

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 11 月 1 日現在

機関番号：82115

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289165

研究課題名(和文) 巨大災害時の品目・時間価値を踏まえた外貿コンテナ輸送需要・経路選択推計モデル開発

研究課題名(英文) Development of an Alternative Route Estimation Model of International Container Transport after Large-scale Disasters

研究代表者

赤倉 康寛 (Akakura, Yasuhiro)

国土技術政策総合研究所・港湾研究部・部付

研究者番号：70462629

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)： 巨大災害時において、地域産業の復旧・復興を支える港湾機能の維持を図るためには、港湾BCPにおいて、予め災害後の需要量の見込みを立て、当該港湾にて対応できない場合には、他の代替港湾で一時的に機能を担う必要がある。

以上の点を踏まえ、本研究は、大規模津波・地震後の外貿コンテナ貨物の需要の復旧曲線を定量化し、代替港湾を推計する手法を構築したものである。本研究の成果は、国内外の学会での発表や書籍出版に加え、東北広域港湾BCPの策定にも活用された。

研究成果の概要(英文)： After large-scale disasters, the damaged ports, that are essential infrastructure for restoration of local and national economy, are expected to function to meet the cargo demand. From this viewpoint, the estimation of post-disaster cargo demand and alternative ports are needed in advance in port-BCP.

Against this background, the purpose of this study are (1) to quantify the demands for container transport after large-scale earthquakes and tsunamis, (2) to develop the port choice model used to identify alternative ports. The achievement of this study has been published by the papers of international and domestic societies and also by a book. In addition, the developed model was applied to the Tohoku regional port-BCP.

研究分野：国際物流、港湾BCP

キーワード：巨大災害 コンテナ貨物 代替港湾 時間価値 BCP

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 巨大災害の発生可能性と対策の必要性

21世紀前半には南海トラフ地震や首都直下地震等の巨大災害の発生可能性が指摘されている。これらが最大規模で発生した場合、まさに国難ともいえる状況となるおそれがある(中央防災会議)。

東日本大震災においては、輸出入を支える港湾が大きな損害を受け、復旧には多くの時間を要した。この間、多くの製造業においてサプライチェーンが断絶され、代替港湾の利用等間接的な被害も大きかった。この点を踏まえ、今後の巨大災害に対して、なるべく途絶しない物流網の構築が強く求められた。

### (2) 港湾BCPを策定するための知見不足

平成24年6月には、「港湾における地震・津波対策のあり方」(国土交通省交通政策審議会港湾分科会)がとりまとめられ、防災・減載目標を明確化した上で、各港湾における港湾BCP(Business Continuity Plan:事業継続計画)に基づく災害対応力の強化と、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の方向性が示された。

港湾BCPの策定においては、巨大災害時の貨物輸送需要と貨物取扱能力とを定量化し、より早期に貨物取扱能力を復旧させる方法を検討する。貨物取扱能力の復旧については、各港湾管理者に災害復旧の経験があり、宮本らによる名古屋港での研究事例が見られる。一方、貨物輸送需要の復旧については、当時までに確立した手法はなかった。発災後の企業の操業度についての研究はある程度見られた(例えば吉村ら)が、港湾貨物輸送需要との関係は手つかずであり、港湾BCPを策定するための知見が不足していた。

### (3) 港湾間連携のための推計モデルがない

また、巨大災害の発災後においては、被災港湾では貨物輸送需要に対して十分な取扱能力が復旧しない需給ギャップが発生する。「港湾における地震・津波対策のあり方」において港湾間の連携が示されたのは、この需給ギャップに対して、他の港湾・経路で代替輸送を行うことになるからである。

貨物がどの港湾や経路を選択するのかを算定する港湾・経路選択モデルについては、竹林ら、柴崎ら、井山らの研究があるが、いずれも平常時を対象としたものであり、巨大災害時における不安定な状況を対象とした研究は存在しなかった。港湾BCPにおいては、あらかじめ代替港湾を明らかにして、連携を高めることが求められるが、そのための港湾・経路選択モデルが未開発な状況にあった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、巨大災害時の外貿コンテナ貨物輸送需要の復旧曲線の定量化と、巨大災害時の代替港湾を推計する港湾・経路選択モデルの開発である。

