

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

邊見 充¹・赤倉 康寛²・小野 憲司³・石原 正豊⁴・福元 正武⁵

¹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:henmi-m8310@pa.thr.mlit.go.jp

²正会員 京都大学 防災研究所 社会防災研究部門（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄）
E-mail:akakura.yasuhiro.6n@kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学 防災研究所 社会防災研究部門（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄）
E-mail:ono.kenji.5z@kyoto-u.ac.jp

⁴国土交通省 近畿地方整備局 港湾空港部（〒650-0024 兵庫県神戸市中央区海岸通29）
E-mail: ishihara-m2w2@pa.kkr.mlit.go.jp

⁵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:fukumoto-m2mk@pa.thr.mlit.go.jp

東日本大震災においては、東北太平洋側港湾で大きな被害が発生し、復旧に時間を要した。そのため、海上コンテナ貨物の輸出入は、日本海側港湾や京浜港において代替された。本研究では、臨海部立地企業を中心とする海運依存産業の操業再開過程に対する港湾インフラ復旧の遅れの影響や代替輸送を余儀なくされた貨物量を分析する。

Key Words : *Great East Japan Earthquake, containerized cargo, alternative route, port cargo throughput*

1. 序論

平成23年3月11日に発生した東日本大震災は、東日本太平洋沿岸各地に未曾有の被害をもたらし、太平洋側の港湾機能を完全に喪失させた。港湾背後には多くの産業が集積しており、産業活動及び雇用の観点からも、産業・物流の基盤となる港湾機能の停止は地域にとって大きな損失を与えた。

国土交通省交通政策審議会港湾分科会防災部会で取りまとめられた「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、地震・津波の規模や生じる被害の程度を想定し、港湾機能継続のための行動計画を策定し、関係者間で共有することが規定されている。これを踏まえ、東北管内では、港湾関係者等から組織される東北広域港湾防災対策協議会等における検討が進められ、災害時における港湾機能継続に向けた取組が推進されている。

以上の状況より、本研究では、コンテナ貨物を対象として、東日本大震災における臨海部立地企業を中心とす

る海運依存産業の操業再開過程に対する港湾インフラ復旧の遅れの影響や代替輸送を余儀なくされた貨物量を分析することを目的とする。これにより、本来被災港で担うべきであった輸送需要を試算することができ、今後、大規模災害があっても機能継続を図るべき港湾施設の検討やそのための行動計画策定に向けた一助となることが期待できる。

以降、本稿では、2.で東日本大震災による物流への影響を分析し、3.で東日本大震災後の貨物輸送需要の推計方法について示した上で、4.では操業度復旧曲線について推計し、5.では操業度・貨物量換算係数について示し、6.では東日本大震災後の貨物輸送需要について分析・検証し、7.で結論をとりまとめる。

2. 東日本大震災による物流への影響

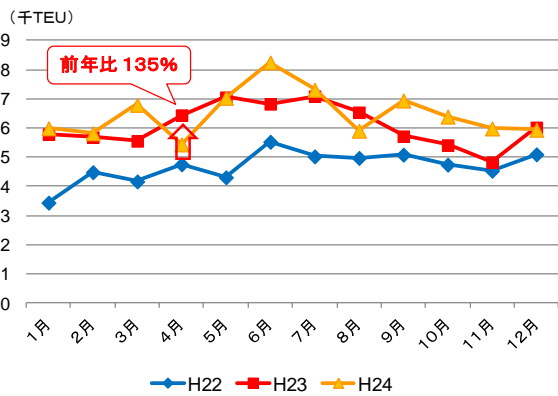
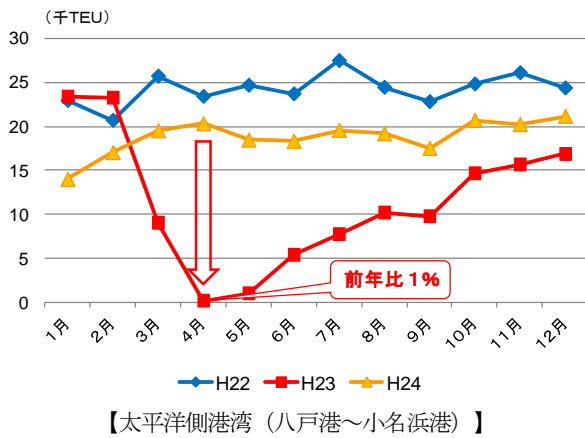
(1) コンテナ取扱貨物量の概況

