

# 世界の海上コンテナ輸送市場における 予測モデルに関する研究

松田 琢磨

## 要 約

コンテナ輸送量や市況の需要側の予測では輸入国側の景気動向を参考指標として用いることがある。しかし、近年における経済成長に対するコンテナ輸送の対応の鈍化は輸入側の実質 GDP とコンテナ輸送量を結びつけるような比較的シンプルな予測モデルの在り方を難しいものになっている。著者が取り組んできた研究では、これまで多く用いられてきたデータや時系列分析の手法に加え、機械学習などのより新しい手法を用いて、実務者がコンパクトに使える、コンテナ輸送の荷動きや運賃を予測できるモデルを構築することを第一の目的にしている。この論文では、上記の研究目的に則した(1)荷動きに関する VAR モデルと(2)機械学習ベースのコンテナ運賃予測と時系列ベースの予測の比較について現在の状況を報告する。(1)の分析の結果、中国から輸出される貨物では、住宅関連製品の割合が高いため、建築許可件数の影響が大きく、その影響は14ヶ月と中国出荷の中では最も長い期間続くことが示されている。(2)の分析の結果、第一に、コンテナ市況の予測精度を向上させるという点で、洞察をもたらす知見を得た。第二に、対応するコンテナ船市場の運賃動向の理解に役立ち、海運部門における意思決定の合理性を高める点で有用性があることを示せた。第三に、運賃先渡契約やその他のリスクヘッジのための運賃デリバティブへの投資に対して有用な分析方法を提示できた。

キーワード：1. コンテナ輸送, 2. 時系列分析, 3. 機械学習, 4. コンテナ市場

## 1. はじめに

国際貿易や物流は世界経済と一体の発展を続けてきた。1990年から2018年まで、世界全体の GDP が3.6倍に増大したのに歩を合わせ海上輸送量(重量ベース)も42.9億トンから118.9億トンと2.8倍に伸長している。この中で大きな役割を果たしたのがコンテナ輸送の発達であった。

標準化された「箱」を使った海上輸送は19世紀からさまざまな形で行われてきた。しかし、現在の形でのコンテナ輸送が始まったのは1956年、本格的な普及は1960年代後半にISOで規格統一がなされたのちのことであった<sup>1),2)</sup>。国際規格が確立した頃からリース会社もコンテナを発注する

1) Rua, G., (2014) "Diffusion of Containerization", Finance and Economics Discussion Series 088, pp. 1-63.

2) Guerrero, D. and Jean Paul Rodrigue. (2014) "The Waves of Containerization: Shifts in Global Maritime Transportation", Journal of Transport Geography, 2014, 34, pp. 151-164.

ようになり、海上輸送のコンテナ化が進行した。

1990年代には海に面したほぼすべての国と地域にコンテナ港湾が整備された。普及の観点からは、コンテナ輸送は成熟期と言ってもいい時期を迎え、消費財や部品輸送における世界標準としての地位を確立した。一方で、1980年代以降、世界ではさまざまな自由化が進み、コンテナ輸送を含む交通部門でも自由化の進展とともに企業間の競争は激化し、技術的にも船舶の大型化が進み、IT化の進展がみられた。ハブ・アンド・スポークの輸送ネットワークが世界的に確立され、世界的なアライアンスを中心とした運営体制が構築されていったのも1990年代のことであった。

Rodrigue (2020) は、世界の実質経済成長率と世界の港湾におけるコンテナ取扱量（港で積み下ろしされたコンテナの数）の関係（TEU/GDP 乗数）をまとめている。この指標を参考に、1990年代以降のコンテナ輸送と世界経済の動向を見ることができる（図1）。

1990年代はコンテナ化の世界的な普及が完了し、世界的なサプライチェーンの構築が始まった時期であった。工程間分業やオフショアリングが進み、企業内貿易でもコンテナ輸送の活用が進んだ。1990年代半ばの大幅な円高の進行を受け、多くの日本の製造業企業が生産コストの低下を企図して賃金の低いアジア地域に生産拠点を移す動きを加速させた時期でもある。この時期、コンテナ海運会社は新しいサービスを提供し、港湾への投資も盛んとなり、先進国だけでなく東南アジアやラテンアメリカでもコンテナ貨物の取り扱いが伸長した。その結果、GDP1%の成長に対してコンテナ取扱量が4%以上伸びる関係がみられていた。