については、外貿コンテナ貨物は、荷主が多く、地理的にも広範囲に分布しているため、その輸送需要の定量化における困難度が高い。そこで、まずはアンケート結果等により被災企業における操業度(生産量)の復旧曲線を定量化する。さらに、アンケートにおいて、当該企業の操業度と貨物量との関係をも確認にすることにより、様々な巨大災害に対しての外貿コンテナ貨物輸送需要の推計するものである。

については、被災港湾において生じる需給ギャップに対して、当該外貿コンテナ貨物が、どの港湾を使用し、仕向国・原産国との間で、どの経路(直行or他国積み替え)を利用するのかを算定する港湾・経路選択モデルを開発する。巨大災害時には、輸送状況が不安定となり、代替港湾への貨物集中や平常時と貨物の時間価値等が変化するため、東日本大震災における代替港湾の取扱状況やコンテナ貨物の価値を分析し、平常時との相違を明らかにして、モデルへ反映させる。

最終的には、開発した手法・モデルを、検討が進められる港湾BCPに反映させ、港湾機能継続に向けた政策の企画・立案へ活用することにより、なるべく途絶しない国際物流の構築に資することを最終の目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 外貿コンテナ貨物の需要復旧曲線定量化

東日本大震災により被災した製造業等へのアンケート結果を用いて、地震動強度や津波浸水深と操業度との関係をモデル化し、さらに、操業度と外貿コンテナ需要量との関係性を明らかにして、外貿コンテナ貨物の輸送需要を定量化する。また、東日本大震災において、本来被災港において取り扱われるはずであった外貿コンテナ貨物量を把握し、策定した復旧曲線の精度を検証する。

### (2) 代替港湾・経路選択モデルの開発

平常時の港湾・経路選択モデルに対して、被災港湾が使用できないこと、平常時と貨物の時間価値分布が異なること、代替港湾の取扱能力にも限界があることを反映できるモデルを開発する。推計したモデルについて、東日本大震災における代替港湾での貨物量により検証し、代替港湾の推計手法を構築する。

### (3) 港湾BCPへの適用

開発した巨大災害時の外貿コンテナ貨物の輸送需要の復旧曲線及び代替港湾推計手法を、実際の港湾BCPへ適用し、巨大災害時における我が国の港湾機能継続に向けた政策へ反映させる。

## 4. 研究成果

### (1) 外貿コンテナ貨物の需要復旧曲線定量化

2011・12年度の国土交通省東北地方整備局及び近畿地方整備局による被災事業所への

アンケートを使用し、各事業所における操業度を整理すると共に、コンテナ荷主については操業度とコンテナ貨物量の関係性をも整理した。その際、津波浸水のあった事業所は、浸水しなかった事業所に比べて操業度の低下が著しかったことを考慮し、操業度算定の指標となる外力強度を表-1のように設定した。アンケート結果から、発災後の事業所の操業度の推移を整理した例が図-1である。

表-1 外力強度の設定

| 津波浸水 | 浸水深    | 震度 |
|------|--------|----|
| 有り   | 2.0m以上 | 全て |
|      | 2.0m未満 | 全て |
| 無し   | -      | 7  |
|      | -      | 6強 |
|      | -      | 6弱 |
|      | -      | 5強 |
|      | -      | 5弱 |
| -    | 4      |    |

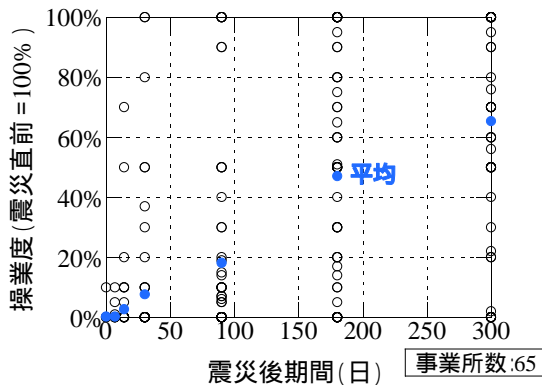


図-1 発災後の操業度の推移 (津波浸水 2m)

