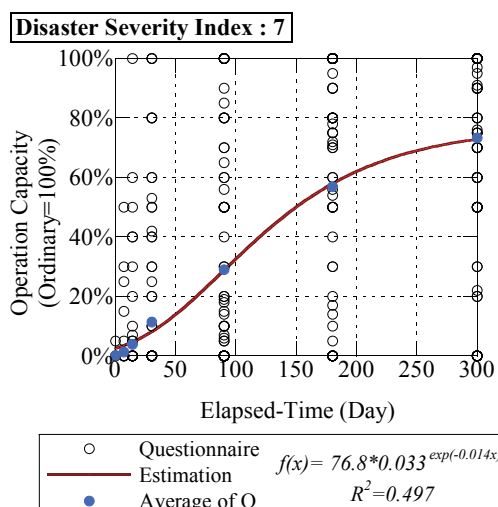


Fig. 3 Operational Capacity (DSI: 7)

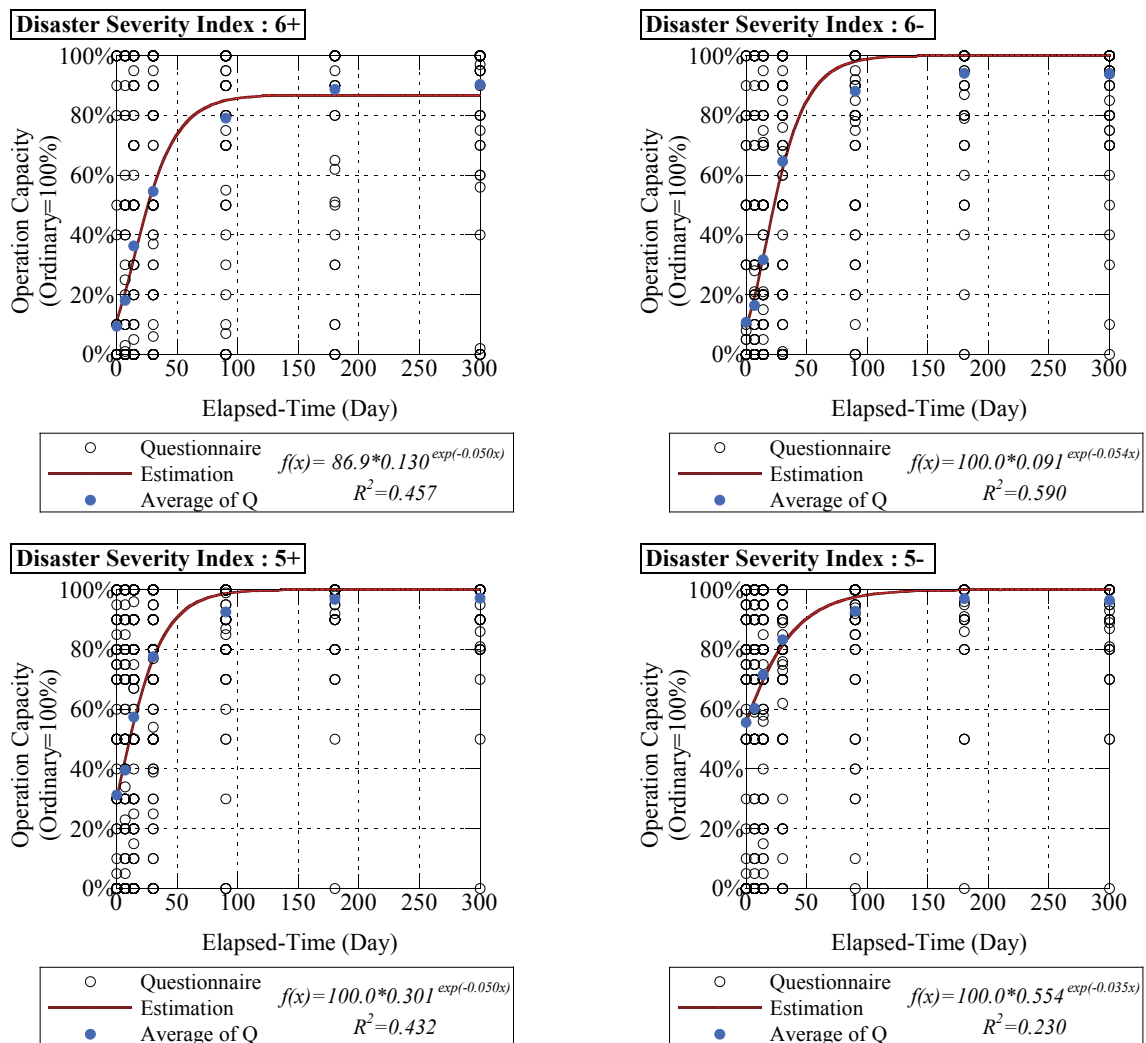


Fig. 4 Relationship between Disaster Severity and Operational Capacity (DSI: 6+ ~ 5-)

と同じく、曲線推計では漸近値を設定しなかった。これに対し、外力強度：6弱以下については、6ヶ月から10ヶ月にかけて平均値が安定していたことから、100%漸近で曲線推計を行った。推計精度は、決定係数が外力強度：5弱を除き0.5前後あることから、ある程度の精度が確保できており、また、いずれも平均値を再現できていた。

