

12 ビッグデータの活用による 輸送システムの高度化に関する研究

荒谷 太郎*, 小坂 浩之*, 岡 正義**, 和中真之介*,
和田祐次郎*, 間島 隆博*

Advancement of Transportation Systems using Big Data

by

ARATANI Taro, KOSAKA Hiroyuki, OKA Masayoshi, WANAKA Shinnosuke,
WADA Yujiro and MAJIMA Takahiro

Abstract

Digitalization is involved in many parts of the transportation sector, and the data that serves as the foundation for digitalization has become one of the indispensable infrastructures for society and industry. The project titled "Research on Transport Efficiency, Optimization, and Prediction using AI and Other Technologies," was conducted until 2022, which included extensive research on integrated intermodal transport, international shipping and shipbuilding forecasts, and the operation of fleet management systems. The following project beginning in 2023 is titled "Advancement of Transportation Systems Using Big Data," which aims to enhance information provision services and provide more detailed and tailored information services for individual users with diverse needs by utilizing big data. This research aims to promote innovation by leveraging interdisciplinary data and effectively utilizing technology. In this paper, we will provide an overview of the implementation plan for the research we will be conducting.

* 知識・データシステム系, ** 構造・産業システム系

原稿受付 令和 5年 4月 28日

審査日 令和 5年 5月 22日

1. はじめに

わが国における社会情勢は刻々と変化している。人口減少による労働力不足や自然災害の頻発等、多くの制約のもとで最大限の資源を活用することが求められている。令和4年6月に閣議決定された「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画」では、AI技術を基にした実践・試行錯誤の蓄積が重要とされ、民間企業による実践を通じた積極的な技術情報の提供が求められている。特に、交通分野におけるデジタル化・データ融合の影響は、新しい交通インフラの創出、既存インフラの運営・改善など、輸送の多くの部分で関わっている。デジタル化の基盤となるデータは、社会・産業に対して欠かせないインフラの一つとなっており、このデータを用いた個々の利用者の多様なニーズに、よりきめ細やかに対応した情報提供サービスの充実を行っていく必要がある。

本報告では、はじめに2022年度まで実施してきた重点研究「AI等による輸送の効率化・最適化・予測等に関する研究」の中で実施してきた、傷病者輸送シミュレータの開発及び国際海運・造船予測に関する研究を紹介する。次に2023年度から実施する重点研究である「ビッグデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究」についての紹介を行う。

2. AI等による輸送の効率化・最適化・予測等に関する研究

本重点研究は、2016年度から2022年度にかけて、主に複合一貫輸送に関する研究^{1),2),3),4),5)}、国際海運・造船予測^{6),7),8),9),10),11),12),13)}に関する研究、船隊管理システムの開発¹⁴⁾について実施してきた。紙面の都合上、各種の研究内容については参考文献を参照頂きたい。ここでは、傷病者輸送シミュレータの開発から1件、国際海運・造船予測に関する研究から2件を紹介する。

2.1 傷病者輸送シミュレータの開発

わが国は災害大国である。近年でいえば、2011年に発生した東日本大震災をはじめ、2016年熊本地震、2018年西日本豪雨など、地震に限らず、水害や台風など多くの災害が起きている。特に被災範囲が複数県に跨がるような広域に及んだ場合、救援活動には広域的な支援態勢が必要である。

本研究において開発したシミュレータ¹⁵⁾は、主に地震災害を対象に、今後想定される被害をもとに、事前にどのようなソフトとハードの対策を行えばよいかを明らかにするものである。わが国は地震大国であり、巨大地震が起きた場合は、被災範囲が複数県に跨がり、救援活動には広域的な支援態勢が必要になる。シミュレータは、各組織が災害・防災対策の施策を検討している運用方法や被害想定を前提条件として、被災地域にいる要救助者を、輸送機材によって病院までの輸送する流れをシミュレーションできるものである。シミュレーション結果をもとに改善案を検討し、再度条件を変更して輸送性能を評価できるものである。シミュレータはクラウド上に実装(図-1)し、通行速度の変化、通行止めの設定、追加機材・病院船の投入等による輸送人数の変化を確認するこ