さらに、コンテナ荷主について、事業所の操業度とコンテナ貨物需要の復旧度を整理したのが図-2である。操業度の低い範囲ではコンテナ需要は0、操業度が高い範囲ではコンテナ需要が100となる傾向が見られた。操業度の復旧度(図-1)とこの関係性(図-2)を基に、コンテナ輸送需要の復旧曲線を定量化した。その結果が、図-3である。曲線は、100%への漸近を表現できる成長曲線であるゴンベルツ曲線(1式)を採用した。

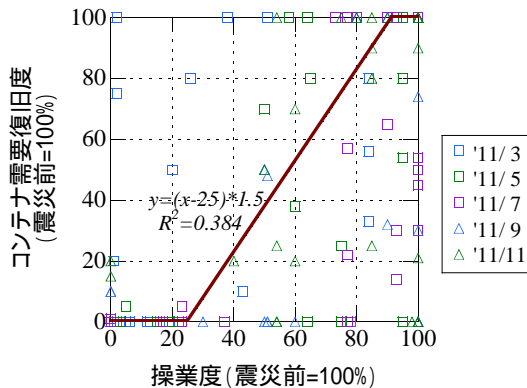


図-2 操業度とコンテナ需要の関係

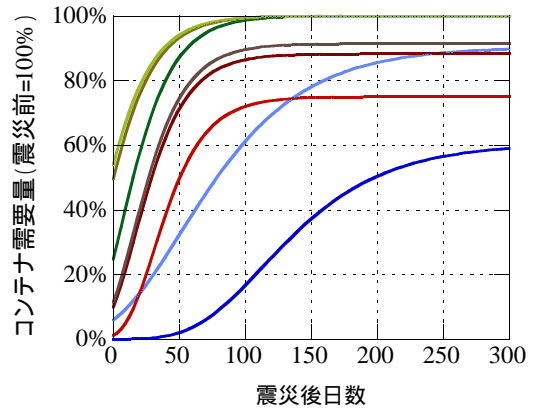


図-3 コンテナ輸送需要復旧曲線

表-2 復旧曲線のパラメータ

| 津波浸水 | 2m       | <2m    | 浸水なし   |       |
|------|----------|--------|--------|-------|
| 地震動  | 全て       |        | 7      | 6強    |
| a    | 60.6     | 90.5   | 75.0   | 88.3  |
| b    | 0.000121 | 0.0652 | 0.0150 | 0.112 |
| c    | 0.0194   |        | 0.0463 |       |

| 津波浸水 | 浸水なし   |       |       |       |
|------|--------|-------|-------|-------|
| 地震動  | 6弱     | 5強    | 5弱    | 4     |
| a    | 91.4   | 100   | 100   | 100   |
| b    | 0.125  | 0.247 | 0.495 | 0.539 |
| c    | 0.0463 |       |       |       |

$$f(x) = a \cdot b^{\exp(-c \cdot x)} \quad (1)$$

ここに、 $a, b, c$ : 推定パラメータ(表-2)、 $x$ : 震災後期間(日)である。この復旧曲線を用い、各市区町村の外力強度(震度及び津波浸水深)を都道府県等の被害想定から、各市区町村のコンテナ荷主の割合を全国輸出入コンテナ流動調査値等から整理することにより、各港湾における大規模地震・津波後のコンテナ輸送需要が容易に推計可能となった。

## (2) 代替港湾・経路選択モデルの開発

代替港湾・経路の推計フローを、図-4に示す。都道府県等の被害想定により、(1)の復旧曲線を用いて被災地域の輸送需要を推計し、さらに、被災港湾の取扱能力を設定する。これらは、発災後の時点(何ヶ月後か)によって変化する。別途、代替港湾の取扱能力を設