外力強度別の操業度の推計結果を、東日本大震災における各県での鉱工業生産指数（季節調整済み）で検証したのが、Fig. 5である。鉱工業指数は、2011年1・2月平均からの低下率を、震災による操業度の低下率とみなした。一方、各県の外力強度分布は、企業アンケートでの事業所数で整理し、操業度の低下率を推計した。震災被害の大きかった6県について、3～6月の各4ヶ月で比較した結果では、推計値と実績値（指数値）の決定係数が0.84であり、妥当な精度が確保できていた。

(4) 港湾別操業度復旧曲線

算定フロー（Fig. 2）にあるように、各港湾につい

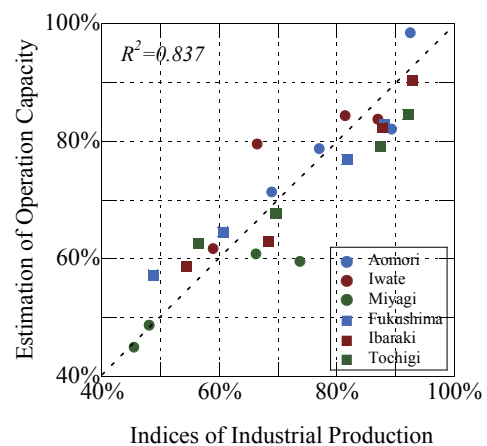


Fig. 5 Relationship between Estimation of Operational Capacity and Indices of Industrial Production

て、荷主の外力強度分布と、先に推計した外力強度と操業度の関係を用いることにより、港湾別の荷主事業所の操業度復旧曲線が算定できる。荷主の外力強度分布は、本来、地震・津波の被害想定と、荷主

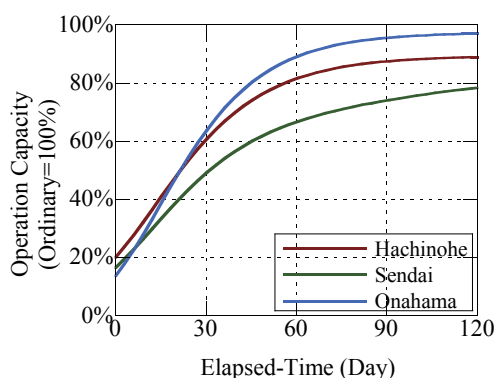


Fig. 6 Operation Capa. of Damaged Port User Company

の所在地によって整理することが望ましく、この際、全国輸出入コンテナ貨物流動調査の結果等を利用することもできる。しかし、本稿では、簡便な方法として、企業アンケートによる外力強度別の事業所数をもって、外力強度分布とみなした。Fig. 6に、八戸港、仙台塩釜港及び小名浜港のコンテナ荷主企業の操業度復旧曲線推計結果を示す。仙台塩釜港の荷主企業の操業度は、小名浜港や八戸港に比べて復旧が遅かった。小名浜港の復旧が八戸港より早くなっているのは、アンケート回答事業所の中に津波被災した事業所が入っていなかったことが理由と見られる。

3.3 コンテナ輸送需要復旧曲線

(1) 荷主アンケート

災害後の荷主の事業所操業度とコンテナ輸送需要との関係は、東北地方整備局にて実施した荷主アンケートの結果（東北地方整備局（2013））を使用して算定した。アンケートでは、東北地方の港湾荷主に対して、操業度の復旧状況と併せて貨物量の復旧状況も尋ねている。コンテナ貨物の搬出入事業所のデータ数は、搬出：20事業所・品種、搬入：15事業所・品種であった。

(2) 操業度・コンテナ輸送需要換算式

操業度とコンテナ輸送需要は、在庫の介在や入荷・出荷と生産とのタイムラグ等により、同一の復旧過程を経るとは限らない。そこで両者の関係性を、荷主アンケート結果より整理したのが、Fig. 7である。アンケートで貨物量を確認した2011年3～11月について整理した。3月の搬入量で操業度に比して貨物量が非常に多い部分が一部あったが、全体の傾向として、月による差はほとんど無く、操業度が低い範囲では貨物量が0、操業度が高くなると貨物量が震災前と同じレベルになるとの傾向が見られた。この傾向を表現するため、換算式には、単純な直線の組合せを採用した。実績値と推計直線との決定係数は、個別の事業所の事情が反映されているため、高くはなかったが、これにより、概ね全般的な傾向を表現す

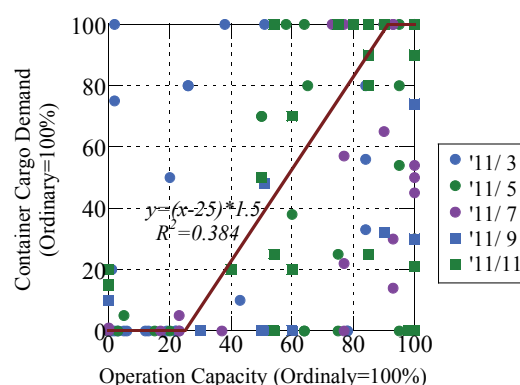


Fig. 7 Relationship between Operational Capacity and Container Cargo Demand

ることが出来た。

(3) 東日本大震災の推計結果

各港湾の荷主の操業度復旧曲線に対して、操業度・コンテナ輸送需要換算式を加味することにより、コンテナ輸送需要の復旧曲線が算出できる。東日本大震災で被災した八戸港、仙台塩釜港及び小名浜港について、外貿コンテナ貨物需要の復旧曲線を算定した結果が、Fig. 8である。図中の曲線は、それぞれの定義によるものである。