2000年代に入ってからこの関係は急速に強まった。TEU/GDP 乗数は2000年代まで3を超える年が続いた。この時期は中国が年10%に至る高度経済成長が続いており、中国から輸出される家具や家電など労働集約的な製品が大きく伸長した。輸入国である欧米でも経済成長がみられた。とくに米国では住宅バブルの時期に当たり、住宅投資が広範に実施されていた。住宅投資の高い伸びに加え、良好な雇用・所得環境と住宅価格の上昇などに支えられた消費拡大を通じて、堅調な経済成長が続いた。これに合わせて上海や天津、深圳など中国のコンテナ港湾の取扱量だけでなく、世界の大半の港でコンテナ取扱量が大きく増加した。

2000年代後半以降、TEU/GDP 乗数、すなわち経済成長に対するコンテナ輸送の感応度が小さ

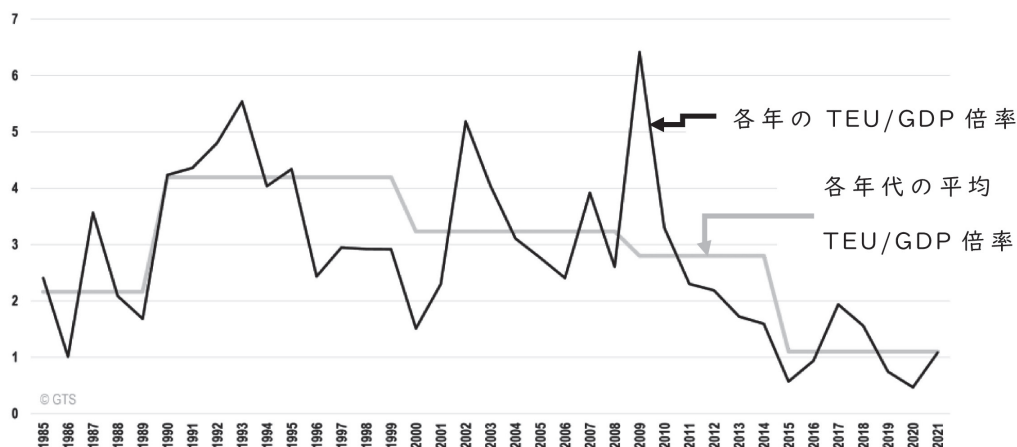


図1 世界の実質経済成長率に対する世界のコンテナ取扱量の成長率の倍率（TEU/GDP 倍率）

Source: Rodrigue (2020), The Geography of Transport Systems

くなっていることについては、グローバル化の波が一段落し、貿易量の増加率がGDPの成長率を下回るスロートレードが進行したことが影響したものと考えられる。加えて、コンテナ輸送が国際貿易の手段として成熟してきたことも理由に挙げられる<sup>3)</sup>。とくに先進国においてこの傾向は顕著であり、コンテナ輸送の未来に関するレポート (Fenton et al., 2018) でも図 1-1 と同様にコンテナ輸送の伸びが鈍化傾向にあることが示されている<sup>4)</sup>。

コンテナ輸送量や市況の需要側の予測では輸入国側の景気動向を参考指標として用いることがある。しかし、近年における経済成長に対するコンテナ輸送の対応の鈍化は輸入側の実質GDPとコンテナ輸送量を結びつけるような比較的シンプルな予測モデルの在り方を難しいものにしていく。

他にも、GDPとコンテナ輸送量の関係を使った予測には少なくとも三つの問題点が指摘できる。一つ目の問題は、GDPが財(モノ)に対する支出だけではなく、サービスへの支出も含まれることである。コンテナ輸送量が影響を受けるのは財に対する需要のみであり、GDPはサービスへの需要を含む分だけ、どうしても両者の関係は希薄化される。