とが可能である。図-2は、分析結果の一例として、横軸を経過時間、縦軸が救助率としてシミュレータから出力された結果をグラフで示したものである。病院が満床になると救助率が一定となって他の病院への輸送となり、それを繰り返して救助率が100%に近づくが、病院が遠くなると輸送に時間がかかるため救助率の傾きが緩やかになり救助のスピードが落ちることがグラフよりわかる。本研究は高知県および静岡県を対象に実施したが、今後は他県での分析も進めていきたいと考えている。

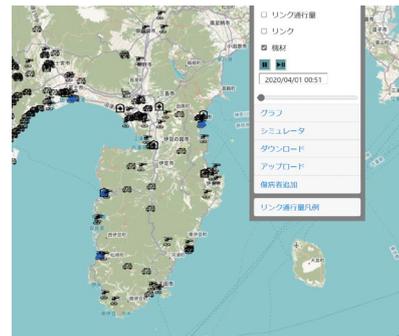


図-1 傷病者輸送シミュレータの画面

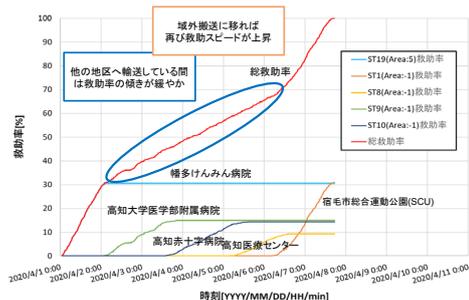


図-2 傷病者輸送シミュレータによる分析結果の一例

2.2 コンテナ船建造需要量の推計

造船市場は好不況の変動が激しいため、造船所は造船需要を予測し、経営戦略を立案することが求められる。既往研究⁹⁾において、バルクキャリア市場等を対象に造船需要の予測モデルを開発した。しかし、コンテナ市場を対象としたモデルは未だ十分に検討できておらず、コンテナ船市場を対象に造船需要予測モデルの開発をした。

モデル構築には、種々の要因が相互に影響する複雑システムのモデル化に有効な System Dynamics (SD) を用いた。開発したコンテナ船需要予測モデルの全体像を図-3に示す。なお、コンテナ船需要予測モデルは以下①~④の4つのサブモデルにより構成される。

- ① 海上荷動き量モデル：コンテナ港湾取扱量、貨物輸送距離を基にコンテナ貨物の海上荷動き量を算出する。
- ② 発注モデル：海上荷動き量、船腹量、船速、港湾混雑率、外部要因発注量、船舶サイズ別発注割合を用いて船舶サイズ別に新造船の発注量を決定する。

③ 建造モデル：手持工事量から竣工量を船舶サイズ別に算出する。なお、発注された船舶はある建造期間を経て、海運市場へ投入される。

④ 廃船モデル：市場の需給バランスを表す輸送効率を基に廃船量を決定する。

開発したコンテナ船需要予測モデルを用いて、EEXI に伴う強制廃船の影響を考慮した将来シミュレーションを実施した。シミュレーション期間は2022-2040年とする。