本来値 (Potential)：東日本大震災がなかった場合に、当該港湾において取り扱われたと想定されるコンテナ量。＝2010年各月取扱量×2011年1・2月の対前年伸び率

震災後需要 (Demand after Earthquake)：東日本大震災の発生を踏まえた、本研究における当該港湾のコンテナ輸送需要の推計値。

実際値 (Actual)：当該港湾において、2011年各月に実際に取り扱われたコンテナ量。

図の本来値と震災後需要との差が、当該港湾の荷主企業のコンテナ需要の復旧度である。小名浜港では5月に、八戸港では6～7月には概ね復旧しているのに対し、仙台塩釜港では年末でも差がある。ただし、この小名浜港については、前述とおり、アンケート結果に津波被災のあった事業所がなかったため、震災後需要を過大評価している可能性がある。また、図の震災後需要と実際値との差が、需給ギャップである。八戸港では9月にはギャップがなくなっている一方、仙台塩釜港や小名浜港では大きなギャップが残っていた。需給ギャップは、他の港湾や輸送経路によって輸送されているものと推察される。この代替港湾・輸送経路については、4.にて推計する。

3.4 外力強度別の復旧曲線

これまでは、Fig. 2の推計フローに従い、東日本大震災でのコンテナ輸送需要を、荷主企業の操業度の復旧と、操業度・コンテナ輸送需要換算式とに分け

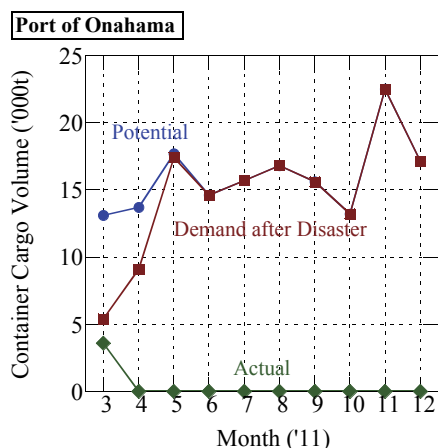
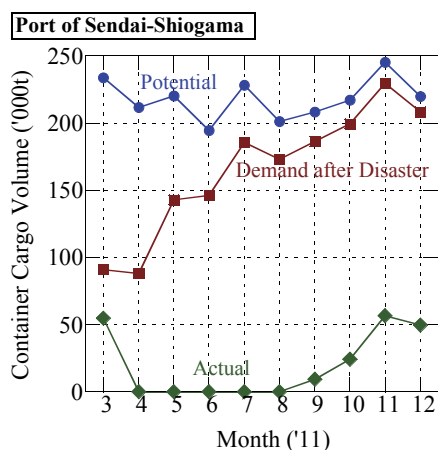
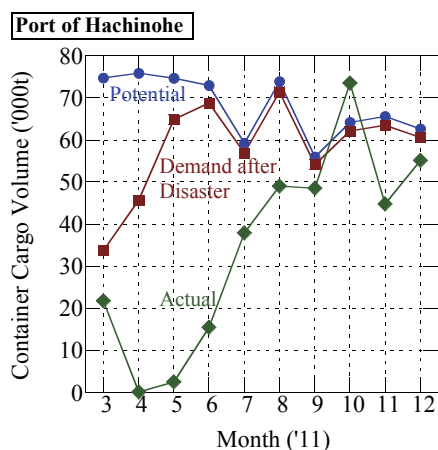


Fig. 8 Container Cargo Demand after the Great East Japan Earthquake

て、段階的に推計してきた。しかし、今後の地震津波の被害想定に対してコンテナ輸送需要を推計する場合、操業度を介在させる必然性はない。そこで、これまでの成果を基に、外力強度から直接コンテナ輸送需要を算定したのが、Fig. 9である。外力強度：7では復旧が相当遅いことや、外力強度：6弱以下では3ヶ月以降ではほぼ差がないことが確認できた。

3.5 課題と今後の進め方

まず、操業度復旧曲線の推計については、データ

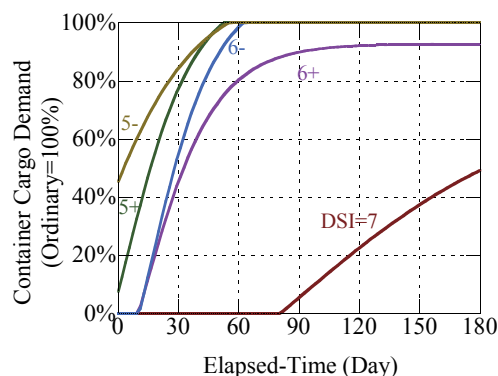


Fig. 9 Container Cargo Demand of All DSI

精度の向上を図っていく必要がある。地震動強度の指標である気象庁震度階については、近畿地方整備局のデータに対しては、事業所の所在市区町村で一括に与えたため、局地的な強弱が評価されていない。気象庁による震度階分布の推計値を用いて、データの精度を向上させる予定である。また、津波被害については、現状では、津波の強度を全く考慮していない。これも、土木学会による津波浸水高さの観測結果を用いて、データを整理し、外力強度の設定方法を変えていく必要があると考えている。