港湾統計（年報）及び港湾管理者ヒアリングにより、

太平洋側港湾（八戸港～小名浜港）及び日本海側港湾（青森港～酒田港）のコンテナ取扱貨物量を整理したのが図-1である。上図では、太平洋側港湾においては東日本大震災後の平成23年4月取扱貨物量が対前年比1%まで落ち込んだ。下図では、日本海側港湾において同月取扱貨物量が対前年比35%の増加となった。これは、被災した太平洋側港湾の機能停止により貨物の取扱いが不可能になったとともに、本来被災港で扱われる貨物及び緊急物資等の復旧復興関連貨物が日本海側港湾で取り扱われたことが推察される。

(2) 企業による代替輸送の状況及び企業活動への影響

港湾統計から得られた結果を裏付けるため、東北地方整備局では荷主へのアンケート¹⁾を実施し、外貿コンテナ貨物の代替港利用状況を整理した。その結果を図-2に示す。アンケートの回答があった全事業所16社については、平時ではその7割強が仙台塩釜港、2割弱が小名浜港を利用していた。一方、東日本大震災時には、その半数が東京湾、次いで日本海側の新潟港、秋田港及び酒田港を代替利用していた。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と考えられる。



出典：H22、23 港湾統計（年報）
H24 港湾管理者ヒアリングによる速報値
【日本海側港湾（青森港～酒田港）】

図-1 コンテナ取扱貨物量推移

さらに、アンケートにより港湾機能の停止が企業活動にどのような影響を与えたかを把握した。その結果を図-3に示す。港湾機能停止が企業活動に与えた影響は、回答の多かった順に、生産量・出荷量の減少、商機逸失、操業停止、事業内容見直し、顧客喪失、雇用調整などとなった。その他には物流ルート変更や輸送コスト増加等が含まれる。これらの影響は、港湾機能が震災時においても適切に確保されていれば回避しえたと推察される。

3. 東日本大震災後の貨物輸送需要の推計方法

東日本大震災後の貨物輸送需要の算定フローが、図-4である。港湾貨物量復旧曲線の算定にあたっては、操業度推計フローと操業度・貨物量換算係数算定フローに分けた。操業度推計フローでは、まず、被災事業所を対象としたアンケートにより、事業所の外力強度別操業度復旧曲線を推計する。同曲線と港湾利用荷主の外力強度分布から、算定対象の港湾利用荷主全体の操業度復旧曲線を推計する。一方、操業度・貨物量換算係数算定フローでは、荷主の出入別荷姿別操業度復旧曲線と出入別荷姿別貨物量との比較により、操業度から貨物量を算出する

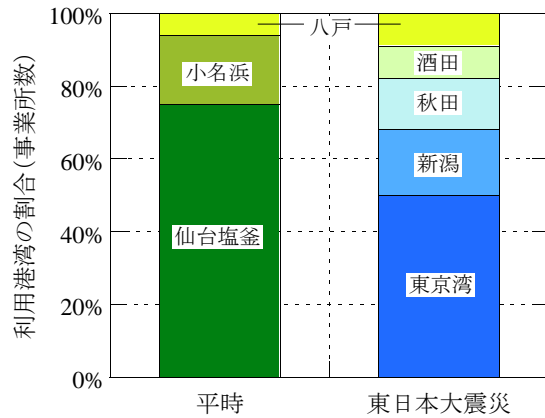


図-2 代替港のアンケート結果

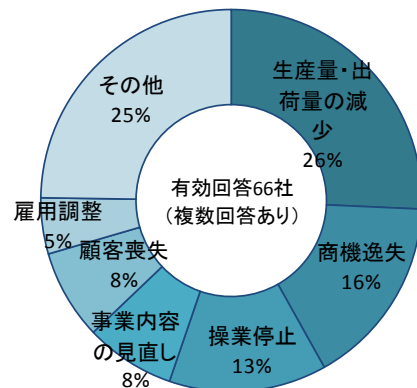


図-3 港湾機能停止が企業活動に与えた影響

換算係数を算定する。最後に、港湾利用荷主の港湾別操業度復旧曲線から算出される各月の平均操業度及び操業度・貨物量換算係数を用いて、震災後の貨物輸送需要を算定する。算定式は以下のとおり。

$$\begin{aligned} & \text{震災後の貨物輸送需要} \\ & = \text{「本来」貨物量} \times \text{港湾別荷主平均操業度} \quad (1) \\ & \quad \times \text{操業度} \cdot \text{貨物量換算係数} \end{aligned}$$

4. 操業度復旧曲線

(1) 企業アンケート

東日本大震災後の操業度の復旧曲線の算定にあたっては、震災前の操業度に対する震災後操業度の割合(%)の変化を時系列で把握することが必要である。このため、各事業所における震災後の操業度の時系列変化を震度や津波浸水の有無、主要品目別の荷姿、貨物量、震災後の貨物量の時系列変化等とともにアンケートにより把握した。ここで、平成23・24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^{1), 2), 3)}を活用することとした。その結果概要を表-1に示す。