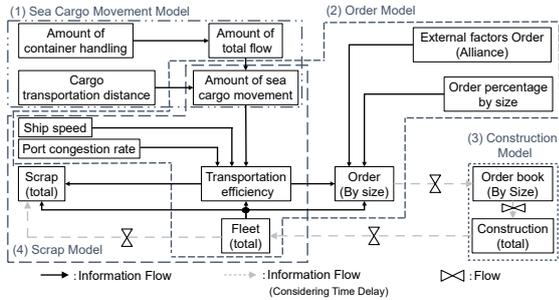


図-3 コンテナ船需要予測モデルの全体像

(1) シミュレーションの入力シナリオ

- ① コンテナ港湾取扱量：年成長率3.28%と仮定する。
- ② 貨物輸送距離：毎月1.245mile減少すると仮定する。
- ③ 船速：一定(2018-2021年の平均船速)と仮定する。
- ④ 港湾混雑率：2023年に2016年1月の実績値になるよう2022年から線形に補間し、それ以降は一定とする。
- ⑤ 船舶サイズ別発注割合：サイズ別に一定と仮定する。
- ⑥ 用船料：2025年まで不況（一定値を下回る）とし、2025年以降に回復すると仮定する。
- ⑦ EEXI規制に伴う強制解撤：毎月20833TEU解撤すると仮定する。

(2) シミュレーションケース

- Case1：(1)の①~⑥の入力シナリオを用いる。
- Case2：(1)の①~⑦の入力シナリオを用いる。
- Case3：Case2の入力シナリオに加え、2023-2029年の間、毎月40263TEU解撤するシナリオを追加する。

図-4にコンテナ船需要予測シミュレーションの結果を示す。Case1とCase2の比較より、EEXI規制に伴う強制廃船により、発注回復のタイミングが2年程度早まることが確認できる。しかし、2023-2029年の間は発注が少ない時期が続く結果となる。そこで、GHG削減目標の強化等により船舶の代替に伴う解撤の促進が起きた場合の結果をCase3に示す。Case3では不況期間がCase1、Case2に比べ短くなることわかる。一方、2032年以降はCase2より発注が減少する。以上よりGHG削減目標の強化の度合いによっては、直近の発注の回復を促す一方、後のコンテナ船の発注を減少させる可能性が懸念される。

このように、開発モデルを用いることで将来のコンテナ船需要の予測や、様々な国際海運における規制がコンテナ市場

に与える影響を分析できる。

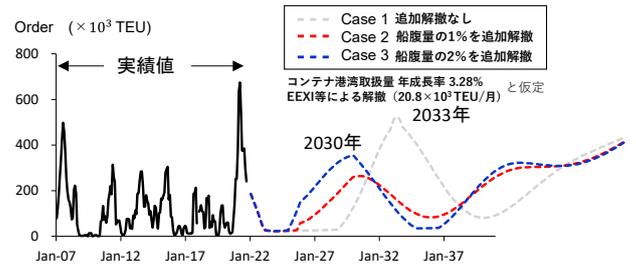


図-4 コンテナ船需要予測シミュレーションの結果

2.3 国際海運ゼロエミッション化に向けた代替燃料船導入シミュレータの開発

国際海運における脱炭素化は、近年の重要な政策課題の一つである。IMOでは2100年までのゼロエミッション化を目標とした戦略の策定が行われ、規制や経済的手法について議論が続いている。多様な利害関係の中、調整・合意形成を進める必要があるが、そのベースとして将来の船団の代替、規制の影響等を定量的に議論するツールの開発を行った¹⁶⁾。

本研究において開発した代替燃料船導入シミュレータの概要を図-5に示す。シミュレータは、導入が考えられる船舶のラインナップと、輸送需要予測や規制動向、燃料価格予測といった外部環境シナリオを入力することで、代替燃料船の導入による船団の推移と、その時の燃料消費量からGHG排出量等を計算する。

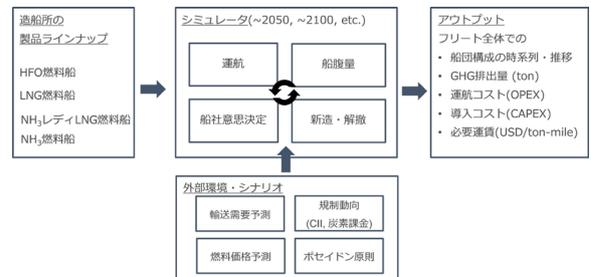


図-5 代替燃料船導入シミュレータの概要

代替燃料船の導入については、船社の意思決定のモデル化として、各時間ステップにおいて製品ラインナップを入力したデータから、それぞれのライフサイクルでの運航コスト、建造コスト、環境対応にかかるコストを算出し、その単位輸送貨物あたりの合計コストが最も低い船舶が導入されるようにした。