また、企業の操業度の低下には、地震・津波による直接的な被災だけでなく、間接的な要因もある。近畿地方整備局による企業アンケートでは、震度5弱の事業所の過半数では直接の被災はなく、間接的な要因のみであった。間接的な要因も、ライフラインや交通インフラの被災、生産に従事する従業員の不足等は、広く企業に関連する施設等の被災として捉えることも可能と考えられるが、調達先や販売先の被災は事業所所在地の外力強度で表現することは出来ない。東日本大震災では、サプライチェーンの寸断が経済被害を大きくした面があり、これが操業度のアンケート結果に反映されていることに留意が必要である。各企業において、BCPの策定等有効な対策が進めば、このサプライチェーンの寸断による操業度の低下は、減少に向かうものと想定される。

4. 代替港湾・輸送経路の算定

4.1 港湾・輸送経路選択モデル

港湾・輸送経路選択モデルは、井山ら（2012）による既開発の犠牲量モデルを用いた。犠牲量モデルとは、各コンテナ貨物は、以下に示される総犠牲量（一般化費用） S が最小となるルートで輸送されるとしたモデルである。

$$S = C + T \cdot \alpha \quad (1)$$

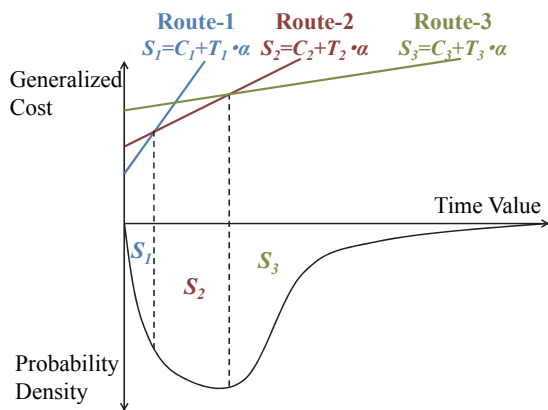


Fig. 10 Conceptual diagram of Sacrifice Model

ここに、 C ：輸送費用
 T ：輸送時間
 α ：時間価値

モデルの概念図を、Fig. 10に示す。上半分が総犠牲量（一般化費用）－時間価値の関係であり、時間価値に応じて、総犠牲量が最低となるルートが異なる（経路1～3）。下半分がコンテナ貨物の確率密度－時間価値の関係であり、コンテナ貨物の経路選択確率は、確率密度分布の面積比（ $S_1:S_2:S_3$ ）となる。同モデルは、全国輸出入コンテナ貨物流動調査（2008年11月、国土交通省）のデータを用いて構築されており、その再現精度は、Fig. 11のとおりである。モデルにおいては、輸送経路として、最終船卸・最初船積港（1st Port）と仕向・仕出港（2nd Port）が算定される（輸出であれば、国内生産地→最初船積港→仕出港→海外目的地であり、直行の場合、最初船積港と仕出港は同じになる）。なお、モデルの詳細については、井山ら（2012）を参照されたい。

4.2 東日本大震災後の流動推計

(1) モデルの条件設定

東日本大震災後1ヶ月の状況を再現するため、モデルの時点修正を行った他、以下の条件を設定した。

- ① 被災港湾の状況の再現：港湾施設の損壊や航路閉塞等による港湾機能の停止を踏まえ、東日本太平洋側の八戸～茨城港（常陸那珂港区）において、外貿・内貿共に航路停止とした。
- ② 周辺港湾の状況の再現：代替機能を果たした周辺の港湾では、平常時に被災港湾を利用していたコンテナ貨物の代替輸送需要に対応するため、外貿コンテナ航路の拡充が行われた。そこで、航路拡充が確認できた秋田・酒田・新潟の各港について、外貿航路便数を増加させた。例えば、新潟東港コンテナターミナルでは、外貿コンテナ船寄港隻数が、2011年1・2月：約40隻が、2011年3～8月は50隻を超えていた。一方、東京湾では放射能汚染の