(2) 外力強度の設定

アンケート結果の外力強度は、各々の事業所の所在市区町村データより、その地震動強度を踏まえて整理した。

外力強度は、表-2のとおり、気象庁震度階に津波被災の有無を考慮し設定した（津波被災がある場合には、震度階を2つ上げた外力強度とした）。

(3) 操業度復旧曲線

a) 外力強度別操業度復旧曲線

東日本大震災後の荷主企業の操業度の推計には、東北・近畿地方整備局アンケート結果のうち、震災直後の操業度、震災後1週間、2週間、1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月、10ヶ月における操業度の回答結果を用いた。操業度が震災直前の値(100%)を超える場合には、データ整理上同一と見なした。なお、原子力発電所警戒区域内と推定されるデータ及びアンケート結果の空白が多いデータを控除した。その結果、使用するデータ（事業所）数は604となった。

操業度復旧曲線は、非対称性を再現できるゴンペルツ曲線により外力強度毎に推計した。結果を図-5に示す。

外力強度：7では、被害が大きく復旧に時間がかかる状況が表現されている。外力強度：6強についても、被害が大きく100%の復旧には時間がかかる状況が再現されている。外力強度：6弱以下では、震災直後の操業度は外力強度に反比例し、6弱で1割程度、5弱では6割程度となっている。また、それぞれ震災から3ヶ月後には操業度が高くなる、すなわち回復している状況が表現されている。