本シミュレータによる計算例を図-6に示す。あくまでも計算例であり、入力する輸送需要予測や燃料価格予測、規制動向等の設定によって結果は異なることに注意されたい。

開発シミュレータでは、入力に従い、時系列での船団構成(各燃料船のDWT)を出力することができ、その時の排出量やコスト等が計算される。様々なシナリオを入力し、その影響を定量的に比較することで、脱炭素化を達成しつつ、産業に

とってより良い規制の設計や、代替燃料船導入の道筋を探索することが可能である。

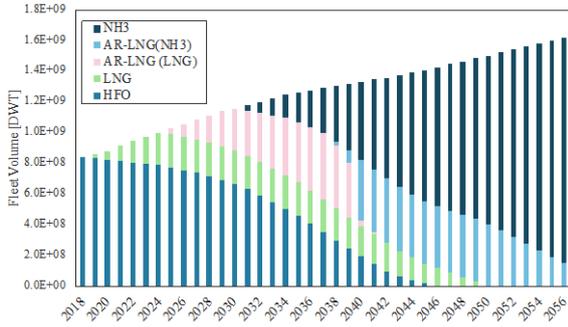


図-6 代替燃料船導入シミュレータの結果例

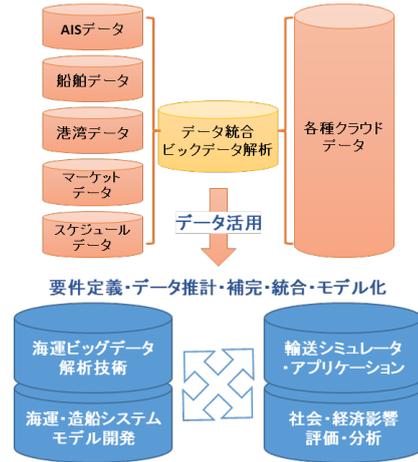


図-7 データ活用のイメージ

3. ビッグデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究

2023年度より7年計画で実施していく「ビッグデータの活用による輸送システムの高度化に関する研究」では、2022年度まで実施してきた研究開発を踏襲する形で、デジタル化の基盤となるデータに焦点を当て、輸送システムの高度化に資するための分析、可視化技術等の開発を行い、国・企業・業界団体等の経営判断、シナリオ分析や政策立案に活用できるような研究を推進していく予定である。本重点研究は、1.ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発、2.災害時輸送システムの評価・判断支援手法の開発、3.デジタルツイン統合システムの研究開発の3つの項目に分けている。各項目の概要について、以下に述べる。

3.1 ビッグデータと海運・造船に係る評価手法の開発

ここでは、海運・造船関連におけるデータ融合とモデル化とシステム設計、AI等評価手法の実装を行う。AISや船舶動静データ、マーケット関連の海運、造船に関わるビッグデータを活用した、データ融合と評価手法の実装により、国・企業・業界団体等におけるシナリオ分析や政策立案への活用を目標としている。本項目におけるデータ活用のイメージを図-7に示す。

これまでに、データ融合の手法に関連して、AIS等に基づく船舶動静データと貿易統計等に基づく貨物流動データをAIの手法等で融合する技術を作成した^{7,8)}。貿易統計では精度向上や国際輸送コストの推計手法の開発を行った^{9,10)}。これらの個々の手法に関して、AI実装に向けた手法の改良を行い、各種データの統合とビッグデータの解析を可能とする基盤構築を目指す。AIの手法は、この他にもAIS等から将来の海運市況^{11),12),13)}や船舶動静を予測する手法を作成している。これらの手法の改善も進めることで、ビッグデータの解析技術の実用化も目指す。また、モデル化とシステム設計に関しては、2.2節、2.3節に示した通り、国際海運のGHG削減の動向や規制の評価手法としての有用性を示している。これらのモデルとシステムは、今後、外部機関との連携やモデルの精緻化を通じて、意思決定支援ツールとしての更なる発展を

