

# AIS データを用いたコンテナ港湾の混雑分析と待ち行列モデルの構築

渋谷 圭悟<sup>1</sup>・渡邊 英介<sup>1</sup>・柴崎 隆一<sup>2</sup>・松田 琢磨<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 東京大学大学院 工学系研究科システム創成学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1) kei5-0216@g.ecc.u-tokyo.ac.jp; eisuke189@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京大学大学院 工学系研究科レジリエンス工学研究センター准教授 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1) E-mail: shibasaki@tmi.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 拓殖大学商学部 国際ビジネス学科教授 (〒112-8585 東京都文京区小日向3-4-14) E-mail: tmatsuda@ner.takushoku-u.ac.jp

本研究では、新型コロナウイルス流行の影響で港湾混雑が悪化した 2021 年の海上コンテナ定期輸送サービスに着目し、はじめに船舶寄港履歴データとコンテナ定期航路サービスデータより 2021 年にサービスの定時性が悪化したことを示した。さらに Los Angeles 港を対象に、AIS データおよび米国税関データにより単位時間あたりのコンテナ処理数が 2021 年の後半に特に悪化したことを示した。また、分析結果をもとに 2021 年の Los Angeles 港の港湾混雑を再現する待ち行列モデルを構築し、沖待ち船舶数の推移のシミュレーションを行い、概ね良好な再現性を有することを確認した。さらに、沖待ち時間を発生させる原因を整理するために重回帰分析により沖待ち時間算出関数を導出した。

**Key Words:** port congestion, waiting offshore, queueing model, container shipping, AIS, PIERS, MDS, Port of Los Angeles

## 1. はじめに

近年、経済成長とグローバル化に伴って国際貨物輸送の重要性は高まっている。海運は全世界の輸送の 80% 以上を担っており、中でも海上コンテナ輸送は産業製品や原材料の国際輸送において重要な役割を担っている。一方で、海上コンテナ輸送定期航路サービスは、頻繁に遅延を発生させることがかねてから問題視されてきた。遅延の原因は多岐にわたり、悪天候や港湾での事故、機器の不良、海賊行為の影響、混雑などが挙げられ、およそ 70-80% の船舶が少なくとも 1 港湾以上で遅延を引き起こすともいわれている<sup>1)</sup>。

海上コンテナ輸送定期航路サービスは、航路に投入されている船舶が一定間隔で航行することで十分な輸送量を確保する特性上、輸送遅延によるスケジュールの遅れを取り戻せない場合には、船舶を追加的に就航させない限りサービスの就航頻度が低下し、船腹量が低下してしまう。2020 年初頭に発生した新型コロナウイルス感染症の流行以降、海上コンテナ輸送の遅延が悪化した。特に、北米航路において新型コロナウイルス感染症下での海上

輸送の遅延は顕著であり、アメリカ西海岸の Los Angeles 港や Long Beach 港では、多くの船舶が港に入港できない「沖待ち」状態が大規模に発生した。図-1 にアジア～北米航路東航の定時到着率の推移を示す。図より、2020 年中旬ごろから西岸向け、東岸向けいずれの航路でも定時到着率が減少していることが読み取れる。

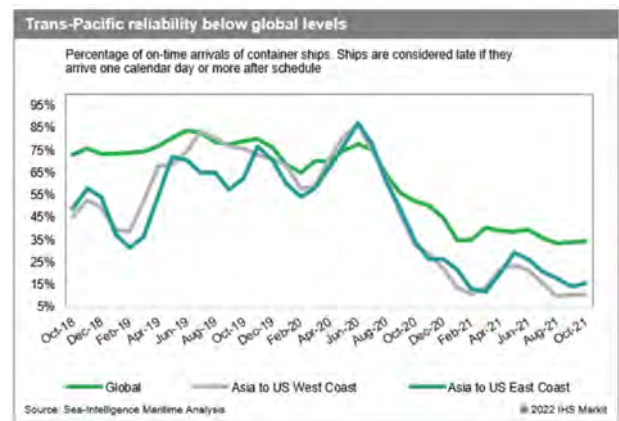


図-1 北米往航の定時到着率の推移  
出典：IHS Markit

遅延拡大の主な背景には、2020年後半以降の欧米における急激な消費需要の拡大、新型コロナウイルスの感染拡大による港湾機能の停滞、および労働力不足からくる内陸輸送の停滞、新造コンテナの不足などが挙げられている<sup>2,3)</sup>。

海上コンテナ輸送の世界的な重要性から、その輸送遅延の現状を分析する研究が行われてきた。特に、各港湾におけるコンテナ輸送の遅延に関する研究に関しては、船舶自動識別装置 (AIS) データの発展により船舶運航記録のデータを用いて分析を行う研究例が存在する<sup>4)</sup>。高ら<sup>5)</sup>は、AIS データから得られる船速と緯度経度の情報を用いて沖待ち船舶を特定する手法を考案し、大阪湾における沖待ち船舶の実態を定量的に分析した。赤倉ら<sup>6)</sup>は、日本～欧米航路の海上コンテナ輸送サービスの所要時間の変化を、新型コロナウイルス流行前後で比較し、北米・欧州港湾における沖待ちやターミナル滞留時間の増加がサービス全体の所要時間の増加につながったことを指摘した。赤倉・高橋<sup>6)</sup>は、AIS データを用いて世界の港湾のコンテナターミナルにおける遅延を引き起こす船舶の沖待ちを把握する手法を提案し、バース占有率の増加が沖待ち時間の増加の原因となることを明らかにした。Salleh et al.<sup>7)</sup>は、諸条件を基にコンテナ船の出発・到着の定時性を予測し、定時到着率は港湾や船舶の状況、各エージェントの業務効率性、前港湾の出港定時性等の多くの要因に依存すると結論付けた。さらに、Feng et al.<sup>8)</sup>、Martinčić et al.<sup>9)</sup>、Chen et al.<sup>10)</sup>では、AIS データから各船舶の航行状態を抽出することで、港湾の稼働率や待ち時間を測定する指標を構築した。これらの研究では、AIS データを用いて船舶の待ち時間を分析しているものの、その原因に関する議論は含まれない。これは、AIS データには積載貨物の情報や港湾における荷役情報は含まれないことから、港湾起点の混雑の要因として挙げられる陸上輸送やバースにおける荷役などを考慮した分析を行うことができないためである。一方で、このような貨物情報を起点にした分析としては税関における貿易データを用いた研究例が存在する。船舶情報と貨物情報を統合して分析を行う研究例は少ないものの、Clark et al.<sup>11)</sup>は、アメリカの税関における船荷証券データと船舶の到着記録を統合したデータセットを用いて、品目別に輸送不確実性を検証している。

さらに、上記のような港湾混雑に伴う輸送遅延の定量的な分析の研究に加えて、待ち行列理論を実際の港湾に適用することで港湾混雑をモデリングする研究例が存在する。待ち行列理論は、混雑現象を分析する際に用いられ、平均待ち時間や待ち行列長などの重要な指標を推定する際に用いられる。El-Naggar<sup>12)</sup>は、待ち行列モデルをエジプトの Alexandria 港に適用し、港湾の総費用を最小にする最適なバース数を分析し、33 バースが最適であ

ることを示した。Oyatoye et al.<sup>13)</sup>は、ナイジェリアの Tin Can Island 港に待ち行列モデルを適用することで港湾混雑を分析し、同港が十分なバース数を保有していることを示した。さらに港湾混雑に関わるステークホルダーへのインタビューを通じて、混雑の改善には通関手続きや内陸輸送網の拡充が必要であることを示した。Saeed and Larsen<sup>14)</sup>は、フィリピンの Manila 港に待ち行列モデルを適用し、同港のバース数が適切であることを示した。これらの研究では、バース数や港湾オペレーションに関して各港湾の実際のデータを使用することで、現実に即した待ち行列モデルを構築して混雑の分析を行っている。ただし、世界におけるサプライチェーンの混乱の発端の一つとなった、2021年の Los Angeles 港に混雑の悪化に関連して待ち行列モデルを適用した研究例はこれまでのところみられない。