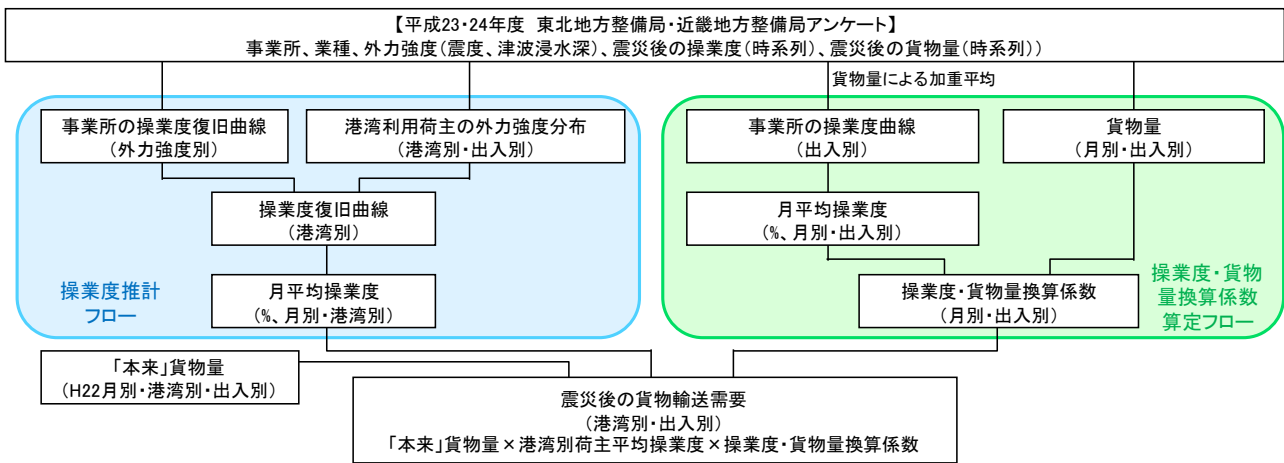


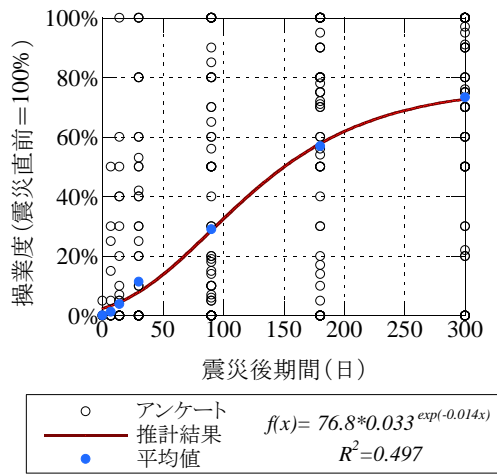
図-4 港湾貨物量復旧曲線算定フロー

表-1 地方整備局アンケートの概要

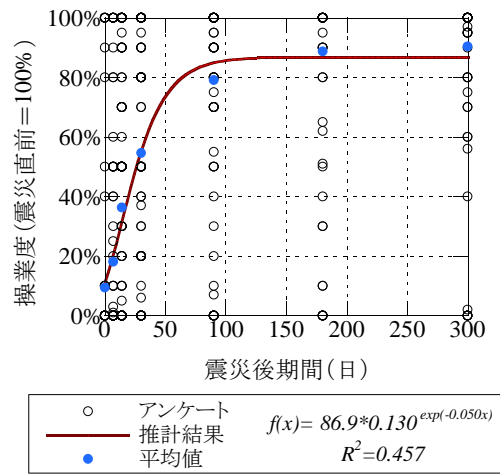
	東北地方整備局アンケート	近畿地方整備局アンケート
対象企業	東北管内の被災港湾の主な荷主企業	全国の資本金10億円以上の主な製造業と流通業の企業
質問事項	外力強度、津波浸水深、操業度・貨物量の時系列変化等	外力強度、操業度の時系列変化等
データ数	144事業所	634事業所 (うち東北は255事業所)

表-2 外力強度の設定

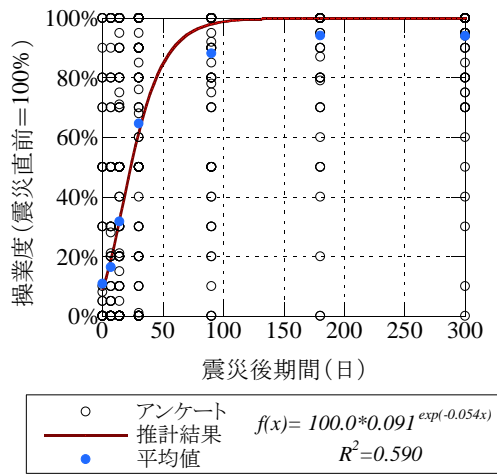
外力強度	事業所の震度	
	津波被災なし	津波被災あり
7	震度7	震度6強・6弱
6強	震度6強	震度5強
6弱	震度6弱	震度5弱
5強	震度5強	-
5弱	震度5弱	-



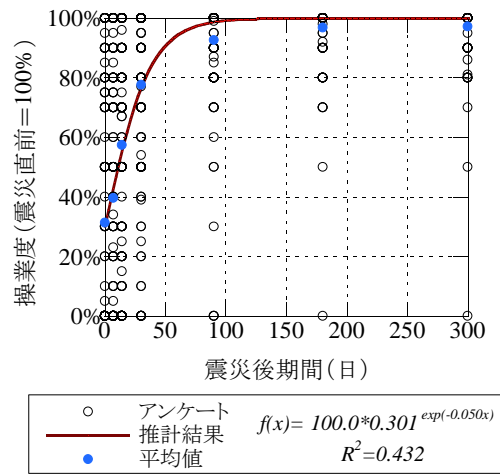
【外力強度：7の復旧曲線】



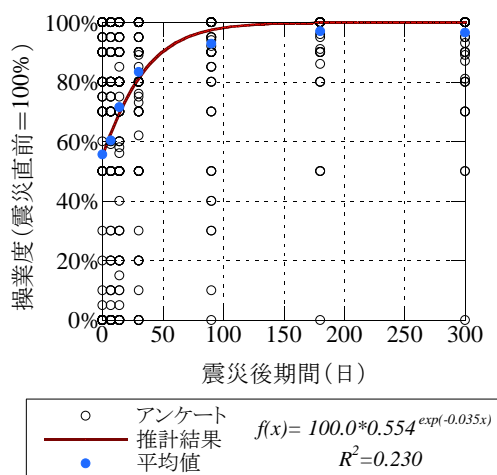
【外力強度：6強の復旧曲線】



【外力強度：6弱の復旧曲線】



【外力強度：5強の復旧曲線】



【外力強度：5弱の復旧曲線】

図5 外力強度別操業度復旧曲線の推計結果

操業度の推計結果を各県の鉱工業生産指数（季節調整済み）と比較したのが図-6である。各県別の操業度は、各月の平均操業度をアンケートにおける外力強度別事業所数で加重平均し、推計した。震災被害の大きかった青森、岩手、宮城、福島、茨城、栃木の6県について、3～6月の各4ヶ月分と比較した結果は、推計値と指数の決定係数が0.84となり、大きな偏りもないことから、妥当な精度が確保できていると言える。

なお、外力強度別操業度復旧曲線の推計精度について、課題として、津波浸水深を考慮することが挙げられる。本研究では津波被災事業所の外力強度を2つ上げることにより津波の影響を考慮したが、これは一部のアンケートにおいて津波被災の有無しかデータが得られなかったためであり、今後は更なる追加調査の実施もしくは土木学会による津波浸水高の観測結果等を用いることが考えられる。

また、アンケート結果の操業度には、間接被害による操業度の低下も含まれている点に留意すべきである。ライフラインの被害による操業度低下は、ある程度当該事業所所在地の外力強度で表現可能であるが、取引先の影響による操業度低下は外力強度では説明できない。外力強度5強や5弱ではこのような間接被害の影響が相対的に大きいと考えられる。