行い、国・企業・業界団体等での活用を目指す。

3.2 災害時輸送システムの評価・判断支援システムの開発

ここでは、災害時の輸送に関する評価、判断支援システムの開発を行う予定である。人の救助および物の輸送に焦点を当て、人の救助では、水害の孤立者を救助するシミュレータの開発を、物の輸送では、支援物資輸送の情報共有化等に寄与する緊急支援物資輸送システムの開発を行う。

水害の孤立者を救助するシミュレータは、2022年度までに開発した傷病者輸送シミュレータをベースにして、水害孤立者の救助に対応できるものを開発する。水害は、地震と違い、予兆を捉えて予警報の発令や避難誘導を初めとする被災回避行動を促すことが可能である。しかし、予警報の発令や避難誘導がされても、自宅にとどまったという回答が7割弱存在¹⁷⁾しており、予警報の発令や避難誘導等は必ずしも住民の被災回避行動に結びついていない現状がある。実際、令和2年7月豪雨では、発災後約8時間以内に313件の119番通報（救助要請）があり¹⁸⁾、水害救助の困難性を極めた。水害の場合、洪水ハザードマップの有効性が確認されており、総降水量が観測史上最大となったため氾濫した球磨川における浸水想定と浸水箇所との比較においても、浸水被害を比較的正確に予測¹⁹⁾している。そこで、水害救助シミュレーションにより、救助にどの程度時間を要するかを事前に把握することのできるシミュレータの開発を行う予定である。

物の輸送では、支援物資輸送の情報共有化等に寄与する緊急支援物資輸送システムの開発を行う。災害時の支援物資輸送では、被災による物資拠点の不足や地方自治体の物流ノウハウの欠如により、物資拠点に処理能力を超えた貨物が運ばれる事態が生じて支援物資の輸送に支障をきたす課題がある。特に大規模災害発生時における被災者への物資支援については、国は、被災都道府県からの要請を受けて、被災都道府県に対し物資を輸送・供給し、被災都道府県は、被災市町村へ物資を輸送・供給し、被災市町村が、それらを避難所に輸送し被災者に供給する体制となっている。そのため支援物資の輸送には、国、被災都道府県、被災市町村の情報共有に

加えて、輸送する物流事業者等との情報共有が必要不可欠となっている。そこで、2021年度より、支援物資輸送における課題の一つである関係者間のスムーズな情報共有のために、緊急支援物資輸送システムの開発（図-8）に取り組んでいる。現時点ではプッシュ型支援*1に対応したものになっているが、プル型支援*2へ対応する形でインターフェイス等を含めた改良を実施していく。さらに実効性を高めるために緊急支援物資輸送システムを活用した訓練等を定期的実施していく予定である。

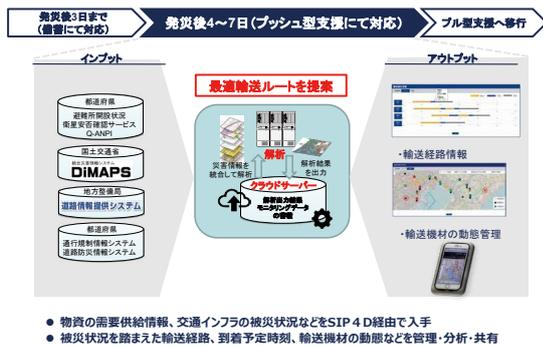


図-8 緊急支援物資輸送システムの概要

3.3 デジタルツイン統合システムの研究開発

本研究開発では、船体や主機等のデジタルツインのプログラム等の技術モジュールを統合して利用できるよう、統合システムの構築を目指して研究を行う。デジタルツイン統合システムの概念図を図-9に示す。システム統合化に向け、クラウドシステム利用を念頭に置いたデータ連携を図る。