このような背景から、本研究は、はじめにコンテナ船の寄港履歴データ (LLI データ) とコンテナ定期輸送サービスデータ (MDS データ) を組み合わせることで、サービスごとのコンテナ船到着時間帯のばらつきを計測し、2021年に新型コロナウイルス流行の影響で港湾混雑が悪化し定航サービスの定時性が悪化したことを示す。さらに、Los Angeles 港を対象に、AIS データと米国税関データ (PIERS データ) を使用し船舶の運航記録と積載貨物の情報を統合することで、単位時間あたりのコンテナ処理数が 2021 年の後半に特に悪化したことを示す。最後に、これらの分析結果を踏まえ、2021 年における Los Angeles 港の港湾混雑を再現する待ち行列モデルを構築し、構築したモデルを用いてシミュレーションを行い、港湾混雑に伴う沖待ち時間を増加させる要因を分析する。このようにして沖待ち時間を推定する関数を導出することができれば、Shibasaki et al.<sup>15)</sup>のようなコンテナ輸送経路選択モデルにおいても沖待ち時間を考慮した混雑項を導入でき、より現実に即したシミュレーションが可能となる。

## 2. 船舶寄港履歴データを用いた定航サービススケジュールの混乱に関する分析

### (1) 分析の概要および使用データ

本章では、船舶の寄港履歴が収録されている LLI データと海上コンテナ定期輸送サービスの情報が収録されている MDS データの 2 種類のデータを用いて、両者を各船舶に固有の IMO 番号によりマッチングすることで、各サービスにおける各寄港地への寄港時刻のばらつきについて整理する。以下で各データの概要について述べる。

#### a) LLI データ

LLI データは、Lloyd's List Intelligence 社が提供する船舶

の寄港地とその到着・出発時刻等を含む寄港履歴データで、100年以上の歴史を有するデータであるものの、最近には主に後述のAISデータを元に作成されている。本研究では、全世界に現在就航する10,730隻のコンテナ船を対象に、2019年および2021年の各1年間の寄港履歴データ（寄港地ごとの到着時刻および出発時刻）を収集した（データ総数：1,235,248行）。

b) MDS データ

MDS Transmodal社が提供するMDS Containership Databank（以下MDSデータ）は、海上コンテナ定期輸送サービスに関するデータベースであり、各コンテナ船について就航しているサービスやその航路、運航船社などの情報が含まれる。ただし、各寄港地の到着予定時刻などスケジュールに関する情報は含まない点に注意が必要である。本研究では2019年8月（9,139隻2,434サービス）と2021年8月（9,183隻2,436サービス）のデータを用いた。

(2) 基幹航路を対象とした分析

本研究では、LLIデータの寄港履歴とMDSデータをIMO番号で紐づけし、MDSデータにおける定航サービスの情報に基づき、各サービスの寄港地ごとに、当該サービスに就航する各コンテナ船の実際の到着曜日と時刻

（現地時刻）をLLIデータより抽出した。

分析の一例として、ある振り子航路（欧州～アジア～北米西岸）サービスについて、寄港地ごとの到着時間帯の分布を図2に示す。グラフの横軸の数字は0が月曜、1が火曜、2が水曜、3が木曜、4が金曜、5が土曜、6が日曜に対応しており、各日を6時間ごと（0:00~5:59, 6:00~11:59, 12:00~17:59, 18:00~23:59）に区切った1週間計28の時間帯において、就航コンテナ船の1年間の到着回数を表している。一般に、ある定航サービスは毎週特定の曜日に同じ港湾に到着する運航スケジュールとなっており、スケジュールに乱れが生じていない限りは、同一サービスの船舶が特定の港湾に到着する時間帯分布は1つのピーク（もしくは同じサービス内で同一の港湾に複数回寄港する場合は、その回数分のピーク）に収まることが期待される。図より、このサービスについては2019年の到着時間帯は比較的ピークが明瞭であるのに対して、2021年ではどの港湾についても到着時間帯が分散していることが読み取れる。このことは、図中の東京港、シンガポール港以外の港湾について、2019年の分布の尖度が2021年の分布よりも大きいことから確認できる。すなわちこの結果より、2021年の方が定航サービスの運航スケジュールが乱れている傾向にあることを示唆している。

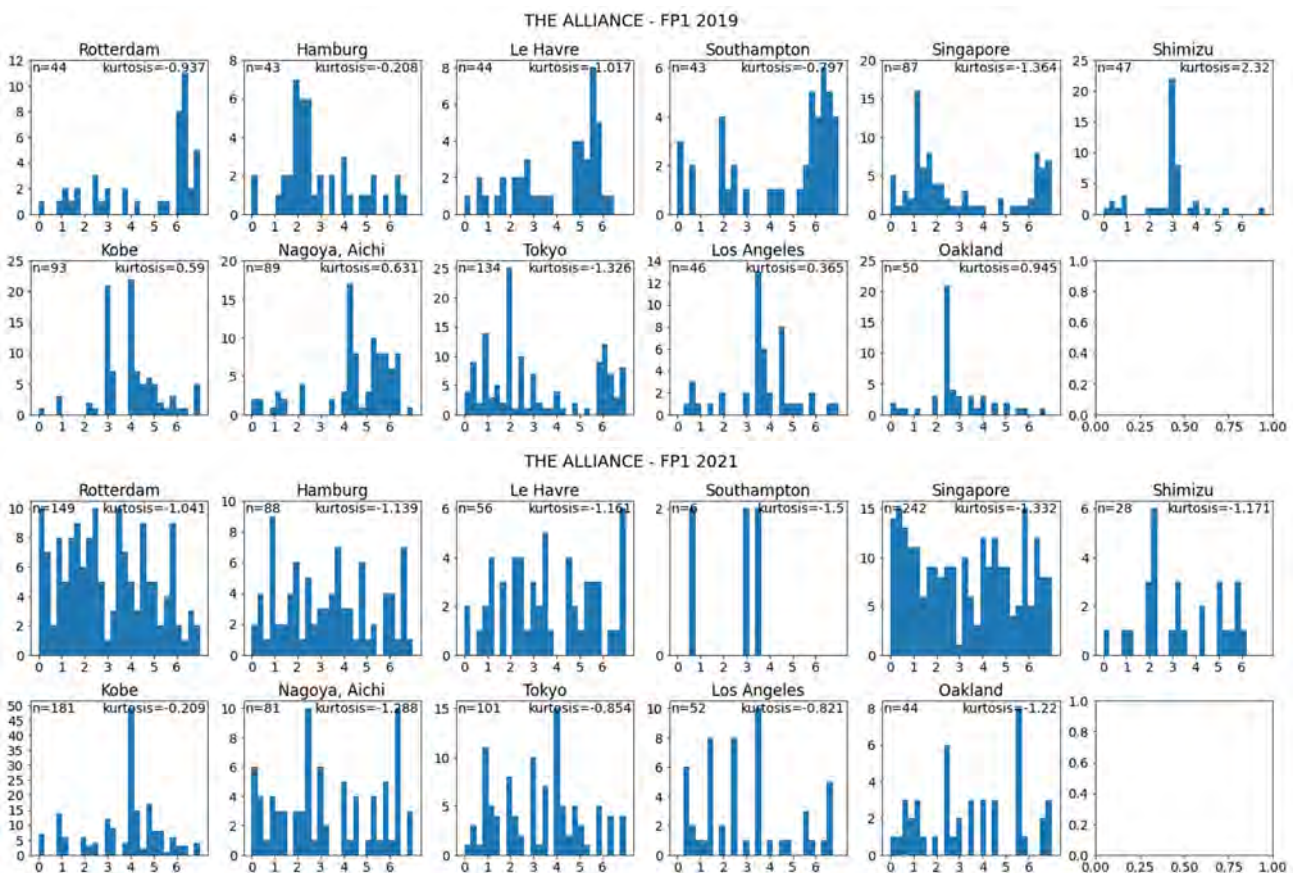


図-2 THE ALLIANCE - FPI サービスに就航するコンテナ船の各港湾における到着時間帯の分布

（出典：LLIデータ、MDSデータより筆者ら作成）

図-3 に、同様に両年に共通して MDS データに含まれる 118 の基幹航路サービス（アジア～北米，アジア～欧州，北米～欧州）の各港湾における到着時間帯分布の尖度の分布を示す。2019 年では尖度の平均値は 1.19，中央値は 0.202 であり，2021 年では平均値は -0.926，中央値は -1.17 である。2 群の中央値をマンホイットニー U 検定で比較すると，両群間に有意差があり ( $p = 3.24 \times 10^{-70} < 0.05$ )，2019 年の方が 2021 年よりも尖度の中央値が有意に大きく，曜日の周期性（横軸の左端と右端が連続する）を考慮していないという点で課題があるものの，基幹航路全般として 2021 年の方が運航スケジュールが乱れる傾向にあったことが確認された。