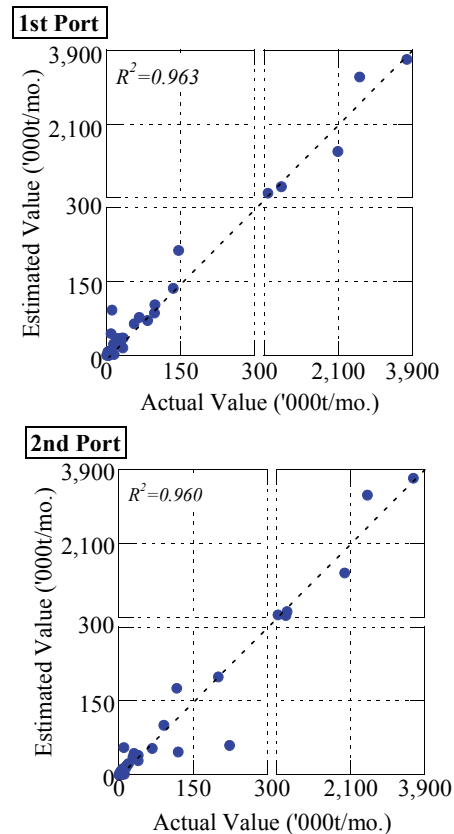


Fig. 11 Reproducibility of the Sacrifice Model

風評被害による抜港が発生したため（5月半ばまでで42隻（国土交通省港湾局，2011）），外貿航路便数を減少させた。

- ③ 貨物の時間価値の上昇：震災後においては、平常時に被災工場で生産されていた製品が不足する。そのため、被災港湾が使用できないとの限定された輸送経路において、高い輸送費・時間をかけて輸送されており、貨物の時間価値は上昇したものと推察される。

(2) 時間価値の推計

既開発モデル（井山ら，2012）は、全国輸出入コンテナ貨物流動調査のデータを用いて貨物の時間価値を推計し、その推計結果により、港湾・輸送経路の選択を算定している。既開発モデルでの時間価値推計結果は、Table 2のとおり。

震災後においては、貨物の時間価値が上昇したものと想定されるが、全国輸出入コンテナ貨物流動調査に相当するデータが存在しないため、直接推計ができない。そこで、コンテナ貨物の時間価値の変化を、貨物価値の変化から間接的に推計することとした。この点について、Fig. 12に、過去の全国輸出入コンテナ貨物流動調査の貨物価値変化率と、既開発モデルによる貨物の時間価値推計値の変化率とを比較した結果（1998年調査→2003年調査及び2003年調査→2008年調査）を示す。この対比結果より、両者

Table 2 Time Value of the Sacrifice Model

Origin/Destination		Average	St. Dev.
Europe & North America	Export	2,146	6.3
	Import	1,963	9.8
Intra-Asia	Export	1,380	13.5
	Import	1,155	12.7

Unit: ¥/(h*TEU)

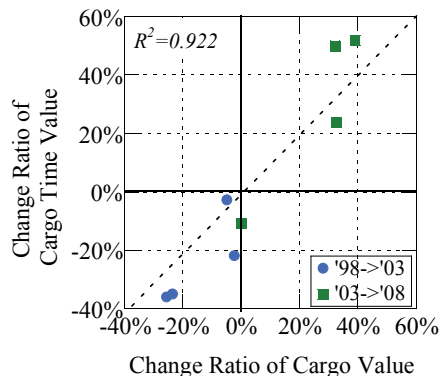


Fig. 12 Relationship between Cargo Value and Cargo Time Value

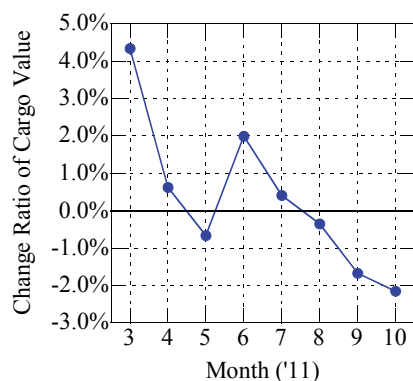
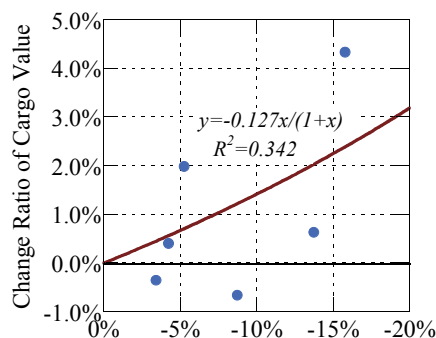


Fig. 13 Change Ratio of Cargo Value after the East Japan Great Earthquake

の変化率を1:1とみなして問題ないものと考えた。

コンテナ貨物の価値は、貿易統計（財務省）データより算定した。具体的には、単位が重量である品目について、単位重量あたりの価値（円）を整理し、さらに、取引通貨が円以外の割合は、円/ドル為替レートの影響を考慮した。その結果について、2011年1・2月の対前年伸び率を踏まえた対前年同月の変化率で整理したのが、Fig. 13である。3月には貨物価値が大きく上昇し、5月を除くと7月までプラスとなっていた。

コンテナ貨物の時間価値は、製品の不足状態に対応すると考えると、全国一律ではなく、コンテナ貨物の発生集中地別に算定する必要がある。そこで、2011年3～8月のコンテナ貨物価値の変化率と、日本全体の鉱工業生産指数（季節調整済み）の震災前に対する変化率とを対比させたのが、Fig. 14である。



Change Ratio of Indices of Industrial Production

Fig. 14 Relationship between Indices of Industrial Production and Cargo Value

曲線推計では、原点を通過し、生産0では貨物価値が無限大と設定した。決定係数は高くなかったものの、この曲線により、震災による製造業等の操業低下（鉱工業指数のマイナス変化）と貨物の価値変化とを、関係付けることが出来た。この推計曲線を用い、被災した東北地方及び3～4月に計画停電があった東京電力の電力供給区域のうち、鉱工業指数の低下がほとんどなかった山梨県を除く14都県で、鉱工業指数の変化率から、貨物の時間価値上昇を設定した。