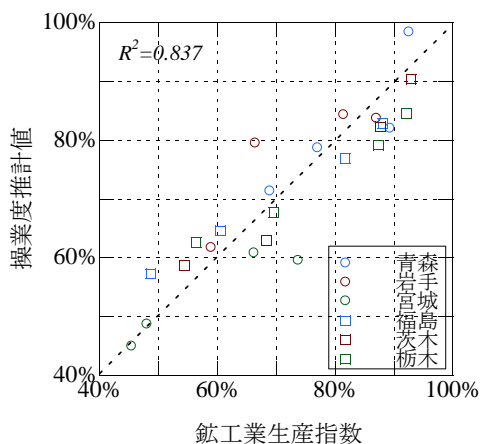


図-6 鉱工業生産指数と操業度推計値との比較

表-3 主要港湾の出入別外力強度別事業所数

港湾	出入	外力強度				
		7	6強	6弱	5強	5弱
八戸	輸移出	0	0	0	3	1
	輸移入	0	0	0	1	0
仙台塩釜	輸移出	0	3	3	2	1
	輸移入	0	4	3	3	1
小名浜	輸移出	0	1	5	0	0
	輸移入	0	1	1	2	0

b) 港湾別操業度復旧曲線

事業所の外力強度別操業度復旧曲線と港湾利用荷主の外力強度分布から、港湾利用荷主全体の港湾別操業度復旧曲線を推計する。なお、推計にあたっては、本来、当該港湾・貨物の各種調査（全国輸出入コンテナ貨物流動調査、内貿ユニットロード貨物流動調査、陸上出入貨物調査等）に基づく背後圏における想定地震・津波による外力強度分布を使用する必要があるが、本研究では、簡易な方法として、アンケートの事業所における外力強度別事業所数を使用した。具体的には、事業所の外力強度別操業度復旧曲線から各月の平均操業度を算出し、これを出入別外力強度別事業所数で加重平均することにより、港湾利用荷主全体の港湾別操業度復旧曲線を推計した。なお、搬出（＝輸移出）・搬入（＝輸移入）別に事業所のデータ数を整理した（合計50データ）。表-3に、主要港湾として八戸港、仙台塩釜港、小名浜港に関する出入別外力強度別事業所数を示す。

5. 操業度・貨物量換算係数

操業度・貨物量換算係数は、アンケート結果を使用して算定する。具体的には、まず、アンケートに回答のあった事業所のデータを用いて、貨物量による加重平均での出入別の操業度復旧曲線を推計する。次に、その操業度復旧曲線より、各月の平均操業度を算定し、アンケート結果の月別貨物量との比較により、各月の換算係数を算定する。

(1) 出入別操業度復旧曲線

事業所の出入別操業度復旧曲線の推計は、搬出・搬入別により行った。データ数は、搬出で20事業所・品種、搬入で15事業所・品種である。

なお、換算係数算定においては、アンケート結果のデータ整理に関して、外力強度別操業度復旧曲線の推計と異なり、操業度・貨物量の復旧度の上限を設けていない。これは、特に貨物量において、震災前を超えることが想定されたためである。

出入別操業度復旧曲線の推計結果は図-7のとおりである。再現するデータは貨物量による加重平均を行っているため、各期間で1点となる。推計結果はゴンペルツ曲線にて、精度良く再現できた。なお、出入により復旧状況に若干差が見られるが、これは出入によって事業所の外力強度が異なることが反映されているためであり、これ自体に大きな意味があるものではない。

(2) 操業度・貨物量換算係数

出入別操業度復旧曲線より、各月の平均操業度を算出

し、アンケート結果の貨物量との割合を操業度・貨物量換算係数として算定した結果が図-8である。この換算係数は、操業度及び港湾貨物量の復旧度（震災前=100）の比率を示すものであり、1.00未満であれば、操業度の復旧度より港湾貨物量の復旧度が小さいことを示している。図より、3～6月にかけて、搬出・搬入ともに震災直後は操業度以上に貨物量が減少していたことが分かる。