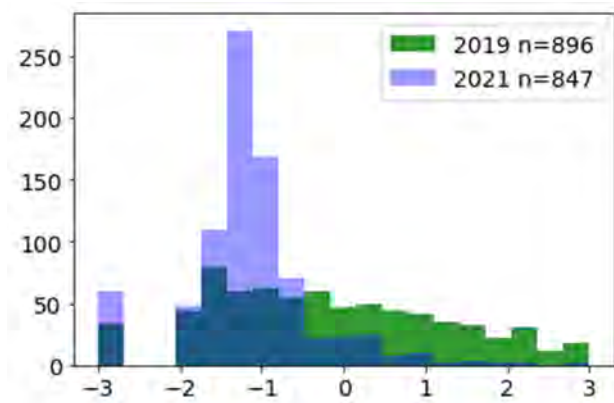


図-3 基幹航路サービスを対象とした各寄港地へのコンテナ船の到着時間帯分布の尖度の分布  
(出典：筆者ら作成)

### (3) Los Angeles 港および Long Beach 港に寄港するサービスを対象とした分析

次に，Los Angeles 港および Long Beach 港の 2 港に注目して，同様の分析を行う。図-4 に寄港地に Los Angeles 港または Long Beach 港を含むサービス（2019 年：45，2021

年：53）のうち，就航コンテナ船舶数の多い上位 6 サービスについて，両港におけるコンテナ船の到着時間帯分布を示す。横軸の左端と右端が連続する時間帯であることを考慮すれば（THE ALLIANCE-AL5 が該当），2 港に限定していても 2021 年は 2019 年に比べて到着時間帯が分散していることが確認される。図-5 に，同 35 サービスに従事するコンテナ船の両港における到着時間帯分布の尖度の分布を，2019 年と 2021 年について比較する。両者の尖度分布の中央値をマンホイットニー U 検定で比較すると，両群間に有意差があり ( $p = 2.38 \times 10^{-6} < 0.05$ )，2019 年の方が 2021 年よりも尖度の中央値が有意に大きいことが確認された。一方で，次章で区分する 2021 年の 8 月以前と 9 月以降にわけて時間帯分布の尖度を比較すると，有意水準 5% でみると両群間に有意差はなかった ( $p = 0.0694 > 0.05$ )。

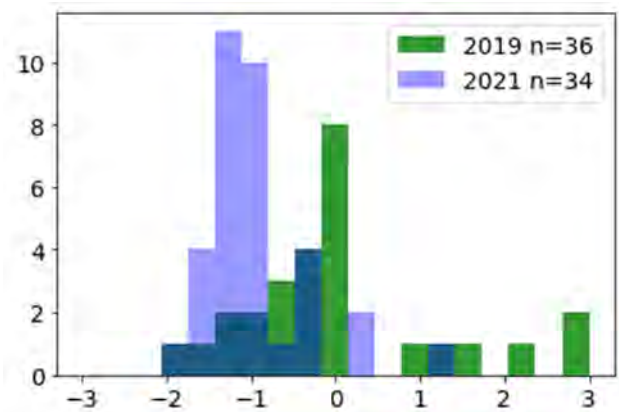


図-5 Los Angeles 港および Long Beach 港寄港サービスを対象としたコンテナ船の到着時間帯分布の尖度の分布  
(出典：筆者ら作成)

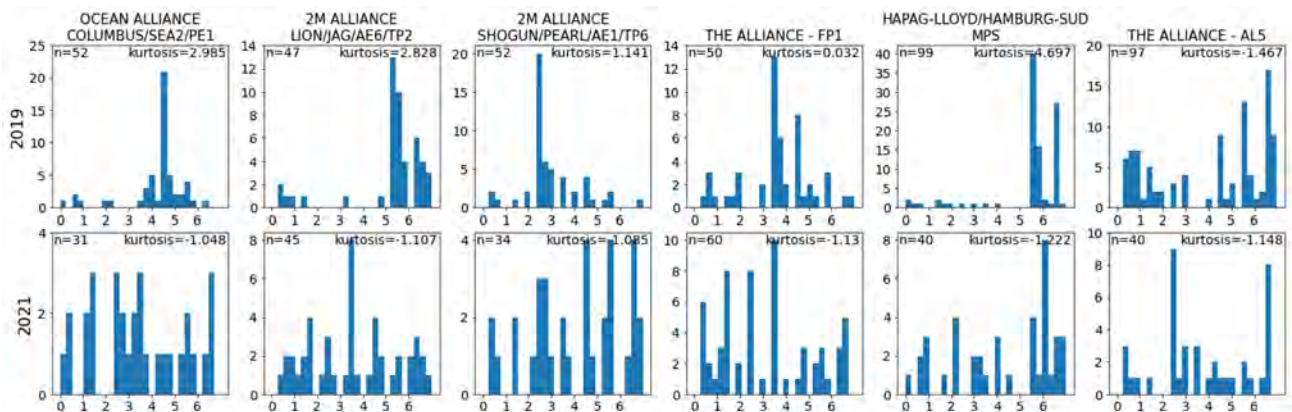


図-4 Los Angeles 港および Long Beach 港における定航サービスの到着時間帯分布  
(出典：LLI データ，MDS データより筆者ら作成)

### 3. AIS データと米国税関データによる Los Angeles 港の混雑分析

#### (1) 使用データ

本章では、主に AIS データと PIERS データの 2 種類のデータを用いて、前章と同様に両者を IMO 番号によりマッチングすることで、船舶の航行データと米国税関データを紐づけた分析が可能となる。以下で各データの概要を述べる。

##### a) AIS データ

AIS (Automatic Identification System) は、船舶の衝突回避と運航の安全性の向上を目的として搭載され、超短波を通じて船舶の動静データをリアルタイムに記録することが可能である。国際海事機関では、国際航海に従事する 300 総トン数以上のすべての船舶、すべての旅客船、国際航海に従事しない 500 総トン以上の貨物船に対して、AIS の搭載が義務化されている。そのため、AIS データは全世界を航行する船舶の航行データを広くカバーしたビッグデータといえる。本章および次章の分析では、2021 年の 1 年間に Los Angeles 港に寄港したコンテナ船 375 隻について、同期間の AIS データ (総数: 12,967,765) を使用する。

##### b) PIERS データ

The Port Import/Export Reporting Service (PIERS) データ<sup>16)</sup>は、アメリカ合衆国の税関における船荷証券 (B/L) の電子データベースである。船荷証券は、荷主と船会社が備品運送契約を結んだ際の証拠書類として発行され、貨物の受取証、引換証、有価証券、流通証券としての性質を持つ。PIERS データでは、各契約に船会社名、船荷証券番号、荷送人、荷受人、着荷通知先、荷受地、本船名、船積港、荷揚げ港、荷渡し地、品目、貨物量などのデータが得られる。なお、PIERS データからは実入りコンテナの情報のみが得られる。本研究では、2021 年 1 月 1 日から 2021 年 12 月 31 日までの 1 年間に米国を発着したコンテナ貨物の船荷証券データ (輸出 3,355,234 件、輸入 13,924,140 件) を収集した。

#### (2) 分析手法

##### a) 港湾滞在・入港状態の抽出

AIS データの中から、2021 年に Los Angeles 港周辺に滞在および入港状態にある船舶のデータを抽出する。本研究では、以下の 2 つの条件を同時に満たした AIS データを、それぞれ「港湾滞在状態」「入港状態」とみなした。すなわち、1) AIS データに記載の緯度経度が「沖待ち判定エリア」または「入出港判定エリア」内に存在すること、および 2) AIS データの Destination の値が Los Angeles 港となっていることの 2 条件である。

沖待ち判定エリアは、Los Angeles 港を中心とした半径

70km の円状に設定した。これは、2021 年後半に Los Angeles 港および Long Beach 港における沖待ちが深刻化したことで、2021 年 11 月に Los Angeles 港および Long Beach 港近辺での沖待ちを禁止する Pacific Maritime Management Services (PacMMS) 法が施行されたことを考慮したためである。図-6 に、本研究で設定した沖待ち判定エリアおよび入出港判定エリアを示す。なお、本研究では、船舶が移動して場所を変えつつ沖待ちを継続した場合に、沖待ち期間を分割して計上してしまうことを避けるため、既往研究 (高ら<sup>5)</sup>, Feng et al.<sup>8)</sup>, Chen et al.<sup>10)</sup> の手法と異なり、船速は使用せず船舶の緯度経度情報のみで船舶の航行状態を判定した。