二つ目の問題はコンテナ輸送のインバランスの問題から生じる問題である。米国からアジアなど荷物の少ない方面の航路では、インバランスを埋めるためにリサイクル品などさまざまな貨物を集荷するため、モノ需要以外の要因が関係する<sup>5)</sup>。そのため、これらの方面では輸送量とGDPの間の相関が弱まる傾向がある。

三つ目の問題は定常性の問題である。荷動き予測では一番シンプルなものとして、コンテナ輸送量 = 定数項 + 係数 × 輸入国の実質GDPの式が良く用いられる。しかし、コンテナ輸送量も実質GDPも基本的に時間に沿って増加するトレンドを持つ指標であるため、厳密にはこの関係をシンプルに用いることは望ましくない。

一方で海運会社が船舶をどう配分するかや、海運会社や物流会社や荷主企業が運賃交渉を行うために荷動き需要や市況の予測に対するニーズは高い。また、コンテナ輸送に関する予測は海運会社の株価予測にとっても有益な情報であるため、金融機関やシンクタンク、研究機関が輸送動向の予測を行っている<sup>6)</sup>。公共部門でもインフラ整備や環境対策を策定する上での基礎資料とするため、コンテナ輸送量の予測が行われることがある。

著者が現在従事している研究では、コンテナ輸送や市況の予測が複雑性を増すなか、近年における、AIS (Automatic Identification System; 自動船舶識別装置) ベースの船舶動静データをはじめとするビッグデータの精度向上を踏まえつつ、これまで多く用いられてきたデータや時系列分析の

---

3) Rodrigue, J-P and T. Notteboom (2015) "Looking Inside the Box: Evidence from the Containerization of Commodities and the Cold Chain", *Maritime Policy and Management*, Vol. 42, No. 3, pp. 207-227.

4) Fenton, C., Storrs-Fox, P., Joerss, M., Saxon, S. and Stone, M., (2018). "Brave New World? Container Transport in 2043", TT Club Report.

5) Matsuda, T., Hanaoka, S. and Kawasaki, T. (2020) "Cost Analysis of Bulk Cargo Containerization", *Maritime Policy & Management*, Volume 47, Issue 6, pp. 736-755.

6) たとえば、みずほ銀行や三井住友銀行は海運業界に関するレポートの中で毎年主要コンテナ航路輸送量の予測を発表している。

手法に加え、機械学習などのより新しい手法を用いて、実務者がコンパクトに使える、コンテナ輸送の荷動きや運賃を予測できるモデルを構築することを第一の目的にしている。さらに予測を通じて、世界各地で実行される国際物流施策が相互にどのような影響を及ぼしあうか、将来的な各地域における国際物流環境がどのように変化するかを分析することを目指している。この論文では、2つの研究内容について現在の状況を報告する。

## 2. 研究方法

### 2.1 荷動きに関する VAR モデル<sup>7)</sup>

主要航路のコンテナ輸送需要のモデル化には、経済指標が用いられているが、その指標がコンテナ移動需要に及ぼす影響の持続時間については体系的に検討されていない。研究上のギャップを埋めるため、この研究ではコンテナ移動量に大きく影響する重要な米国経済指標を特定し、影響する期間を実証的に明らかにする。そのために、アジア・米国間のコンテナ輸送量と経済指標の時系列データについて、ベクトル自己回帰 (VAR) モデルを適用して分析を実施した。

こちらの研究では、(a) コンテナ輸送量と、それに影響すると考えられる (b) 為替レート、(c) 景気先行指標総合指数、(d) 消費者信頼感指数、(e) 非農業部門雇用者数、(f) 失業率、(g) 製造業景気指数、(h) 建築許可件数、(i) 鉱工業生産指数、(j) ダウ・ジョーンズ工業株価平均の9つの経済指標について検討した。

### 2.2 機械学習ベースのコンテナ運賃予測と時系列ベースの予測の比較<sup>8)</sup>

こちらの研究では、上海航運交易所が発表している上海コンテナ運賃指数 (SCFI) のデータを研究対象とする。同交易所は、上海港から出発する13航路について、上海からの輸出運賃、より具体的にはコンテナヤード間のスポット運賃 (CIF: Cost, Insurance and Freight) を集めている。