中長期計画の前半では、主機特性、船体損傷リスク等を加味した運航支援システムの構築に向けた検討を行う。波浪統計データ及び波浪中周波数応答関数（RAO: Response Amplitude Operator）を軸としてデータ共有・統合化を図る。例えば、実海域推奨航路での遭遇波浪に基づいて、燃料消費量とエンジン負荷や船体疲労等との関係を調べて、推奨航路がエンジンの安定稼働や船体疲労損傷防止の観点においても有利かどうか評価する等の検討を行うことで各技術モジュールのブラッシュアップを図る。統合に必要な波浪統計データとして、当所で整備された GLOBUS²⁰⁾ を共通で用いる。また技術モジュールとして、個々の重点課題で開発された実運航性能シミュレータ VESTA²¹⁾ や荷重構造解析システム DLSA²²⁾ 等のプログラムを利用する。加えて、デジタルツインの特徴の一つである対象物挙動のリアルタイム再現技術を活用する事例として、船体構造や主機など船舶システムの統合異常診断システムの開発を図る。

中長期計画の後半には、設計・建造の技術モジュールとの統合化を検討する。最終目標として、船体、主機、運航、設計、建造によるデジタルツイン統合システムの開発を目指し、ゼロエミッション船等の次世代船を含む船舶の安全・安定運用の実現を図る。

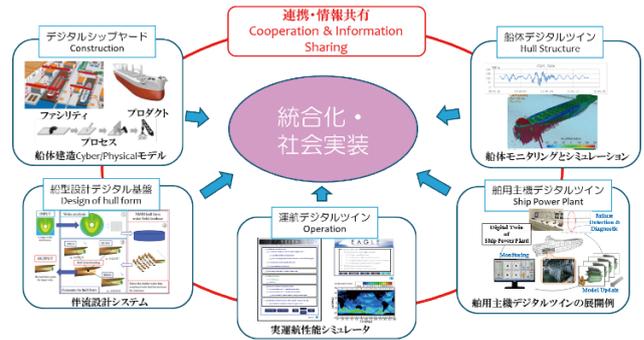


図-9 デジタルツイン統合システムの概念図

4. まとめ

本重点研究においては、ビッグデータの活用による輸送システムの高度化に焦点を当てた研究を進めていく予定である。近年の輸送システムはデータ無くしては語ることはできない重要なインフラの一つと言える。またデータのみでは新たな価値を見出すことは難しく、複数のデータを関係させるデータ融合、統合等を実施していくことで、個々の利用者の多様なニーズに、よりきめ細やかに対応した情報提供サービスの充実を図っていければと考えている。

補注

*1 国が被災都道府県からの具体的な要請を待たず、避難所避難者への支援を中心に必要不可欠と見込まれる物資を調達し被災地に物資を緊急輸送する方法のこと。

*2 プッシュ型支援と対照的に支援物資のニーズ情報をしっかりと捉え、ニーズに応じて被災地へ物資を供給する方法のこと。

References

- 1) Taro ARATANI, Keiji SATO, Takahiro MAJIMA: Comparison of Delay Characteristics for Freight Trains and Long-Distance Ferries, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.14, pp.896-904, Mar. 2022. <https://doi.org/10.11175/easts.14.896>
- 2) 松倉 洋史, 瀬田 剛広: ユニットロード貨物の陸海複合輸送シミュレーションを用いた施策評価手法の開発: 一内航輸送へのインセンティブ制度の評価一, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.23, pp.213-222, 2016. <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.23.213>
- 3) 松倉 洋史, 瀬田 剛広, 荒谷 太郎: 貨物自動車運転者の労働条件改善時におけるモーダルシフト進展評価, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.26, pp.225-235, 2017. <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.26.225>
- 4) 松倉 洋史, 荒谷 太郎, 間島 隆博: 南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用可能性評価, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.32, pp.219-230, 2020. <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.32.219>
- 5) 松倉 洋史: Deep Learning による輸出入海上コンテナ貨