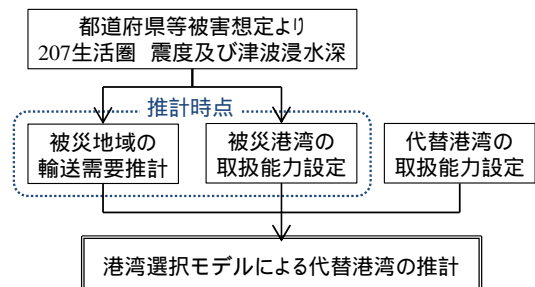


図-4 代替港湾の推計フロー

定して、港湾選択モデルによって推計をする。港湾選択モデルは、井山らにより開発された犠牲量モデルを採用した。なお、発災直後(1ヶ月)においては、貿易統計データによる推計から、コンテナ貨物の時間価値を4%程上昇させた。また、輸送需要については、必要に応じ、復旧関連貨物(東日本大震災においては、水、冷凍食糧等)の輸入を見込む必要がある。

巨大災害時には、代替港湾にコンテナ貨物が集中する。図-5は、阪神・淡路大震災及び東日本大震災における例であるが、いずれの場合も取扱能力の限界に達していたと見られる。限界を超えた貨物については、近隣の他港湾に向かうことになる。この状況を再現するために、まず、代替港湾の取扱能力は、発災時のコンテナ蔵置能力及び発災時の港湾運送業対応能力のいずれか小さい方で定まることを明らかにした。その上で、港湾選択モデルにて取扱能力の制約を考慮できるように繰り返し算定手法を構築した。なお、代替港湾においては、貨物量の増加に応じた既存航路の便数の増加も行われるため、これも考慮する必要がある。

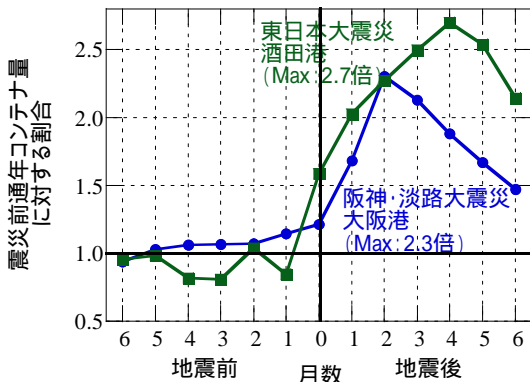


図-5 代替港湾における取扱量増加の状況

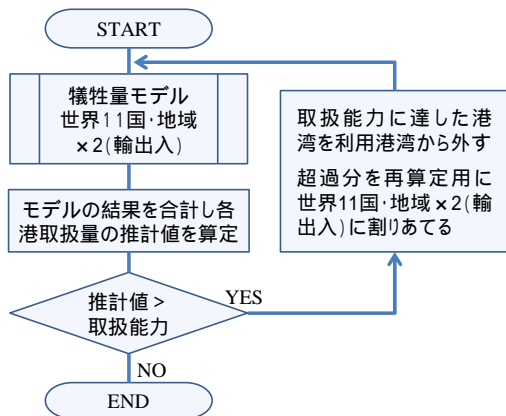


図-6 取扱能力制約の考慮のための繰り返し計算

以上の推計手法により、東日本大震災における発災後1ヶ月の代替港湾を推計した結果が、図-7である。推計では、八戸港～茨城港は機能停止とし、東京湾での風評被害による抜港については、実際の便数減を条件とした。その結果、コンテナ取扱量に変化のあ