また、この研究では SCFI を予測するため深層学習の一つである長短期記憶 (LSTM) 法と時系列モデルである季節自己回帰統合移動平均 (SARIMA) 法を比較している。深層学習は、人工ニューラルネットワーク (ANN) に関する機械学習のサブフィールドである。最も人気のある深層学習アルゴリズムには、畳み込みニューラルネットワーク (CNN)、再帰型ニューラルネットワーク (Recurrent Neural Network; RNN)、スタックオートエンコーダ (SAE) などが存在する。(2)の分析で用いる LSTM (Long Short Term Memory) は、RNN を改良したもので、時系列データの解析によく用いられている。

SCFI を研究対象に選んだ理由として、以下2つを挙げることができる。第一に、SCFI が世界のコンテナ貿易のうち、少なくとも一部分をカバーしている運賃指標であることである。また、SCFI は、最新の市場動向と供給と需要のバランスを反映するスポット市場を対象としており、一

7) 本研究の結果の詳細は以下の論文を参照。Kawasaki, T., Matsuda, T., Lau, J., Y-Y. and Fu, X. (2021) "The Durability of Economic Indicators in Container Shipping Demand: A Case Study of East Asia-US Container Transport", Maritime Business Review.

8) 本研究の結果の詳細は以下の論文を参照。Hirata, E. and Matsuda, T. (2022), "Forecasting Shanghai Container Freight Index: A Deep-Learning-Based Model Experiment", Journal of Marine Science and Engineering.

週間に一度と比較的高い頻度の典型的時系列データであり、分析に必要なデータへのアクセスがしやすい点も利点である。

第二に、これまで、コンテナ運賃を予測するためのモデルの適用が比較的限られていたことにある。時系列データの複雑性、不規則性、ランダム性、非線形性が高いため、従来の計量モデルでは満足のいく予測精度を得ることができない。とくに深層学習アルゴリズムを適用したコンテナ運賃の予測に関する研究はほとんど行われていない。

### 3. 研究成果

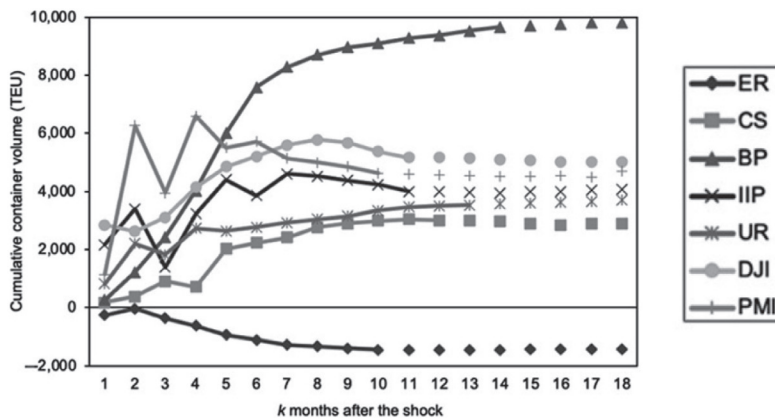
#### 3.1 荷動きに関する VAR モデル

ベクトル自己回帰 (VAR) モデルを用いて、東アジア積米国揚コンテナ荷動き量に対する経済指標の持続性について考察を行い、予測に役立てる。VAR モデルでは、被説明変数である  $t$  期のコンテナ荷動き量について、説明変数である  $t-k$  期における経済指標の影響を把握することができる。また、経済指標の荷動き量に対する持続性については、VAR モデルを用いたインパルス反応関数で特定できる。

分析の結果は以下の図 2 に示されている。なお、ER は各国通貨と米ドルの間の為替レート、CS は米国の消費者信頼感指数、米国の建築許可件数、IIP は米国の鉱工業生産指数、UR は米国の失業率、DJI はダウ平均株価、PMI は米国の購買担当者景気指数 (Purchasing Manager's Index) を指している。