以上の抽出の結果、対象期間で 2,296 回の沖待ち (または通過) と 917 回の入港が抽出できた。そのうち、沖待ちと入港の対応が可能なペアが 782 ペアであった。対応には、IMO 番号の一致と日付の一致を基準として用いた。上記の抽出方法では、沖待ち判定エリアや入出港判定エリアの境界線を行き来するような船舶を複数回計上してしまうため、対応可能なペアが減少した。

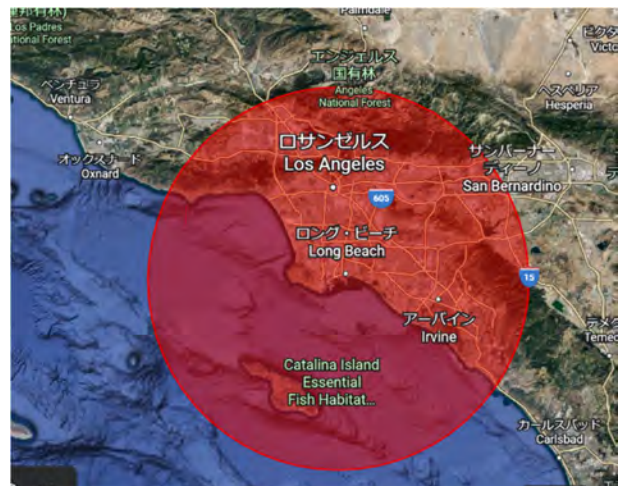


図-6 沖待ち判定エリア (上) と入出港判定エリア (下)

出典: Google Earth 上で筆者ら作成

b) AISデータとPIERSデータのマッチング

AIS データと PIERS データは、IMO 番号をもとに船舶単位で紐づけることができる。ただし、同一船舶が複数の寄港地を循環しながら貨物を輸送するという海上コンテナ輸送の特性上、船舶のマッチングに加えて寄港日付のマッチングが必要となる。しかし、船舶が港の埠頭に着岸していた期間と、船荷証券上の到着日は必ずしも一致しない。そこで本研究では、AIS データと PIERS データの IMO 番号が一致していることに加えて、以下の条件を満たす AIS データと PIERS データのペアをマッチング可能とみなした。

輸出貨物に関しては、PIERS データ上の Departure Date が、AIS データ上の入港 48 時間前から AIS データ上の出港 48 時間後までの期間に含まれることを条件とした。一方、輸入貨物に関しては、PIERS データ上の Arrival Date が、AIS データ上の沖待ち開始 48 時間前から AIS データ上の出港 48 時間後までの期間に含まれることを条件とした。輸入貨物の方がマッチング可能な期間を広くしたのは、入港した日付ではなく沖待ちエリアに到着した日付を Arrival Date として記録することがあるためである。以上のマッチングを行った結果、a)で抽出した 782 回の入港のうち、731 回について PIERS データをマッチングすることができた。この減少は、PIERS データの IMO 番号が一部欠落していたためである。各処理と残ったデータ数を表-1 に示す。

表-1 本研究の分析対象とした Los Angeles 港入港データ

	データ数	割合
抽出した着岸数	917	-
着岸マッチング不可	135	14.7%
PIERS マッチング不可	51	5.6%
残った使用可能データ	731	79.7%

出典：筆者ら作成

(3) 分析結果

図-7に、2021年の各日における Los Angeles 港の沖待ち判定エリア内に滞在した船舶数と平均滞在時間の推移を示す。図より、滞在船舶数は2021年2月ごろに一度上昇し、5月ごろにかけて減少したのち、2021年9月から11月上旬にかけて大きく増加したことが読み取れる。さらに、平均滞在時間は、2021年9月から12月前半にかけて増加したことが読み取れる。なお、2021年11月後半以降に滞在船舶数は減少している。これは、前述した PacMMS の影響で、Los Angeles 港の近隣での沖待ちを避け、沖待ち禁止区域外で減速航行することによって到着時刻を調整する船舶が増加したためと考えられる。なお、11月下旬以降は、①滞在船舶数が少なく1隻あたりの滞在時間が平均に強く反映されることに加え、②本分析に

おいては 2021 年の 1 年分のデータを用いていることから、2021 年から 2022 年にかけて年を跨いで沖待ちをしている船舶の沖待ち時間が小さく計上されること、の 2 点から平均滞在時間が激しく変動している。



図-7 Los Angeles 港の沖待ち判定エリアに滞在した船舶数 (上) と平均滞在時間 (下) の推移 (2021 年)

出典：AIS データより筆者ら推計



図-8 Los Angeles 港の入出港判定エリア内の平均滞在時間 (上) と 1 時間あたり平均コンテナ処理数 (下) の推移 (2021 年)

出典：AIS データおよび PIERS データより筆者ら推計

図-8に、2021年の Los Angeles 港の入出港判定エリアにおける 1 隻あたりの平均滞在時間、および PIERS データから得られる各船舶の積卸貨物量 (TEU) をもとに推計した 1 時間あたり平均処理コンテナ数の推移を示す。なお、PIERS データは空コンテナを含まないため、実入りコンテナのみを対象とした値となっていることに注意が必要である。図より、2021年9月頃から荷役時間が増加し、1時間あたりコンテナ処理数は減少したことが読み取れる。これが滞在船舶数が増加した時期とも一致していることも踏まえると、2021年9月頃から港湾における1時間あたりコンテナ処理数が減少した結果、各船舶の荷役時間が増加し、港湾混雑が発生したことが示唆される。なお、2021年12月後半に荷役時間が大きく減少しているのは、前述の通り2021年から2022年にかけて年を跨いで沖待ちする船舶の滞在時間が過小に計上されるためである。

次に、北米アジア航路の輸送量の中で大きなシェアを占める中国発着貨物に着目し、図-9に、2021年の Los Angeles 港に寄港したコンテナ船に積載された貨物に占める中国発着貨物の割合の推移を示す。なおここでは、AIS データにマッチングした PIERS データの出発地情報をもとに、積載貨物を発着国別に集計した。図より、2021年9月以降、3200~5000 TEU および 1000~3200 TEU の船舶において、中国発着貨物の割合が増加していることが読み取れる。この結果は、2021年月中旬から増加した中国発着貨物の輸送需要を賄うために、中小船社が参入して 5000 TEU 以下の船舶がアジア航路に追加配備されたことを反映している。さらに、図-10 に示す Los Angeles 港における船舶サイズごとの1時間あたりコンテナ処理数より、小型船ほど1時間あたりコンテナ処理数が小さいことが読み取れる。これは、大型船の場合、複数のクレーンを同時に投入して荷役を行うことができるためと考えられる。これらより、2021年月中旬以降アジア~北米航路で処理効率の低い 5000 TEU 以下のサイズの船舶が増加したために、港湾全体の荷役効率が影響を受け、結果として Los Angeles 港における港湾混雑が悪化した可能性が示唆される。

以上の本章の分析で得た知見を活かして、次章で Los Angeles 港の混雑を再現する待ち行列モデルを構築する。分析結果を踏まえて、「到着する船舶のサイズの変化」、「バースにおける1時間あたりコンテナ処理数の変化」が沖待ちを引き起こす主な要因であると想定し、それぞれの要素をモデル内で表現することにした。

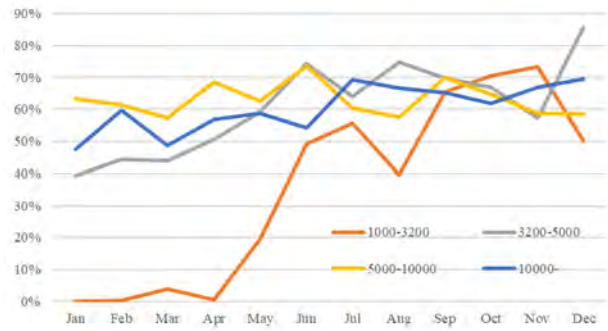


図-9 Los Angeles 港に寄港したコンテナ船に積載された貨物に占める中国発着貨物の割合の推移 (2021年)  
出典：AIS データおよび PIERS データより筆者ら推計