6. 東日本大震災後の貨物輸送需要

(1) 各港湾の出入別震災時貨物量の推計

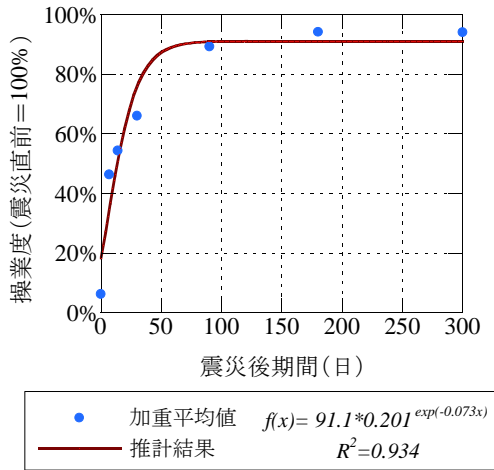
港湾利用荷主全体の港湾別操業度復旧曲線より各月の平均操業度を算定し、操業度・貨物量換算係数と掛け合わせることで、ある操業度に対する貨物量の復旧度が分かる。従って、これを東日本大震災が発生していなかった場合に想定される「本来」貨物量に乗じることによ

て、東日本大震災後に存在したと推計される「震災」貨物量が算定される。ここで、「本来」貨物量は2010年の月別貨物量をベースに、2010年1・2月から2011年1・2月の伸び率を加味した貨物量である。「震災」貨物量、すなわち東日本大震災後の貨物輸送需要の算定式は(1)式のとおりである。

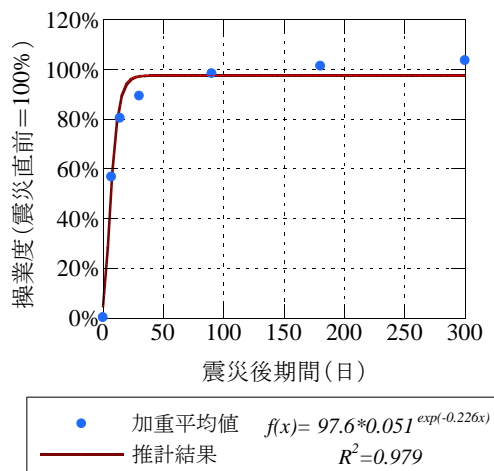
「震災」貨物量の算定結果を図-9に示す。主要な港湾として八戸港、仙台塩釜港、小名浜港の結果を示す。図中、「実際」貨物量は、港湾統計において取扱貨物量（2011年）として計上されている数値である。

「震災」貨物量と「実際」貨物量の差が、推計された港湾貨物取扱量の需給ギャップである。大きな需給ギャップが生じた理由としては、代替港湾の利用が比較的容易であったためと考えられる。すなわち、外資コンテナ貨物であれば、被災港から臨時のフィーダー輸送網が構築された例は見られず、陸上輸送にて京浜港や日本海側港湾への転換が行われており、これが被災港湾での貨物量には計上されないため、需給ギャップとなる。需給ギャップは基本的には被災港湾における機能回復がなされるまで解消されない。仙台塩釜港では、2011年6月に内貿定期コンテナ航路が、9月に外貿定期コンテナ航路が、2012年1月には北米航路が再開している。航路再開に併せて「実際」貨物量は増加しており、需給ギャップは減少してきていることが分かる。

なお、本研究では、企業の操業度から貨物量を推計しているが、実際には、輸移入において、水や食品等の復旧復興関連貨物の増加が見込まれる点に留意すべきである。



【コンテナ搬出事業所の推計結果】



【コンテナ搬入事業所の推計結果】

図-7 出入別操業度復旧曲線の推計結果

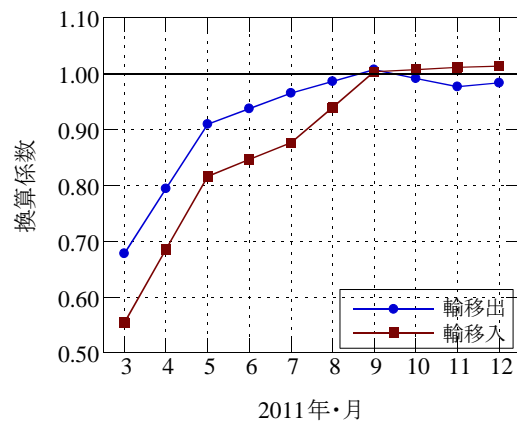
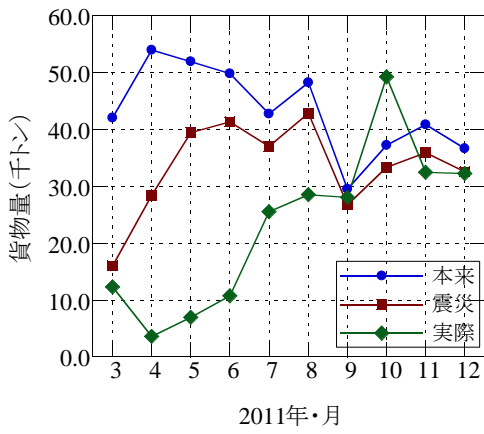
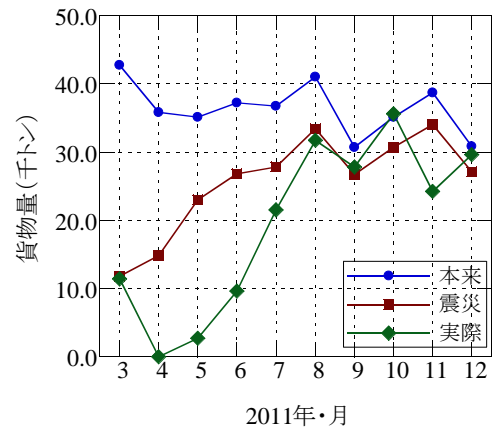