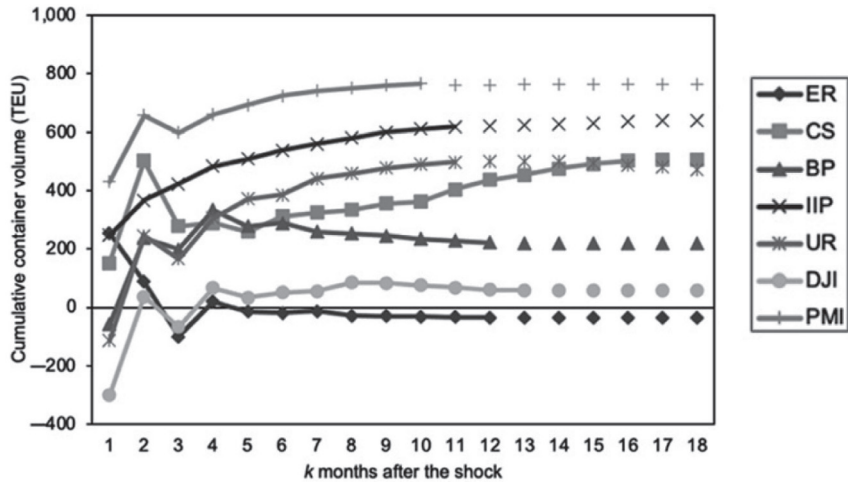
分析の結果、中国から輸出される貨物では、住宅関連製品の割合が高いため、建築許可件数の影響が大きく、その影響は 14 ヶ月と中国出荷の中では最も長い期間続くものであった。機械関連の輸送量が多い韓国と日本からの輸出については、両国の鉱工業生産指数と韓国の PMI が大きな影響を及ぼした。台湾からの輸出については、概して経済指標の影響が他国より小さかった。

これらの分析は、経済指標がコンテナ輸送に与える影響の持続性を明らかにする初めての試みであり、その結果は船舶の配船、メーカーの事業計画、運賃交渉など海運関連ビジネスにとってとく