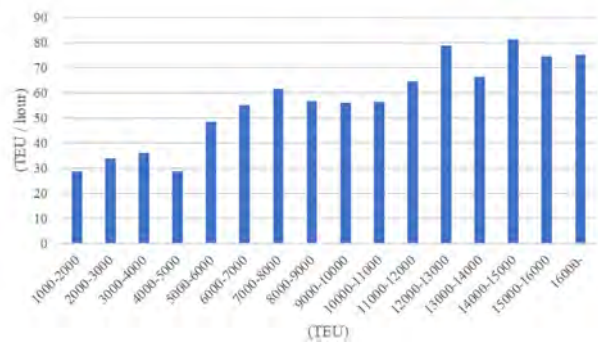


図-10 Los Angeles 港における船舶サイズごとの1時間あたりコンテナ処理数 (2021年)  
出典：AIS データおよび PIERS データより筆者ら推計

#### 4. 待ち行列モデルを用いた Los Angeles 港の混雑を再現する離散イベントシミュレーション

##### (1) Los Angeles 港のコンテナターミナルとバース

北米最大のコンテナ港湾である Los Angeles 港は、コンテナ貨物を積卸するクレーンを保有したコンテナターミナルを合計7つ持つ (図-11)。

それぞれのターミナルは、コンテナ船が着岸するためのバースを複数保有する。また、それぞれのバースは水深やバース長によって取り扱い可能な船舶のサイズの上限を持つ。各コンテナターミナルは貨物用高速鉄道「アラメダ・コリドー」に接続しており、ロサンゼルスを中心部近くを走行する大陸横断鉄道網との間を行き来する貨物輸送列車への接続路線として用いられる<sup>17)</sup>。

本研究では、2021年に Los Angeles 港に着岸したコンテナ船の AIS データを船舶サイズごとに地図上にプロットすることで、各ターミナルの保有するバース数と各バースのキャパシティを推計することとした。図-12 に、2021年に Los Angeles 港に着岸したコンテナ船のサイズごとの着岸位置の分布を示す。また表-2に、各ターミナルの保有するバース数と各バースの取扱可能な船舶サイズ

を示す。図からわかるように、Los Angeles 港には合計 20 か所のバースが存在し、うち 11 か所のバースではいずれのサイズの船舶も着岸・荷役されている。



図-11 Los Angeles 港のコンテナターミナル  
出典：Los Angeles 港 HP<sup>18)</sup>より筆者ら作成

(2) モデル構成

a) Los Angeles港の輸出入オペレーションフロー

はじめに、Los Angeles 港におけるコンテナ貨物の輸出入のフローの概要は以下の通りである。輸入については、はじめに、入港したコンテナ船がバースに着岸する。次に、バースにおいてガントリークレーンを用いてコンテナが船から降ろされ、コンテナヤードに一時的に保管される。そして、鉄道やトラックがコンテナヤードに到着し、コンテナを運び出す。輸出については、鉄道やトラックで運ばれてきたコンテナがターミナルのゲートを通り、コンテナヤード内に一時的に保管される。次に、入港したコンテナ船がバースに着岸し、バースにおいてガントリークレーンによりコンテナが船に積み込まれる。

b) 待ち行列モデルの全体構造

以上のオペレーションフローを踏まえて、Los Angeles 港における港湾混雑を再現する待ち行列モデルを作成する。図-13に、モデルの全体構造を示す。



図-12 Los Angeles 港各ターミナルに停泊するコンテナ船  
(出典：AIS データより筆者ら作成)

表-2 Los Angeles 港の各ターミナルのモデル設定

ターミナル	バース数				ヤード設定		鉄道	
	下限 10000 TEU	上限 10000 TEU	上限・下限なし	合計	ヤード面積 (acre) <sup>19)</sup>	キャパシティ (TEU)	輸送容量 (TEU/便)	連航頻度 (便/日)
TraPac Container Terminal	0	0	3	3	220	47,916	1440	6
Yusen Container Terminal	0	3	0	3	185	40,293	1210	6
Everport Container Terminal	0	0	2	2	205	44,649	1340	6
Fenix Marine Container Terminal	0	1	2	3	292	63,598	1910	6
APM Container Terminal	1	0	4	5	484	105,415	2880	6
West Basin Container Terminal	0	2	0	2	186	40,511	1210	6
West Basin Container Terminal China Shipping	0	0	2	2	132	28,750	864	6

出典：各種資料等に基づき筆者ら作成・推計

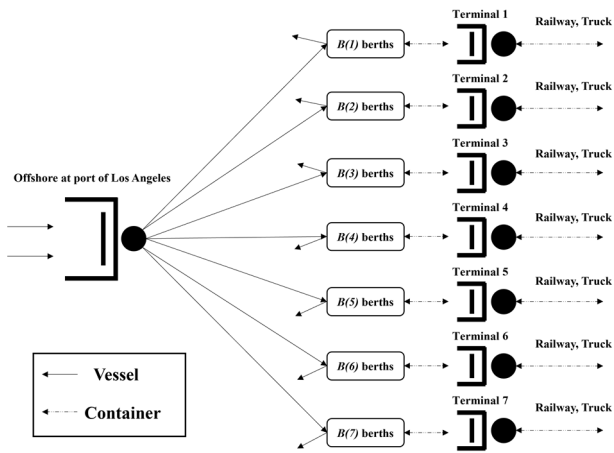


図-13 待ち行列モデルの全体構成  
出典：筆者ら作成

本研究では、2 か所の待ち行列を保有する複数サーバ型開放型待ち行列ネットワークと 4 種類のエージェントによって再現した離散イベントシミュレーションモデルを用いて、Los Angeles 港のコンテナ処理オペレーションフローを再現する。モデル内では、発生するイベントがあらかじめスケジューリングされており、1 時間単位で時間を進めて順次実行する。待ち行列に関しては、コンテナ船がバースに着岸するまで港の沖合で待機する「コンテナ船の沖待ち行列」と、コンテナヤード内でコンテナが輸出入を待つ「コンテナのヤード内滞留待ち行列」の 2 種類を実装した。また、待ち行列にたまったコンテナ船またはコンテナ貨物数を増減させるエージェントは 4 種類（バース、船舶、鉄道、トラック）実装した。本モデルで実装した 2 種類の待ち行列と 4 種類のエージェントの仕様について順に説明する。

c) モデルに実装される待ち行列

まず、コンテナ船の沖待ち行列は、港に到着したコンテナ船がバースに着岸するまでの間沖合で待機する状態を表す待ち行列であり、容量無制限として実装した。港に到着したコンテナ船は待ち行列の最後尾に配置され、First In First Out (FIFO)原則に基づき、後述のバースエージェントによって処理されて待ち行列から離脱する。

次に、コンテナのヤード内滞留待ち行列は、ヤードの容量制限を付与して実装した。本待ち行列には、輸出待ちコンテナおよび輸入待ちコンテナの 2 種類が追加される。まず、輸出待ちコンテナについて、コンテナ船への積み込み待ちのコンテナが、陸上輸送により毎時一定量（600 TEU/hour と想定）で追加され、後述するバースエージェントによって毎時一定量船に積み込まれ待ち行列から取り除かれる。一方、輸入待ちコンテナは、後述するバースエージェントの荷役効率にしたがって毎時一定量追加され、トラックエージェント、鉄道エージェント

により所定の量ずつ運び出されて待ち行列から取り除かれる。なお、本待ち行列モデルでは、トラックおよび鉄道の到着時にヤード内のコンテナ量が増減するのは輸入コンテナについてのみであり、輸出コンテナは毎時一定量追加されるとした。コンテナヤードの容量については、ヤード面積に比例すると想定して以下の式によって算出した。

$$Cap_y = acre_y \times \frac{S_{acre}}{S_c} \times k \times p \quad (1)$$

Cap<sub>y</sub> : ヤードキャパシティ (TEU)

acre<sub>y</sub> : ヤードの面積 (acre)

S<sub>acre</sub> : 単位 acre あたりの面積 (43650sqft とした)