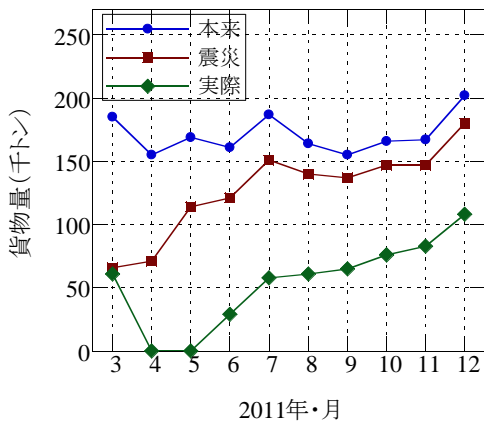
図-8 操業度・貨物量換算係数の推移



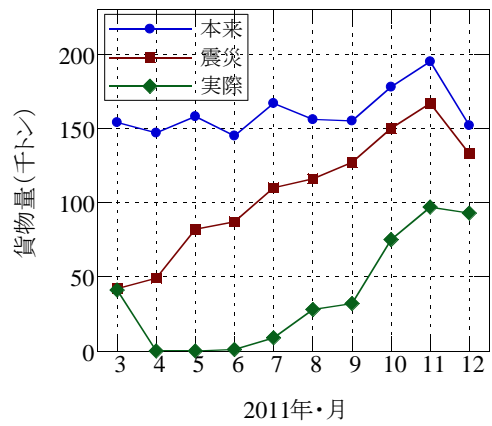
【八戸港・コンテナ輸移出】



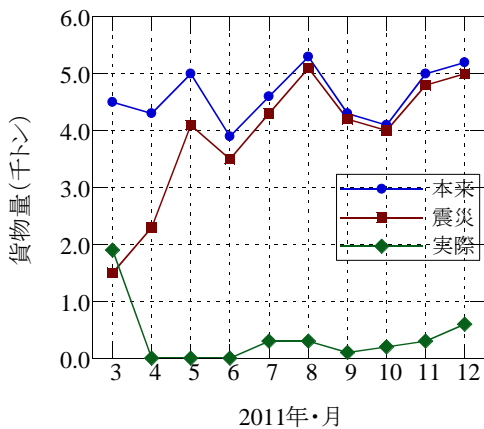
【八戸港・コンテナ輸移入】



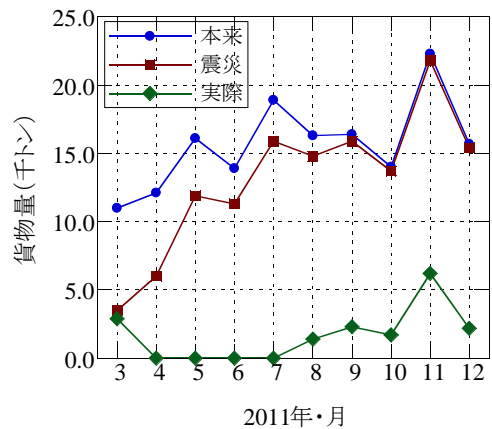
【仙台塩釜港・コンテナ輸移出】



【仙台塩釜港・コンテナ輸移入】



【小名浜港・コンテナ輸移出】



【小名浜港・コンテナ輸移入】

図-9 各港湾の出入別震災時貨物量の推計結果及び実際貨物量との比較

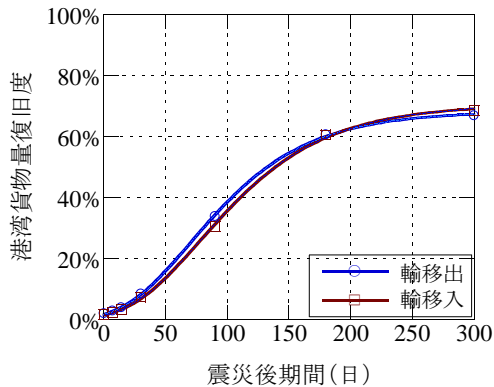
(2) 外力強度別港湾貨物量復旧曲線

外力強度別に港湾貨物量の震災後の期間に対する復旧曲線（震災直前=100）を整理したのが図-10である。これは、アンケートから得られる荷主の外力強度別操業度の各月平均値に対して、操業度・貨物量換算係数を掛け合わせ、ゴンペルツ曲線を当てはめたものである。図中の○が操業度平均値からの算定値、曲線が推計結果であり、精度良く曲線を再現できた。復旧度であるため、コンテナ貨物の外力強度：7及び6強を除き、100%に漸近するように整理した。