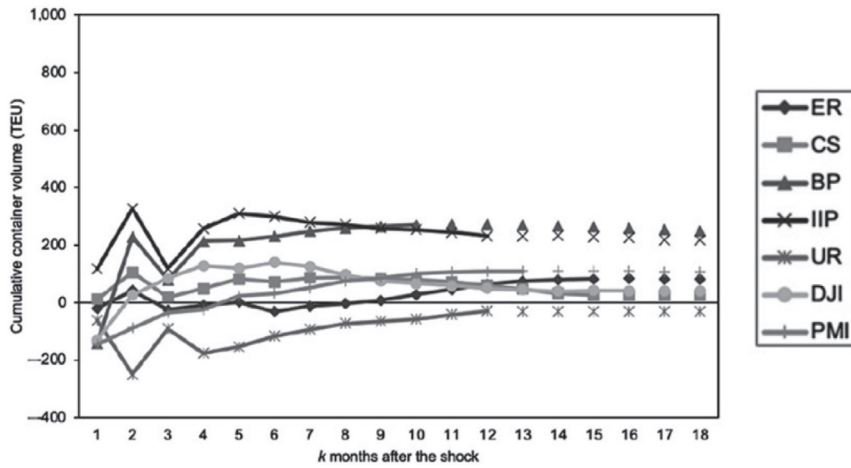


(a) 中国発米国向けコンテナ輸送

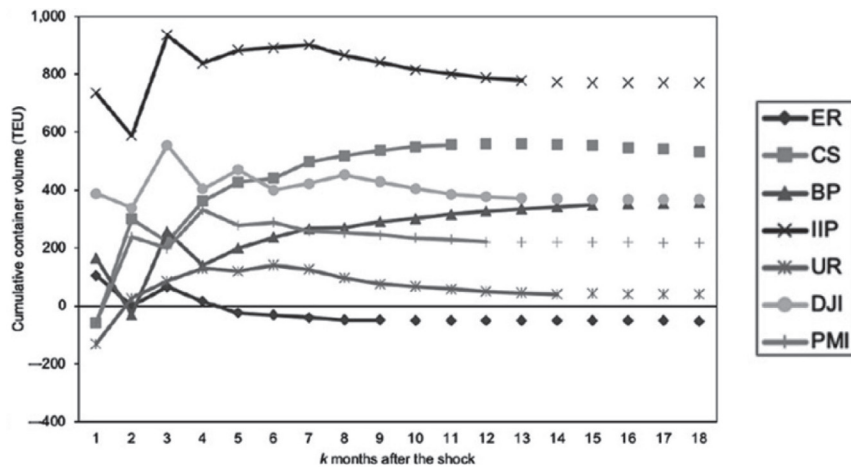
図 2 経済指標の変化による、(a) 中国に与える影響



(b) 韓国発米国向けコンテナ輸送



(c) 台湾発米国向けコンテナ輸送



(d) 日本発米国向けコンテナ輸送

図2 経済指標の変化による、(b) 韓国、(c) 台湾および (d) 日本発米国向けコンテナ輸送に与える影響

に貴重な情報となる。船会社にとっては、船舶の配船や投資ポートフォリオの方向性を示すために役立てることができる。たとえば、急な配船調整は難しくとも、(1)の結果を踏まえて、経済指標の変化による影響の持続性を前提にした適切な配船やスペースチャーターが可能である。輸出国のメーカーや輸入国の荷主も、経済指標の変化に応じて生産量を変更するための適切な意思決定を行うことができる。

ただし、本研究にはいくつかの限界がある。実際のコンテナ貨物輸送量は海運セクターによるサービス供給によって制約を受ける可能性があるためである。今後の課題として、配船計画（時期、隻数など）の意思決定モデルの開発が考えられる。また、収束条件には明確な基準がないため、本研究では、前月の荷動きの相対誤差を 0.01 未満とする誤差基準に基づいて収束条件を設定した。しかし、誤差基準の設定方法によって、収束値や持続性が異なるため、さらなる検討が必要である。また、(1)では、東アジアと米国間のコンテナ輸送に焦点を当てたため、異なる地域（東アジアやヨーロッパなど）に研究を拡張することができるだろう。

### 3.2 機械学習ベースのコンテナ運賃予測と時系列ベースの予測の比較

こちらの研究では、包括的かつルートベースの上海コンテナ貨物指数（SCFI）を予測するために、LSTM と SARIMA モデルを比較している。13 航路を貨物輸送量で加重平均した SCFI 総合指数の予測結果は図 3 (a) と図 3 (b) で示されている。一方で、ほとんどの航路において研究結果によると、ほとんどのデータセットで LSTM が SARIMA モデルの予測性能を上回った。とくに、南米向け航路と米国東海岸向け航路の指標で LSTM は SARIMA に比べて予測誤差を 85% も削減した。一方で、西日本向け航路や東日本向け航路では、SARIMA モデルの方が LSTM よりも予測性能が優れている。

この点は、以下のように説明できる。長距離航路は、輸送距離が長いことから比較的競争度合いが小さい。そのため、これらの航路では、多くの貨物が長期固定運賃で輸送され、残りの貨物がス