S<sub>c</sub> : 20ft コンテナ 1TEU あたりの床設置面積 (200sqft とした)

k : ヤード面積に占めるコンテナ保管面積の割合 (0.5 とした)

p : コンテナの平均積み上げ個数

本モデルでは、Los Angeles 港の実態に合わせて、合計 7 つのヤード内滞留待ち行列を並列に実装した。上記の算出方法で得た各ターミナルのコンテナヤード容量を表-2に示す。

d) バースエージェント

バースエージェントは 2 つの機能を持つ。すなわち、①コンテナ船の沖待ち行列から船舶を 1 つずつ FIFO で処理する、②荷役に伴ってヤード内のコンテナ滞留待ち行列のコンテナを一定量ずつ増減させる、の 2 機能である。

①については、バースエージェントは、コンテナ船の沖待ち行列から、自身の持つキャパシティ以下の船舶サイズで、かつ最も待ち行列の先頭に近い船を選び、待ち行列から取り除く。なお、各バースの取扱可能な船舶サイズキャパシティは、先述した表-2に示した値を使用した。

次に②については、バースエージェントは、①で取り除いた船舶から、1 時間おきに、後述の手法で定める一定量の輸入コンテナをヤード内のコンテナ滞留待ち行列に追加する。そして、船舶内の輸入コンテナを荷役し終わると、ヤード内のコンテナ滞留待ち行列から 1 時間おきに後述の手法で定める一定量の輸出コンテナを取り除く。そして、定めた量のコンテナを輸出し終わると、対象の船を出航させ、一定時間のインターバルの後に次の船舶をコンテナ船の沖待ち行列から選んで処理する

(①)。ここで船舶処理のインターバルを設けたのは、船舶が入港してからバースに着岸するまで（および離岸してから出港するまで）の移動時間、着岸してから荷役を開始するまで（および荷役が終了してから離岸するまで）の作業時間、および前船舶の出港後にヤード内のコ

ンテナを整理し次の船舶が着岸可能となるまでの荷線時間を想定したためである。また、実態に基づき 2021 年 8 月以前と 9 月以降では混雑量が異なると想定し、インターバル時間は別に設定した。具体的には、2021 年 8 月以前は 12 時間、2021 年 9 月以降は 72 時間とする。

また本モデルでは、2021 年の Los Angeles 港に寄港するコンテナ船の消席率をもとに、輸出入貨物はそれぞれ船腹量の年間平均積載率（輸入：70.5%，輸出：13.0%，いずれも空コンテナは除く）分だけ存在すると想定した。さらに、各バースエージェントにおける 1 時間あたりのコンテナの処理効率は、図-10 に基づき到着したコンテナ船のサイズに依存して決まると想定し、表-3 のように定めた。なお、図-8 下から読み取れるように 2021 年 8 月以前と 9 月以降で処理効率に差があるため、本待ち行列モデルでも処理効率をわけて設定した。

表-3 各バースエージェントにおける 1 時間あたりのコンテナ処理効率 (TEU/hour)

到着船のサイズ	2021 年 8 月以前	2021 年 9 月以降
-5000 TEU	30	27
5000-10000 TEU	55	50
10000 TEU -	75	53

出典：筆者ら推計

e) 船舶エージェント

船舶エージェントは、コンテナ船の沖待ち行列に後述の手法で定めた分布に従うランダムな到着間隔で到着する。そして、前述のバースエージェントによってコンテナ船の沖待ち行列から取り除かれる。本モデルでは、船舶エージェントの船舶サイズと到着間隔は、2021 年の Los Angeles 港に到着したコンテナ船の AIS データを元に作成した分布に従ってランダムで定めた。回帰には、Kernel 密度推定法を用いた。図-14 および図-15 に、本モデルで用いた船舶エージェントの船舶サイズと到着間隔の分布を示す。図より、Los Angeles 港における沖待ちが悪化した 2021 年 9 月以降では、2021 年 8 月以前に比べて到着する船舶のサイズの最頻値が 4000-5000 TEU と小型化していることがわかる。

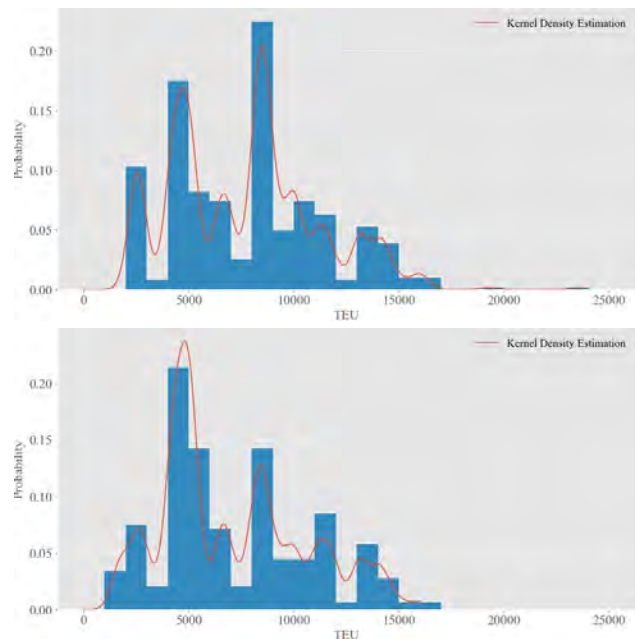


図-14 本モデルで用いた到着船舶のサイズ分布 (上：2021 年 8 月以前，下：9 月以降)

出典：AIS データより筆者ら作成

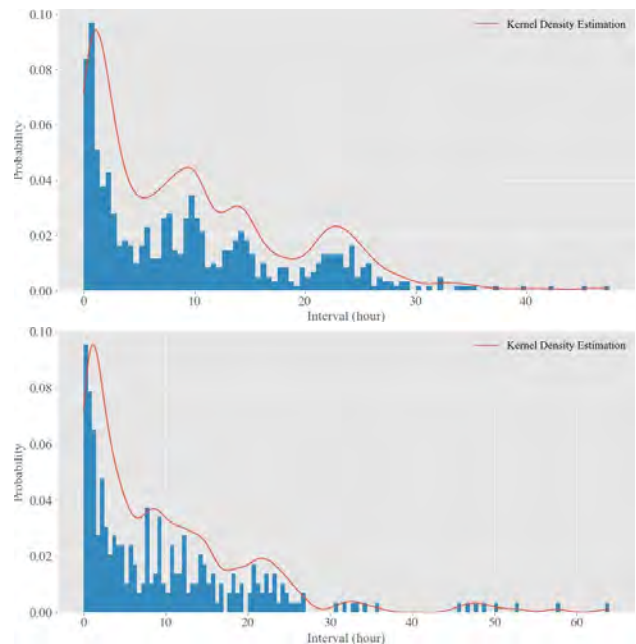


図-15 本モデルで用いた到着船舶の到着間隔の分布

(上：2021 年 8 月以前，下：9 月以降)

出典：AIS データより筆者ら作成

f) 鉄道およびトラックエージェント

次に、鉄道エージェントは、各コンテナターミナルのヤード内のコンテナ滞留待ち行列から一定の時間間隔で輸入コンテナを一定量取り除く。Los Angeles 港の各ターミナルはオンドックの鉄道ターミナルを保有している<sup>20)</sup>ことを考慮し、鉄道エージェントは各ターミナルに実装した。Los Angeles 港における貨物鉄道の輸送容量および運航頻度については、TraPac ターミナルのデータ<sup>21)</sup>しか

見つからなかった。そのため、他のターミナルのキャパシティはTraPacターミナルの値をもとにコンテナヤードの容量に比例すると想定し、運航頻度はTraPacターミナルと同一と想定した。本モデルにおける鉄道エージェントの輸送容量と運航頻度を表-2に示す。

最後に、トラックエージェントは、鉄道エージェントと同様に、各コンテナターミナルのヤードのコンテナ待ち行列から一定の時間間隔で輸入コンテナを一定量取り除く。Los Angeles 港におけるトラックの運航頻度のデータは見つからなかったため、本モデルでは、Los Angeles 港の年間の輸入コンテナ量から本モデルで想定した鉄道エージェントの年間輸送容量を差し引いた値を賄えるように、各ターミナルに1時間あたり平均30回のトラックエージェントが到着すると想定した一様分布を用いて到着間隔を算出した。