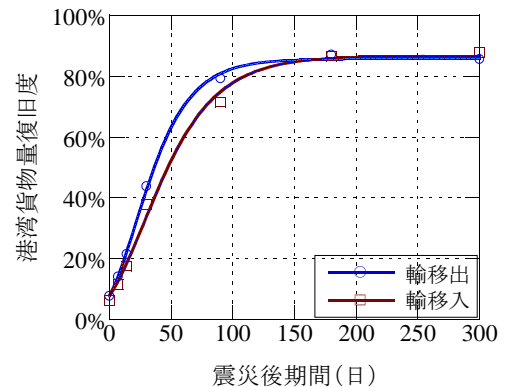
当該曲線は、外力強度を入力すれば、震災後のある経過時間における港湾貨物量の復旧度が分かるため、今後、全国の港湾における機能継続のための行動計画策定等に活用されることが期待される。

7. 結論

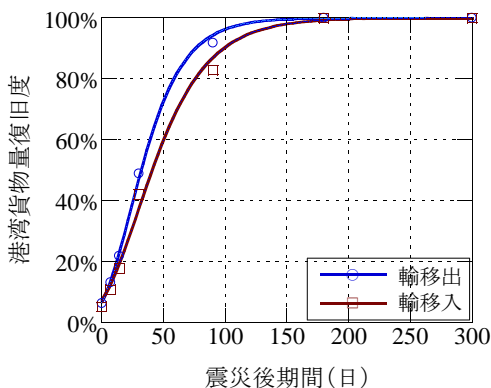
本研究は、コンテナ貨物流動を対象に、東日本大震災における海運依存産業の操業再開過程における復旧貨物



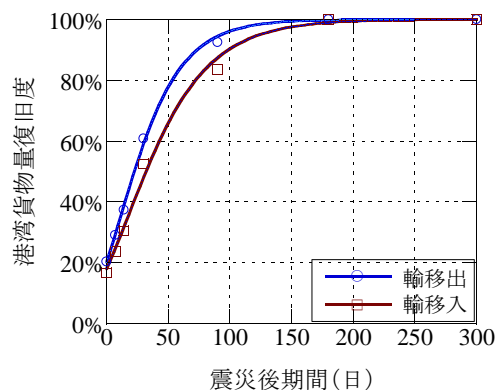
【外力強度：7】



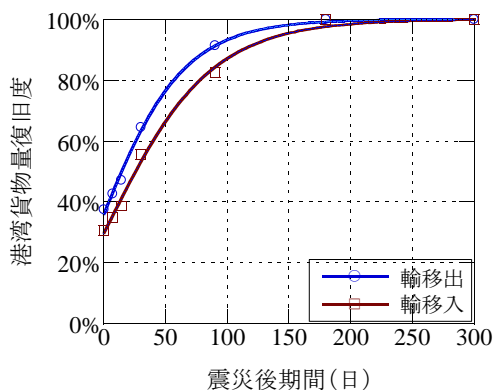
【外力強度：6強】



【外力強度：6弱】



【外力強度：5強】



【外力強度：5弱】

図-10 外力強度別港湾貨物量復旧曲線の推計結果

量を分析することを目的としたものである。本研究で得られた結論は、次のとおり。

- (1) 荷主企業等を対象としたアンケート結果により、東日本大震災後の操業度復旧曲線及び港湾貨物量復旧曲線を精度良く推計することができた。
- (2) 操業度復旧曲線と操業度・貨物量換算係数により、各港湾において、東日本大震災時に存在したと推計される貨物量が算定でき、代替港湾で輸送されたと想定される貨物量等の被災港における需給ギャップが算出された。

本研究によって、港湾貨物量復旧曲線を定量的に推計することができた。しかし、津波による浸水深さを考慮できていない等の課題も残されている。今後、これらの

課題に対して改善に取り組むと共に、併せて、港湾機能継続のための行動計画への適用にあたっての検討も進めていく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局：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，2012
- 2) 国土交通省東北地方整備局：震災に強い港湾物流構築検討業務報告書，2013
- 3) 国土交通省近畿地方整備局：災害に強い生産・物流チェーン構築戦略検討業務報告書，2012
- 4) 赤倉康寛，小野憲司，岡村京子，福元正武：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（投稿中），2013

(2013.5.2 受付)