た三大湾及び苫小牧～新潟港について、実績値と推計値との決定係数は0.966であり、一般的には良い精度が確保出来た。

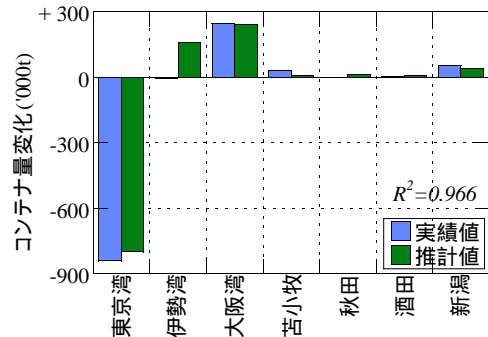


図-7 東日本大震災の代替港湾の再現精度の検証

(3) 港湾BCPへの適用

東北地方においては、東日本大震災の教訓を活かし、各港湾のBCPに加え、巨大災害時に港湾連携を円滑に進めるための東北広域港湾BCPが策定された。その内容は、港湾機能の早期復旧に受けた航路啓開や荷役機械等の広域調達及びコンテナ貨物の代替輸送の広域連携の2つからなる。

コンテナ貨物の広域連携政策の企画・立案においては、各港湾が代替港湾となった場合に受入が想定されるコンテナ貨物量の目安が必要となる。そのため、本研究において構築したモデルを用いて、大規模地震・津波時における代替港湾の輸送需要を推計した。推計に用いたシナリオ地震・津波が、表-3である。推計時点は発災後3ヶ月、被災港湾は機能停止状態とした。推計においては、代替港湾の需要を見るための「需要ケース」と、代替港湾の取扱能力を考慮した「現実ケース」の2つを算定した。

表-3 シナリオ地震・津波

| シナリオ   | 被災港湾                                  | 想定地震・津波  |
|--------|---------------------------------------|--|
| 太平洋側被災 | 八戸港<br>大船渡港<br>仙台塩釜港<br>小名浜港<br>(茨城港) | 東北地方太平洋沖地震(M9.0)   |
| 日本海側被災 | 秋田港<br>酒田港<br>(新潟港)                   | 秋田県: 海域A+B+C連動(M8.7)<br>山形県: 佐渡島北方沖地震(M8.5)<br>新潟県: 佐渡北方沖地震B(M7.8) |

算定結果の例として、日本海側被災シナリオにおける仙台塩釜港と八戸港の推計結果を、図-8に示す。両港湾共に、需要ケースでは需要が取扱能力を上回っており、能力が不足していることが明らかになった。現実ケースでは、太平洋側被災ケースでは52%が、日本海側被災ケースでも25%が東京湾の港湾を利用する結果となり、東北地域内の港湾連携にて、巨大災害に対応することができないと見込まれた。各シナリオにおける陸上輸送コストを図-9に示すが、平常時に比べて震災時の需要ケースのコストが上