(3) シミュレーション結果

a) 現状再現性の確認

まず、モデルの現状再現性の確認を行う。本モデルは、各バースにおける1時間あたりコンテナ処理数の設定が重要である。2021年8月以前と、9月以降ではその値が大きく異なるため、2つの期間を別のモデルとして再現し検証を行った。図-16上に、2021年7~8月のLos Angeles 港における沖待ち船舶数の実績値とモデル推計値を示す。図より、両者は多少のずれがあるものの、概ね高い再現性を確保できたといえる。Los Angeles 港で港湾混雑が悪化する前の2021年8月以前では、2021年9月以降と比較して各バースにおける1時間あたりコンテナ処理数は大きいため、沖待ち船舶数は初期の船舶数から大きく変化せず、一定の値を示している。

次に、図-16下に、2021年9~10月のLos Angeles 港における沖待ち船舶数の実績値とモデル推計値を示す。図より、概ね高い再現性を確保できたといえる。2021年9月以降は各バースにおける1時間あたりのコンテナ処理数が減少したことによって荷役効率が悪化し、船舶待ち行列長が2カ月間で約15隻から約40隻まで増加している。このことから、Los Angeles 港で混雑が悪化した2021年9月以降では、バースにおける荷役効率およびターミナル内の単位時間コンテナ処理数が下がったことによりLos Angeles 港における船舶の処理間隔が大きくなり、混雑を悪化させる要因となった可能性が示唆される。

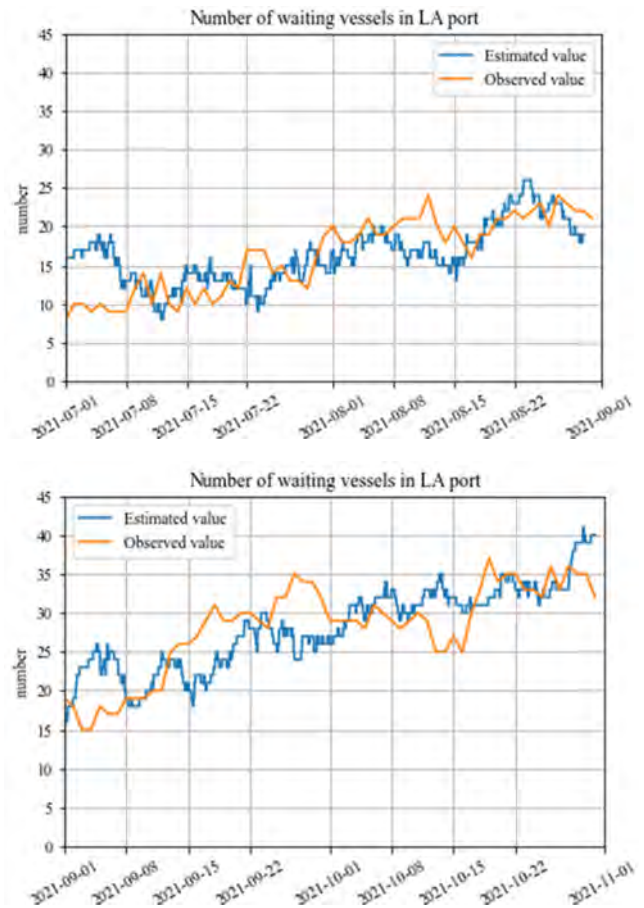


図-16 Los Angeles 港における沖待ち船舶数の実績値とモデル推計値 (上：2021年7~8月, 下：2021年9~10月)

出典：筆者ら推計

b) 沖待ち時間算出関数の導出

本節では、沖待ち時間を発生させる影響要因を整理するため、本モデルの計算結果を用いて、重回帰分析によりLos Angeles 港における沖待ち時間算出関数を導出する。重回帰分析は、前節で構築した2つのモデル(2021年8月以前, 2021年9月以降)それぞれに対して適用した。説明変数として以下の変数を利用した3種類のモデルについて結果を比較する。

- ① 船舶到着時の港湾内コンテナ数
- ② 船舶到着時の港湾内コンテナ数, 船舶到着時点から1週間以内の到着船舶数
- ③ 船舶到着時の港湾内コンテナ数, 船舶到着時点から1週間以内の到着船舶数(船腹量別)

なお、説明変数として、到着時の港湾内コンテナ数および到着時点から1週間前までの到着船舶数を選定したのは、ターミナル内のコンテナ量がキャパシティに近づくともコンテナを港湾外に運びだすまでコンテナの荷役が滞ることがあること、および船舶が連続して到着することでバースで処理可能な船舶数を上回った場合に沖待ち時間が変動することを想定したためである。

表-4に、沖待ち時間算出関数に関する重回帰分析の結果

表-4 沖待ち時間算出関数に関する重回帰分析の結果

モデル	説明変数	2021年8月以前				2021年9月以降			
		回帰係数	t値	p値	adj-R <sup>2</sup>	回帰係数	t値	p値	adj-R <sup>2</sup>
①	港湾内コンテナ数	$2.28 \times 10^{-4}$	12.8	$5.69 \times 10^{-25}$	0.552	$8.60 \times 10^{-4}$	42.8	$1.63 \times 10^{-72}$	0.940
②	港湾内コンテナ数	$2.88 \times 10^{-4}$	8.20	$1.90 \times 10^{-13}$	0.561	$9.60 \times 10^{-4}$	22.7	$3.63 \times 10^{-44}$	0.944
	1週間以内の到着船舶数	-0.462	-1.96	$5.16 \times 10^{-2}$		-1.15	-2.69	$8.30 \times 10^{-3}$	
③	港湾内コンテナ数	$3.20 \times 10^{-4}$	10.2	$3.11 \times 10^{-18}$	0.716	$9.41 \times 10^{-4}$	22.1	$1.02 \times 10^{-44}$	0.946
	1週間以内の到着船舶数 (-5000TEU)	5.44	6.69	$6.10 \times 10^{-10}$		2.71	1.74	$8.50 \times 10^{-2}$	
	1週間以内の到着船舶数 (5000-10000TEU)	-2.19	-5.31	$4.73 \times 10^{-7}$		-3.66	-2.56	$1.18 \times 10^{-2}$	
	1週間以内の到着船舶数 (10000TEU)	-2.69	-4.56	$1.16 \times 10^{-5}$		-2.56	-1.79	$7.65 \times 10^{-2}$	

出典：筆者ら推計

果を示す。表より、いずれのモデルにおいても2021年8月以前のモデルに比べて2021年9月以降のモデルの自由度調整済み決定係数は大きくなった。これは、バースにおけるコンテナ処理能力の低い2021年9月以降では、2021年8月以前に比べて到着する船舶数や港湾内コンテナ量が沖待ち時間に強い影響を与えることを示唆している。さらに、2021年9月以降のモデルでは、港湾内コンテナ量にかかる係数が2021年8月以前のモデルと比べて大きくなっている。これは、Los Angeles港では9月以降にバースにおけるコンテナ処理効率が低下しており、待ち時間が生じやすくなるためであると考えられる。

まずモデル①に注目すると、自由度調整済み決定係数は2021年8月以前のモデルで0.552、2021年9月以降のモデルで0.940となっている。さらに、t値の絶対値は双方のモデルで1.96を上回っているため、5%水準で有意にゼロと異なるといえる。次にモデル②に注目すると、自由度調整済み決定係数は2021年8月以前のモデルで0.561、2021年9月以降のモデルで0.944となり、モデル①より若干増加した。このことから、到着時点から1週間前までの到着船舶数が沖待ち時間に影響を与えることが示唆された。さらに、①と同様に、t値の絶対値は双方のモデルで1.96を上回っているため、5%水準で有意にゼロと異なるといえる。また、港湾内コンテナ量の係数は正の数である一方で、到着時点から1週間前までの到着船舶数に係る係数は負の数となった。これは、沖待ち時間が港湾内コンテナ量に比例して増加するものの、実際には船舶到着時に着岸可能なバースが存在しない場合にのみ沖待ち時間は発生すると想定されるため、沖待ち時間が発生する港湾内コンテナ量には閾値が存在すると思われる。本項のような線形モデルではそのような閾値は反映されないため、到着時点から1週間前までの到着船舶数にかかる係数が負になることでこの閾値に近い役割を果たしていると考えられる。