(3) コンテナ輸送需要の減少

3. で推計をしたように、外貿コンテナ輸送需要は、被災による事業所の操業度低下によって減少する。東日本大震災後1ヶ月の状況を再現するためには、その減少度を踏まえた推計を行わなければならない。

そこで、計画停電等により生産に影響を受けた範囲（上記14都県）では、鉱工業指数（季節調整済み）の3・4月平均の、12月平均からの低下を操業度の低下量とみなした。さらに、東日本で被災の大きかった地域（青森・岩手・宮城・福島・茨城・栃木）については、この操業度の低下に、操業度・コンテナ輸送需要換算式（Fig. 7）を用いることにより、被災による輸送需要の減少を表現した。その結果、コンテナ貨物需要は、例えば、宮城県：39.0、福島県：62.3、茨城県：61.0（震災前=100）となった。

4.3 推計結果と考察

(1) 推計結果及び検証

まず、全国のコンテナ量の実績値と推計値との比較結果を、Table 3に示す。実績値は、港湾統計（国土交通省）データである。輸出では推計値と実績値が共に減少していたが、輸入では実績値が増加していたのに対し、推計値は減少と傾向が異なっていた。輸入の場合、水や食料等の復旧関連物資の輸入があり、これらは鉱工業指数による製造業の操業度低下では表現できない。そこで、米国輸出入貨物の詳細データであるPIERSデータの分析により、復旧関連貨

Table 3 Estimated Nationwide Container Volume

	Actual	Estimated	Addition of Relief Goods
Export	-8.9%	-6.5%	—
Import	3.8%	-6.4%	0.3%
Total	-1.7%	-6.4%	-2.7%

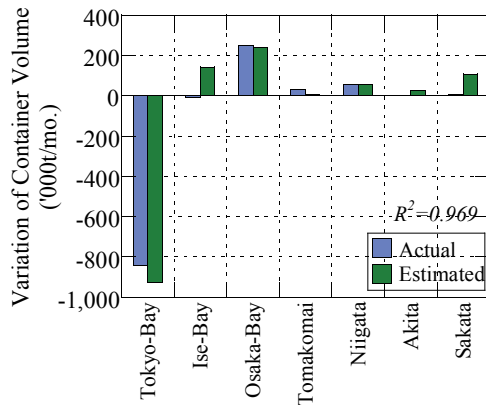


Fig. 15 Variation of Estimated Container Volume

物が発災後4週間後から平常時の10%分、8～17週間後は25%分であった（赤倉ら，2013a）として補正したのが，表中「Addition of Relief Goods（復旧関連物資考慮）」である．その結果，推計値も平常時からプラスに転じたものの，まだ，実績値よりは増加率が少し小さかった．

次に，五大港及び周辺港について，港湾別の外貿コンテナ貨物の変化量を比較したのが，Fig. 15である．実績値と推計値との決定係数は高く，全体としては良い精度を確保できていたが，伊勢湾では増減が逆になっており，酒田港では推計値が実績値に比べて非常に大きくなっていた．伊勢湾は，実績値では輸出の減少が大きかったが，推計では中部地方の事業所操業度は平常時と同じとしたため，部品不足等による生産停滞が相違をもたらしたものと考えられる．酒田港については，同港のコンテナターミナルは1バース，震災前の航路は韓国航路1便/週であったのに対し，推計値は取扱能力を超えたものと推察された．

(2) 代替港湾

平常時に被災港を利用していたコンテナ貨物が，どの港湾で代替されたのかは，バックアップ機能を有する港湾の特定につながるため，本モデルの重要な推計結果である．

まずは，実際の状況として，東北地方整備局による荷主アンケート（東北地方整備局，2012）から，被災港の代替利用状況を整理したのが，Fig. 16である．平常時の利用港湾は，事業所数で，3/4が仙台塩釜港，2割弱が小名浜港であった．これに対し，東日

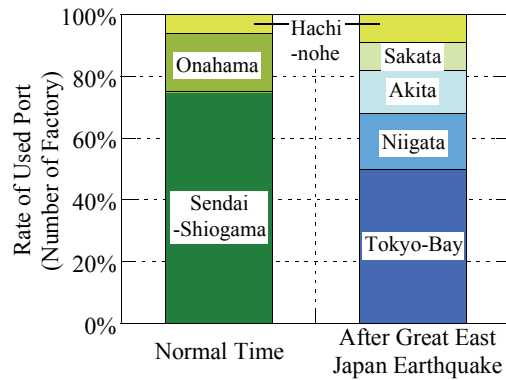


Fig. 16 Result of Questionnaire about Alternative Port

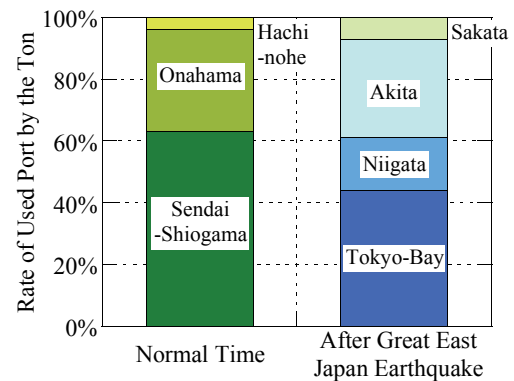


Fig. 17 Estimated Result of Alternative Port

本大震災での代替利用港湾は，半数が東京湾であり，次いで日本海側の港湾が並んでいた．八戸港は，被災港の中では比較的早期に復旧したことにより，他の被災港の代替機能を果たしたものである．