図 3 (a) SARIMA モデルによる予測

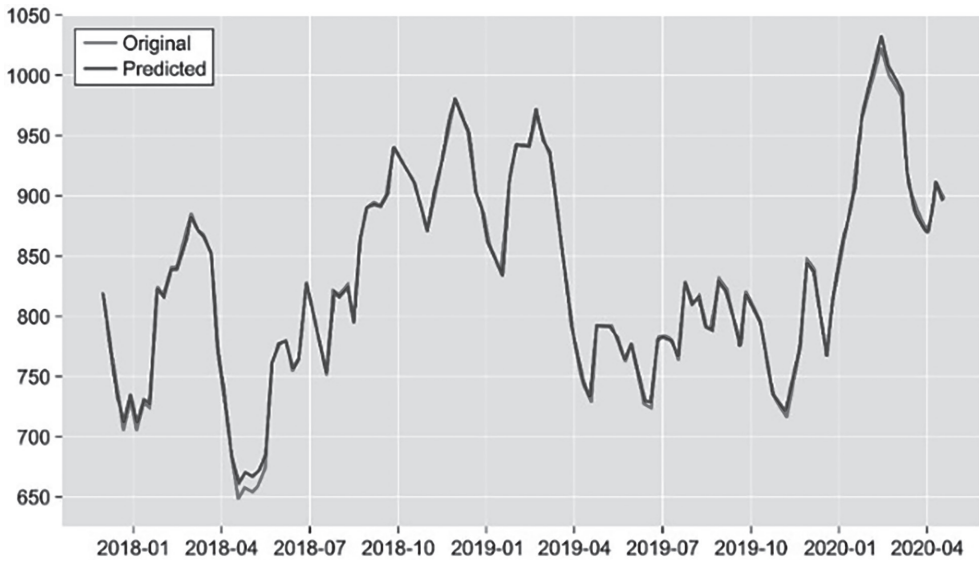


図3 (b) LSTMによる予測

ポット運賃で輸送されている。このことは、長期的な要因と短期的な要因の2つが、運賃市場の指標に影響を及ぼしていることを示している。LSTMは、年単位のような長期的な季節性と、週単位のような短期的な市況の両方のパターンを捉えることができる特徴を持っている。このことが、LSTMがSARIMAよりも長距離航路の予測に優れている理由になっていると考えられる。また、長距離航路の方が、航海に時間がかかる特性もあり、さまざまな要因の影響を受けやすい。そのため、長距離航路では長期記憶と短期記憶を併せ持つ深層学習ベースのアルゴリズムが適していると考えられる。

一方で近距離航路では韓国行航路ではLSTMを用いた場合の改善の度合いが小さく、西日本向け航路や東日本向け航路では、SARIMAモデルの方がLSTMよりも予測性能が優れている。短距離航路の場合、参加する船会社数が比較的多く、その中に比較的小規模な船会社もある。たとえば、2018年時点で、日本と中国を結ぶ航路には少なくとも40社、中国と韓国を結ぶ航路には少なくとも24社が存在していた。さらに、すべての航路で中国の国有海運会社が重要な地位を占めている。そのため、利益なしで輸送することもあり、運賃の中で最も基本かつ割合の大きいベースレートが0USDを下回ることも知られている。このような市場環境の違いが、SARIMAとLSTMの予測精度に影響を与えていると考えられる。

こちらの研究は、三つの主要な貢献をもたらした。第一に、予測精度を向上させる点で、洞察をもたらす知見を明らかにしたことである。第二に、対応するコンテナ船市場の運賃動向の理解に役立ち、海運部門における意思決定の合理性を高める点で有用性がある。第三に、運賃先渡契約やその他のリスクヘッジのための運賃デリバティブへの将来の投資に対する示唆を与えている点を挙げることができる。



## 謝辞

本稿は令和3年度拓殖大学経営経理研究所個人研究助成による研究成果の一部である。ここに記して拓殖大学経営経理研究所に謝意を表したい。

## 参考文献

- Fenton, C., Storrs-Fox, P., Joerss, M., Saxon, S. and Stone, M., (2018). "Brave New World? Container Transport in 2043", TT Club Report.
- Guerrero, D. and Jean Paul Rodrigue. (2014) "The Waves of Containerization: Shifts in Global Maritime Transportation", *Journal of Transport Geography*, 2014, 34, pp. 151-164.
- Hirata, E. and Matsuda, T. (2022), "Forecasting Shanghai Container Freight Index: A Deep-Learning-Based Model Experiment", *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 593.
- Kawasaki, T., Matsuda, T., Lau, J., Y-y. and Fu, X. (2021) "The Durability of Economic Indicators in Container Shipping Demand: A Case Study of East Asia-US Container Transport", *Maritime Business Review*, Vol. 7 No. 4, pp. 288-304.
- Matsuda, T., Hanaoka, S. and Kawasaki, T. (2020) "Cost Analysis of Bulk Cargo Containerization", *Maritime Policy & Management*, Volume 47, Issue 6, pp. 736-755.
- Rodrigue, J-P (2020), *The Geography of Transport Systems*, New York: Routledge.
- Rodrigue, J-P and T. Notteboom (2015) "Looking Inside the Box: Evidence from the Containerization of Commodities and the Cold Chain", *Maritime Policy and Management*, Vol. 42, No. 3, pp. 207-227.
- Rua, G., (2014) "Diffusion of Containerization", *Finance and Economics Discussion Series 088*, pp. 1-63.

(原稿受付 2023年6月21日)