最後に、モデル③に注目すると、自由度調整済み決定

係数は2021年8月以前のモデルで0.716、2021年9月以降のモデルで0.946となり、モデル①および②と比較して大きくなった。このことから、船腹量別に到着船舶数を考慮する方が、沖待ち時間を正確に推計できることが示唆された。さらに、2021年8月以前のモデルでは、いずれの説明変数のt値の絶対値も1.96を上回っていることから、5%水準で有意にゼロと異なるといえる一方で、2021年9月以降のモデルでは、1週間以内の到着船舶数（5000TEU以下）および1週間以内の到着船舶数（10000TEU以上）のt値の絶対値が1.96を下回った。これにより、2021年9月以降のモデルにおいては、上記2つの説明変数が沖待ち時間に与える影響は小さいと考えられる。また、1週間以内の到着船舶数（5000TEU以下）の係数は正である一方で、そのほかの船腹量の到着船舶数の係数は負の値となった。これは、船腹量の小さい船舶の荷役効率が低いため、船腹量の小さい船舶が一定期間に多数寄港した場合には港湾混雑が悪化しやすいことを表していると考えられる。

## 5. 結論

本研究では、新型コロナウイルス流行の影響で港湾混雑が悪化した2021年の海上コンテナ定期輸送サービスに着目し、はじめにLLIデータとMDSデータを用いてサービスごとのコンテナ船到着時間帯のばらつきを計測して2021年にサービスの定時性が悪化したことを示した。さらにLos Angeles港を対象に、AISデータとPIERSデータを用いることで船舶の運航記録と積載貨物の情報を合わせて混雑要因の分析を行った。また、分析結果をもとに2021年のLos Angeles港の混雑を再現する待ち行列モデルを構築した。構築したモデルを用いて沖待ち船舶数のシミュレーションを行い、モデルが一定の再現性を確保していることを確認した。最後に、モデルの計算

結果を用いた重回帰分析により、沖待ち時間に影響を与える説明変数を特定した。このようにして沖待ち時間を推定する関数を導出することができれば、Shibasaki et al.<sup>15)</sup>のようなコンテナ輸送経路選択モデルにおいても沖待ち時間を考慮した混雑項を導入でき、より現実に即したシミュレーションが可能となる。

以上より、本研究の目的は概ね達成することができたと言えるものの、いくつか課題が残っている。まず、本研究で使用した各データに基づく現状分析をより精緻に行うことが挙げられる。たとえば本研究では、船舶の緯度経度情報のみに着目して船舶の航行状態を推定した。一方で、先行研究のように航行速度などその他の指標も合わせて航行状態を推定することで、精度向上の余地がある。次に、待ち行列モデルを用いた精緻な分析が挙げられる。2021年のLos Angeles港およびLong Beach港における混雑の悪化では、陸上輸送の停滞から港湾内滞留コンテナが増加し、港のコンテナ処理が停滞したことが原因とも言われている。本研究で構築した待ち行列モデルを用いて、陸上輸送のシミュレーションを行うなど、多様な分析を行うことは今後の課題である。さらに、到着船舶のアライアンスを考慮することで、ターミナル別に特定のアライアンスが着岸するというオペレーション上の特徴を反映したモデルとすることも可能である。また、Los Angeles港とLong Beach港は背後圏の輸送網を共有していることから、両者を同時に組み込んだ待ち行列モデルを構築することでより現実に即した分析が可能になる。

## REFERENCES

- Notteboom, T.E. The time factor in liner shipping services. *Marit Econ Logist.* 2006. 8(1): 19-39. doi:10.1057/PALGRAVE.MEL.9100148/FIGURES/5
- 赤倉康寛, 長津義幸, 小野憲司. サプライチェーン・クライシス下の我が国の対欧米コンテナ輸送の停滞状況の分析. 第 66 回土木計画学研究発表会・講演集. 2022.
- 宮前直幸. 新型コロナが国際物流に与えた影響. Accessed November 25, 2022. <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001403344.pdf>
- 宮島正悟, 岡村京子. 国際海上コンテナ輸送における遅延の発生・伝播に関する分析. 第 65 回土木計画学研究発表会・講演集. 2022..
- 高欢佳, 牧野秀成, 古莊雅生. AIS データを用いた沖待ち船舶の航行実態解析に関する研究. 土木学会論文集 B3 (海洋開発). 2014. 70(2): 948-953.
- 赤倉康寛, 高橋宏直. 世界のコンテナターミナルにおける船舶の沖待ち時間の把握・分析. 土木学会論文集 B3 (海洋開発). 2021. 77(2): 157-162.
- Salleh, N.H.M., Riahi, R., Yang, Z., Wang, J. Predicting a containership's arrival punctuality in liner operations by using a fuzzy rule-based Bayesian network (FRBBN). *Asian J Shipp Logist.* 2017. 33(2): 95-104. doi:10.1016/J.AJSL.2017.06.007
- Feng, M., Shaw, S.L., Peng, G., Fang, Z. Time efficiency assessment of ship movements in maritime ports: A case study of two ports based on AIS data. *J Transp Geogr.* 2020. 86: 102741. doi:10.1016/J.JTRANGE.2020.102741
- Martinčić, T., Stepec, D., Pita Costa, J., Cagran, K., Chaldekis, A. Vessel and port efficiency metrics through validated AIS data. Accessed February 8, 2023. <http://www.aishub.net/>
- Chen, L., Zhang, D., Ma, X., Wang, L., Li, S., Wu, Z., Pan, G. Container port performance measurement and comparison leveraging ship GPS traces and maritime open data. *IEEE Trans Intell Transp Syst.* 2016. 17(5): 1227-1242. doi:10.1109/TITS.2015.2498409
- Clark, D.P., Kozlova, V., Schaur, G. Supply chain uncertainty in ocean transit as a trade barrier. 2014. <http://www.econ.ucdavis.edu/events/departmentseminars/papers/Schaur123.pdf>
- El-Naggar, M.E. Application of queuing theory to the container terminal at Alexandria seaport. *J Soil Sci Environ Manag.* 2010. 1(4): 77-85. Accessed February 8, 2023. <http://www.academicjournals.org/JSSEM>
- Oyatoye, E.O., Adebisi, S.O., Okoye, J.C., Amole, B.B. Application of queueing theory to port congestion problem in Nigeria. *Eur J Bus Manag.* 2011. 3(8): 2222-2839.
- Saeed, N., Larsen, O.I. Application of queuing methodology to analyze congestion: A case study of the Manila International Container Terminal, Philippines. *Case Stud Transp Policy.* 2016. 4(2): 143-149. doi:10.1016/J.CSTP.2016.02.001
- Shibasaki R, Kato H, Ducruet C. Global Logistics Network Modelling and Policy : Quantification and Analysis for International Freight. Elsevier. 2020.
- Global S. Bill of Lading Database, Import Export Data: PIERS | S&P Global. Accessed January 15, 2023. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/mi/products/piers.html>
- 世界の港. Accessed November 24, 2022. <https://www.mlit.go.jp/kowan/minatodayori/48/18-19.pdf>
- Angeles T port of L. Interactive Map of Port of Los Angeles Cargo Facilities. Accessed January 2, 2023. <https://pola.maps.arcgis.com/apps/Shortlist/index.html?appid=8e149c236df14a80a85c24b2787dc8ff>
- Port of Los Angeles, The Port of Los Angeles: America's Port. Accessed January 15, 2023. <https://www.portoflosangeles.org/>
- 福嶋照香. ロサンゼルス港の港湾経営とコンテナ戦略. Published 2020. Accessed November 24, 2022. <https://www.kokusaikouwan.jp/wp/wp-content/uploads/2021/02/2020.1-1.pdf>
- TraPac. Service | TraPac. Accessed December 7, 2022. <https://www.trapac.com/service/#faster-truck-turn-times>

## Congestion Analysis and Queueing Model Development at Container Ports Using AIS Data

Keigo SHIBUYA, Eisuke WATANABE, Ryuichi SHIBASAKI and Takuma MATSUDA

This study focuses on liner shipping services in 2021, when port congestion worsened due to the COVID-19 pandemic. First, we showed that the timeliness of liner services worsened in 2021 from vessel movement and liner service databases. Subsequently, we found that the number of containers handled in the port of Los Angeles per hour decreased in late 2021 using AIS and PIERS data. Based on the analysis results, we developed a queueing model to reproduce port congestion at the port of Los Angeles in 2021 and confirmed that the model reproduced the number of vessels waiting offshore well. Furthermore, to identify the causes of the offshore waiting time, a multiple regression analysis was conducted to derive a function for calculating the offshore waiting time.