昇しているのはもちろんのこと、需要ケースに比べても現実ケースは陸上輸送コストが増加しており、使いたい港湾が使えない状況が反映されていた。

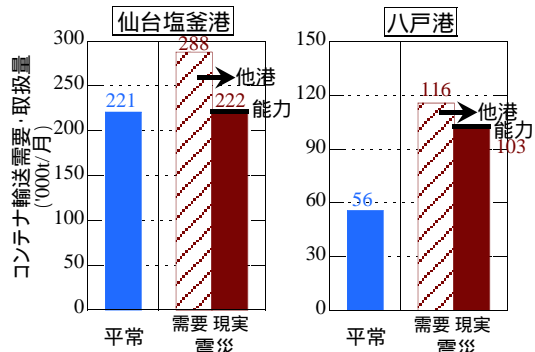


図-8 日本海側被災シナリオでの取扱量推計結果

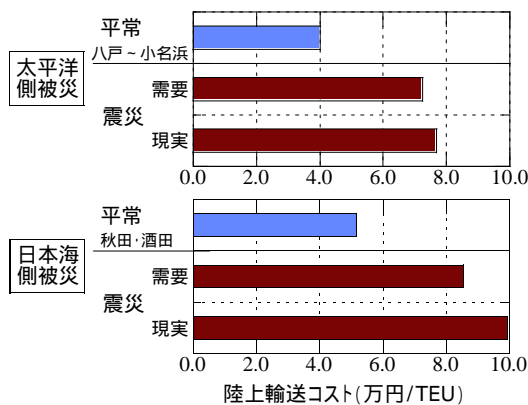


図-9 陸上輸送コストの変化

以上の状況を踏まえて、各港湾のBCPにおいて検討すべき事項としてリストアップされた広域連携政策が表-4である。代替港湾としての取扱能力の確保は、蔵置能力増加のための臨時ヤードの想定と、港湾運送業の対応能力の増加のための上屋の増加やゲート・荷役の時間延長である。また、東日本大震災時には、平常時に代替港湾では取扱のなかった動植物検疫貨物の取扱があったことから、貿易手続き体制の確認・確保が必要となっている。さらに、大規模地震対策施設の整備は、被災港湾の能力低下をできる限り防ぐことによって、代替港湾の負担軽減を図るものである。情報発信については、各機関の被災後の行動として、発信すべき情報が整理されている。このように、具体シナリオにおいて、代替港湾としての必要な能力が明らかになることによって、各港湾単独では防ぎきれない巨大災害時の港湾機能の停滞に対して、効率的かつ効果的な政策を採ることができた。

表-4 代替港湾のための広域連携政策

| 対策           | 内容                                    | 関係機関                         |
|--------------|---------------------------------------|------------------------------|
| 取扱能力の確保      | 臨時ヤードの想定、仮設上屋の設置、作業時間の延長等             | 港湾管理者<br>ターミナル管理者<br>港湾運送事業者 |
| 貿易手続体制の確認    | 大量貨物の取扱や、通常時に扱っていない品目の流入に備え、貿易手続体制を確認 | 植物防疫所<br>動物検疫所               |
| 大規模地震対策施設の整備 | 大規模地震対策施設の整備を着実に進める                   | 国土交通省<br>港湾管理者               |
| 情報発信         | 予め情報発信すべき事項について整理し、情報発信体制を整備          | 国土交通省<br>(整備局・保安庁)<br>港湾管理者  |

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

赤倉康寛、小野憲司、渡部富博、川村浩、広域港湾BCPのための大規模地震・津波後の代替港湾の推計、土木学会論文集B3、査読有、Vol.71、No.2、2015、pp.I\_689-I\_694、DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejoe.71.I\\_689](http://doi.org/10.2208/jscejoe.71.I_689)

赤倉康寛、小野憲司、渡部富博、川村浩、大規模地震・津波後の国際海上コンテナ貨物の代替港湾の推計と港湾BCPへの適用、京都大学防災研究所年報、査読無、Vol.58B、2015、pp.26-34、<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/publications/nenpo/>

Yasuhiro AKAKURA, Kenji ONO, Tomihiro WATANABE and Hiroshi KAWAMURA, Estimation of Alternative Ports for Container Transport after Large-scale Disasters -Estimation Method and Application to Port-BCPs-, Journal of Integrated Disaster Risk Management, 査読有、Vol.5、No.2、2015、pp.135-152、DOI: [DOI: 10.5595/idrim.2015.0103](https://doi.org/10.5595/idrim.2015.0103)

赤倉康寛、小野憲司、大規模地震・大規模災害後の外貿コンテナ貨物の代替港湾の取扱能力と輸送経路の推計、京都大学防災研究所年報、査読無、Vol.57B、2014、pp.46-54、<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/publications/nenpo/>

Yasuhiro AKAKURA, Kenji ONO and Koji Ichii, Earthquake and tsunami damage estimation for port-BCP, Geotechnics and Catastrophic Flooding Events, 査読無、2014、pp.233-238

赤倉康寛、邊見充、小野憲司、石原正豊、福本正武、海運依存産業における大規模地震・津波後のコンテナ貨物需要の復旧曲線、土木学会論文集D3、査読有、Vol.70、No.5、2014、pp.I\_689-I\_699、DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejipm.70.I\\_689](http://doi.org/10.2208/jscejipm.70.I_689)