アンケート結果と比較するために，東北の被災港である八戸港・仙台塩釜港・小名浜港の代替港湾の推計結果を整理したのが，Fig. 17である．結果として，アンケート結果と非常に良く似た傾向となった．ただし，Fig. 16のアンケート結果は，事業所数の集計であり，定量的な議論が出来るほどの精度はないものと考えている．

港湾別コンテナ貨物の変化量であるFig. 15と比較した場合，Fig. 17での新潟港の割合が，秋田港に比べて小さくなっていた．この点については，新潟港には，どちらかという東京湾の貨物が流れていたことが原因である．東京湾は，被災港の代替で利用された一方で，もともと東北地域から東京湾を利用していたコンテナ貨物の一部が，東京湾の風評被害による便数減少，新潟港の便数増加により新潟港利用に転換していた．そのため，新潟港は被災港の代替としてはそれほど大きな割合を占めなかったものである．

(3) 輸送経路の変化

平常時と比較した，東日本大震災後1ヶ月の輸送経路の変化について，宮城県発着貨物の推計結果を整

理したのが、Fig. 18である。北米向け/出し（仕向・仕出国が北米）では、平常時は仙台塩釜港の直行航路利用が40%、仙台塩釜港から内航フィーダー―東京湾航路利用が12%、内陸輸送で東京湾の直行輸送が48%となった。これに対して、震災後は99%が内陸輸送―東京湾直行航路利用であった。

タイ・ミャンマー向け/出しでは、平常時では仙台塩釜港直行航路利用と、内陸輸送―東京湾航路利用とが、いずれも約4割を占めていたのに対し、震災後は東京湾航路利用に加え、酒田港から外港フィーダーで釜山港利用も13%見られた。

中国中部（上海・寧波等）向け/出しでは、内陸輸送―東京湾航路利用、仙台塩釜港から内航フィーダー―東京湾航路利用及び仙台塩釜港直行航路利用の3経路が併存していた。震災後は、酒田港に直行航路がないことから、新潟港と、震災後の増便で航路が開設された秋田港の航路利用が、合わせて1/3強を占めていた。

以上より、輸送経路は仕向/仕出地域により異なっており、特定の代替港は決まっていなかった。例えば、宮城県から最寄りの日本海側港湾は酒田港であるが、酒田港は釜山航路しかないため、中国中部向け/出しでは、直行便のある秋田港や新潟港が代替機能を果たしていた。このような点を踏まえると、最も航路網が充実している東京湾が有利になることから、通常利用していた貨物に加えて、多くの貨物が東京湾経由となったものである。この中には、貨物の時間価値の上昇が、待ち時間の少ない（航路便数の多い）東京湾への代替を促した面もある。

4.4 課題と今後の進め方

震災後の外貨コンテナ貨物の輸送状況のモデルへの反映については、代替機能を果たしたコンテナターミナルでの混雑による所要時間の増大や、道路の損壊や渋滞による港湾とのアクセス・イグレス時間の増大といった状況を再現する必要があるが、現時点ではモデル設定に反映できていない。また、貨物が集中したコンテナターミナルでの貨物取扱の能力限界も考慮できていない。これらについては、今後の課題である。

また、井山ら（2013）の既開発モデルでは、国内のコンテナ発生・集中は都道府県単位としている。Fig. 11に見られるように、全国で見た場合には、十分な精度を確保できているが、今後、各港湾BCPへの活用を考えた場合、精度の更なる向上策として、発生・集中単位を、もう少し細かく設定する（例えば、全国幹線旅客純流動調査の207生活圈）方法が考えられる。