- 物の輸送経路推定, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.32, pp.209-218, 2020. <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.32.209>
- 6) Yujiro Wada. et al : A system dynamics model for shipbuilding demand forecasting, *Journal of Marine Science and Technology* 23, pp.236-252, 2018.
 - 7) Hiroyuki KOSAKA, Takenori TEZUKA and Taro ARATANI: Development of an Estimation Method for Maritime Shipment Size in Iron Ore Trade, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.14(2022), pp.975-986
 - 8) Hiroyuki KOSAKA,: Imputation of Missing Data in Maritime Container Trade Data, 9th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2022), 2022.9.
 - 9) Hiroyuki KOSAKA,: Analysis of CIF/FOB Ratio in Reconciliation of Trade Statistics, International Association of Maritime Economists Conference 2022 (IAME 2022), 2022.
 - 10) Hiroyuki KOSAKA, Shigeru KASHIMA,: Estimating International Freight Flows and Transport Costs Based on Trade Statistics, International Association of Maritime Economists Conference 2017 (IAME 2017), 2017.
 - 11) 和田祐次郎, 平山大貴, 濱田邦裕, 渡邊大介, 五十嵐祐介, 間島隆博: 海上物流ビッグデータを用いた ケープサイズバルカー市況の予測に関する研究, *海運経済研究*, 第56号, (2022), pp.1-9.
 - 12) Yujiro Wada, Kunihiro Hamada, Hiroki Hirayama, Takahiro Majima, Daisuke Watanabe, Yusuke Igarashi, 2022, Development of a Shipping Market Forecasting System Using Vessel Movement Data and its Practical Application, *Proceedings of the 20th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding*, Yokohama, Japan.
 - 13) 和田祐次郎, 伊藤大河, 渡邊大介, 五十嵐祐介, 濱田邦裕: 海上物流ビッグデータを用いたパナマックスバルカー市況の予測に関する研究, 令和5年日本船舶海洋工学会春期講演会予稿集, 2023.6
 - 14) 間島隆博, 加納敏幸: 内航海運の船隊管理システムの開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, No.21 Page.ROMBUNNO.2015A-OS2-9, 2015.
 - 15) 荒谷太郎, 間島隆博, 小濱英司, 山田泉, 大矢陽介, 青山久枝, 松倉洋史: マルチエージェントシステムによる傷病者輸送シミュレータの開発, *土木計画学研究・講演集(CD-ROM)*, Vol. 62, ROMBUNNO.15-10, 2020.
 - 16) Shinnosuke Wanaka, Ryutaro Kakiuchi, Naoki Fujita, Kazuo Hiekata, Hiroyuki Yamato, Simulation Method of Fleet Transition Based on Technology, Economics, and Regulation Scenario for Decarbonization of Shipping, *Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding*, pp. 451-460, 2022.
 - 17) 中央防災会議: 「災害時の避難に関する専門調査会」第6回資料, 災害時の避難に関する検討課題, 2012.
 - 18) 人吉下球磨消防組合消防本部: 令和2年6月豪雨活動記録誌, 2020.
 - 19) 内山庄一郎, 檀上徹: 令和2年7月豪雨による熊本県人吉市および球磨村渡地区の洪水被害の特徴, *防災科学技術研究所調査速報* 2020年7月14日 Ver1.1, 2020.
 - 20) Tsujimoto, M., Matsuzawa, T. and Kume, Kenichi: Statistical Characteristics of Global Winds and Waves, *Proceedings of the Twenty-eighth International Ocean and Polar Engineering Conference*, pp. 379-386, 2018.
 - 21) 辻本勝, 粉原直人, 黒田麻利子, 櫻田顕子: 実運航性能シミュレータ VESTA, *海上技術安全研究所報告*, 第15巻, 第4号, 特集号, pp.55-65, 2016.
 - 22) 松井貞興他: 船体構造設計のための全船荷重構造解析ならびに強度評価システム DLSA-Basic の開発, *海上技術安全研究所報告* 第19巻第3号, pp.1-21, 2019.