[学会発表](計15件)

赤倉康寛、小野憲司、渡部富博、川村浩、広域港湾BCPのための大規模地震・津波後

の代替港湾の推計、土木学会海洋開発シンポジウム、2015年6月23日、神戸国際会議場（神戸市）

赤倉康寛、小野憲司、渡部富博、川村浩、大規模災害後の外貿コンテナ貨物の代替港湾の推計と港湾BCPへの適用、京都大学防災研究所研究発表講演会、2015年2月22日、京都大学（宇治市）

Yasuhiro AKAKURA, Kenji ONO and Tomihiro WATANABE, Estimation of the Alternative Port for Prevention of Container Transport Disruption after LSD, Journal of Integrated Disaster Risk Management, Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk management, 2014年10月30日、Western University in London (Canada)

Yasuhiro AKAKURA, Progress of Port-BCP in Japan, Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria(招待論文), 2014年10月17日、Convenciones ZOFRI in Iquique (Chile)

Yasuhiro AKAKURA, Kenji ONO and Koji Ichii, Earthquake and Tsunami Damage Estimation for Port-BCP, International Conference on Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation, 2014年9月18日、Kyoto University (Uji City)

赤倉康寛、慈道充、丁子信、川村浩、渡部富博、川村浩、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、土木学会計画学研究発表会、2014年6月8日、東北工業大学（仙台市）

川村浩、赤倉康寛、山岡潮、西川泰樹、小野憲司、東北における港湾BCPの実践、土木学会計画学研究発表会、2014年6月8日、東北工業大学（仙台市）

小野憲司、滝野義和、赤倉康寛、ビジネス・インパクト分析を用いた港湾物流機能継続計画策定手法の開発、土木学会計画学研究発表会、2014年6月8日、東北工業大学（仙台市）

赤倉康寛、小野憲司、東日本大震災における外貿コンテナ貨物の代替港湾の利用状況に関する分析、京都大学防災研究所研究発表講演会、2014年2月27日、京都大学（宇治市）

赤倉康寛、小野憲司、荷主企業の追跡による対米国輸出の東日本大震災後の需要・代替港湾の把握、土木計画学研究発表会、2013年11月2日、大阪市立大学（大阪市）

赤倉康寛、小野憲司、津波災害による事業所操業度の低下を示す機能的フラジリティ曲線推計の試み、防災計画研究発表会、2013年9月27日、京都大学（宇治市）

Yasuhiro AKAKURA, Kenji ONO and Tomihiro WATANABE, Study on Quantification of International Containerized Cargo Demand and the Estimation of Alternative Port/Route after LSD, Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk management, 2013年9月6日、Northumbria University in Newcastle (UK)

Yasuhiro AKAKURA, Estimation Method of Port Container Demand and Alternative Route after Large-Scale Disaster or Making Port-BCP, Japan-Chile Symposium on Tsunami Disaster Mitigation, 2013年6月1日、建築会館ホール（東京都）

邊見充、赤倉康寛、小野憲司、石原正豊、福元正武、東日本大震災における海運・港湾部門のレジリエンスに関する研究、土木計画学研究発表会、2013年6月1日、広島工業大学（広島市）

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、土木計画学研究発表会、2013年6月1日、広島工業大学（広島市）

〔図書〕(計1件)

小野憲司、赤倉康寛、角浩美、日本港湾協会、大規模災害時の港湾機能継続マネジメント BCP作成の理論と実践、2016、271

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

赤倉 康寛 (AKAKURA, Yasuhiro)  
国土技術政策総合研究所・港湾研究部・部付  
研究者番号：70462629

### (2)研究分担者

小野 憲司 (ONO, Kenji)  
京都大学防災研究所・教授  
研究者番号：10641235

渡部 富博 (WATANABE, Tomihiro)  
国土技術政策総合研究所・港湾研究部・室長  
研究者番号：10356040

安部 智久 (ABE, Motohisa)  
国土技術政策総合研究所・港湾研究部・室長  
研究者番号：30370795