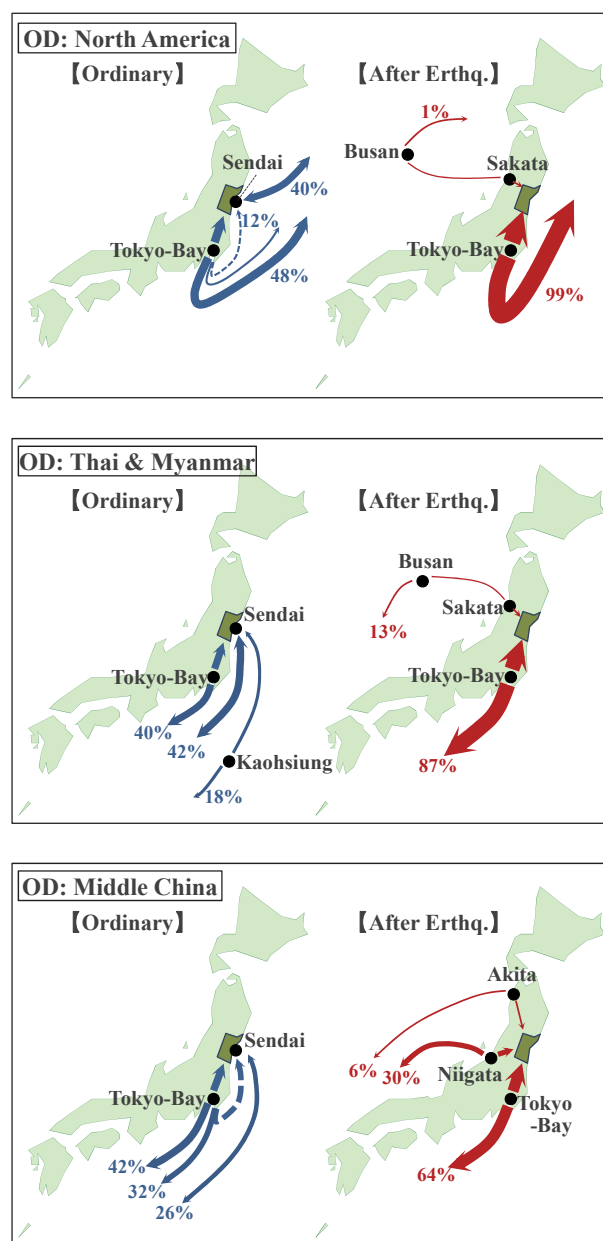


Fig. 18 Estimated Result of Shipping Route of Miyagi Prefecture Container Cargo

5. 結論

本研究は、外貨コンテナ貨物を対象に、発災後の港湾貨物需要量と、需給ギャップに対応した代替港湾・輸送経路の推計を行ったものである。本研究の結論は、以下のとおりである。

- (1) 企業アンケートにより操業度復旧曲線を、荷主アンケートにより操業度・コンテナ輸送需要換算式を定量化することにより、東日本大震災後の被災港におけるコンテナ輸送需要を推計することが出来た。その結果、八戸港では震災後半年で需給ギャップがほぼ解消していたのに対し、仙台塩釜港や小名浜港では、大きなギャップが残っていた

と推計された。

- (2) 犠牲量モデルによる港湾・輸送経路選択モデルを用い、東日本大震災後1ヶ月の状況をモデルにて推計した。その結果、三大湾及び周辺港でのコンテナ量の増減を、精度良く再現した。さらに、代替港湾の利用割合についても、推計結果は荷主アンケート結果とよく似た傾向を示した。

本研究では、大規模災害時になるべく途絶しない物流網の構築を目標とし、これまでは、東日本大震災の状況の再現を主眼に進めてきた。今後は、引き続き再現性の向上に努めると共に、さらに、南海トラフ巨大地震や首都直下地震等発生が想定される巨大地震・津波災害に対しての推計に着手していきたいと考えている。

謝 辞

本研究の実施に当たり、国土交通省の国土技術政策総合研究所港湾研究部の渡部富博港湾システム研究室長及び安部智久港湾計画研究室長、東北地方整備局港湾空港部の福元正武沿岸域管理官、邊見充港湾計画課課長補佐及び大窪香織計画課調査係長、近畿地方整備局港湾空港部の石原正豊港湾計画課長及び岡村京子港湾計画課港湾施設マネジメント係長にご助力いただきました。また、(公社)日本港湾協会、(一財)沿岸技術研究センター、(一財)港湾空港総合技術センター及び防災研究所社会防災研究部門の多々納裕一防災社会システム研究分野教授には、産官学共同研究部門の共同研究先として、研究環境を整えていただきました。また、(一財)みなと総合研究財団にも、研究においてご助力いただきました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 赤倉康寛・小野憲司・岡村京子・福元正武(2013a)：大規模災害後の外貿コンテナ貨物量の需要復旧曲線の定量化，沿岸域学会誌，Vol.26，No.1，pp.15-26。
赤倉康寛・小野憲司・渡部富博・福元正武・邊見充(2013b)：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。
安部智久(2007)：事業継続支援のための国際物流インフラマネジメント方策に関する基礎的検討，国土技術政策総合研究所資料，No.409。
井山繁・渡部富博・後藤修一(2012)：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。
近畿地方整備局(2012)：平成23年度災害に強い生

産・物流チェーン構築戦略検討調査業務報告書。

国土交通省港湾局(2011)：東日本大震災による産業・物流機能への影響，交通政策審議会第43港湾分科会資料1-4。

東北地方整備局(2012)：平成23年度東日本大震災を踏まえた東北地方の港湾物流機能維持検討業務報告書。

東北地方整備局(2013)：平成24年度震災に強い港湾物流構築検討調査業務報告書。

中野一慶・梶谷義雄・多々納裕一(2013)：地震災害による産業部門の操業能力の低下を対象とした機能的 fragility 曲線の推計，土木学会論文集 A1，Vol.69，No.1，pp.57-68。

邊見充・赤倉康寛・小野憲司・石原正豊・福元正武：東日本大震災後の海運依存産業の操業再開過程における輸送特性について，土木計画学研究・講演集，Vol.47。

宮本卓次郎・新井洋一(2010)：地震災害に対応した港湾の国際物流サービス維持のための対策の提案—名古屋港における試行的実践と課題—，沿岸域学会誌，Vol.22，No.4，pp.93-104。

(論文受理日：2013年5月30日)