

定航船のスケジュール遅延の実態把握と回復戦略

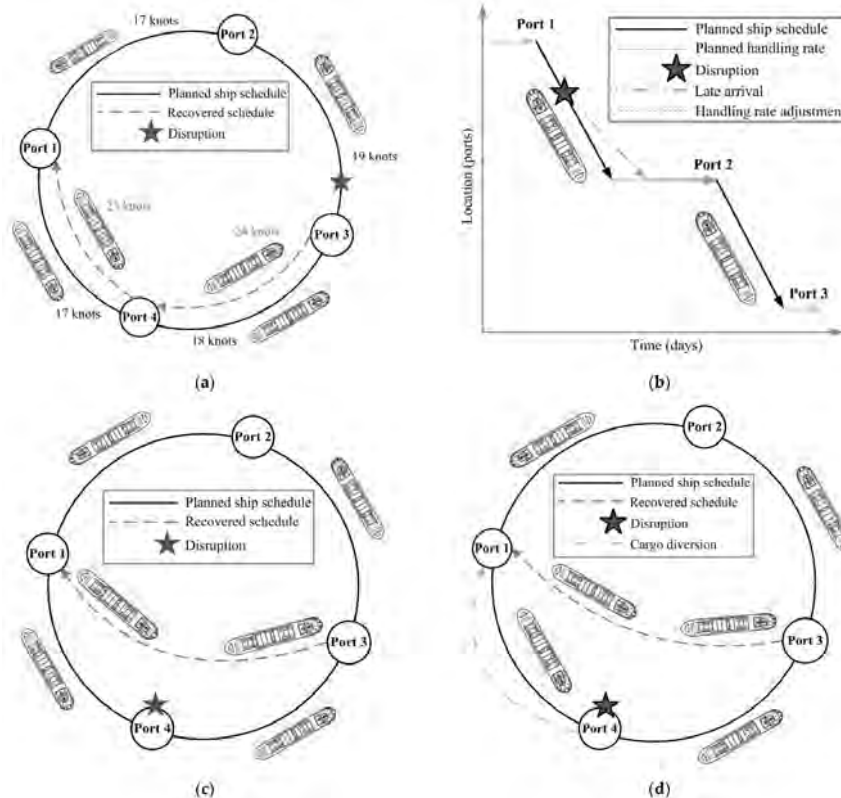
柴崎隆一
SHIBASAKI, Ryuichi

東京大学大学院工学系研究科准教授

1—はじめに：定航船スケジュール遅延問題の所在

2020年初頭に始まった新型コロナウイルス感染症の世界的拡大は、海運業界にも大きな影響をもたらした。物流業界はロックダウン中でも通常通り機能することが求められる、いわゆるエッセンシャルワークと位置づけられた一方で、初期には各国の検疫強化により船員が上陸できないという問題がクローズアップされた。その後2020年後半から、欧米を中心に消費需要が急激に拡大したことに加え、特に米国コンテナ港湾における港湾労働者の不足や内陸輸送の停滞に起因し、米国西岸諸港を筆頭に港湾の大規模な混雑が生じ、国際海上コンテナ輸送サービスのスケジュールが大幅に遅延したり、これに伴う輸送スペース不足やコンテナ不足によって海上輸送運賃が大幅に増加するなど、海運市場に大きな混乱が生じた（なお海上運賃の高騰は2023年に入り落ち着き、コロナ禍前の水準に既に戻っている）。

このように海上コンテナ輸送定航サービスが遅延した場合、スケジュールを回復するための主な手段としては、図-1に示すように、(a) スピードアップ（船速の上昇）、(b) 港湾における荷役の途中打ち切り、(c) 途中寄港地の抜港、(d) (c)に加え抜港した港湾への別サービスによる事後寄港、などがあげられる¹⁾。最も一般的に用いられるスケジュール手段は (a) 船速の上昇であり、船速を上昇させると船会社にとっては燃料消費量（ひいては燃料費）が増加するというデメリットはあるものの、荷主にとっては（もし燃料費増が運賃に転嫁されなければ）大きな影響はない一方で、船速の上昇だけでは回復できないほど大幅なスケジュール遅延が生じた場合は、(b) 以下の手段をとらざるを得ない。特に、スケジュール遅延が最も深刻化した2021年後半には、特にその混乱の中心となったアジア～米国西岸航路では、航路の中心寄港地である中国の港湾へ早く戻るために、取扱量の比較的小さい日本の港湾が頻繁に抜港されるといったことも生じた²⁾。



■図-1 コンテナ定航船の遅延回復戦略¹⁾

もともと海上コンテナ輸送定航サービスにおいては数時間程度の遅延は日常茶飯事であり、各船社や港湾はそれを織り込んだオペレーションを行っていた一方で、近年では、船舶の動きを網羅的に捉えることのできるAIS（船舶自動識別装置）データが整備され、スケジュール遅延や回復の経緯がより詳細に把握できるようになったこともあり、データに基づいた実態分析や、それを踏まえた回復戦略の提案が行われるようになってきた。そこで本稿では、最近のレビュー論文¹⁾に基づき当該研究分野における現状と今後の課題を概観したうえで、AISデータを用いた定航船のスケジュール遅延と回復に関する実態分析の研究例²⁾を紹介する。

2—定航船の不確実性とスケジュール回復戦略に関する最近の研究と今後の方向性

Elmi et al.¹⁾は、定期コンテナ船の運航に関する不確実性に関する研究25編、およびスケジュール遅延の回復戦略に関する研究18編の詳細なレビューを行っている。

定航船運航の不確実性に関する研究は、航海時間や入港待ち時間、港湾における荷役時間といった船舶運航に関する要素について供給者（船会社）側の視点から不確実性を扱ったものが多い一方で、輸送需要の変動といった需要者（荷主）側の不確実性を対象とした研究も含まれる。これらの問題を、燃料費や船費だけでなく遅延のペナルティコスト等も含めた費用最初化問題や利潤最大化問題として定式化し、線形計画問題などのソルバーであるCPLEXや遺伝的アルゴリズムなどのメタヒューリスティックにより解くものが多い。今後の研究課題としては、①（AISなどの活用による）定航船の運航実態のより詳細な分析と評価、②複数の不確実性を同時に扱った包括的なモデルの構築、③不確実性を軽減するためのよりダイナミックかつ詳細な意思決定が可能となるような革新的な施策の検討、④港湾混雑の日変動・時間変動の平準化方策の提案、⑤荷役の打ち切りや抜港などのような激しい遅延を緩和させる方策の検討、などがあげられている。まとめると、AISなどの活用により定航船の運航実態をより詳細に把握（①）したうえで詳細かつダイナミックな施策およびその評価手法を提案（③・④）すること、および様々な施策の組み合わせの検討・比較（②）やこれまであまり議論されてこなかった施策の検討（③・⑤）が可能なる手法を構築すること、の2点が定航船運航の不確実性に関する（特に船会社側から見た）今後の大きな研究課題と理解される。また著者らは、特に輸送サービスの信頼性に関連すると考えられる様々な要因（地理特性、船齢、船舶のメンテナンス状況、港湾荷役および背後輸送方式等）の詳細かつ包括的な議論と研究の必要性についても強調しており、データ分析およびモデル構築の両面からの研究の深化が期待される。

定航船のスケジュール遅延回復問題（vessel schedule recovery problem: VSRP）については、全体の8割程度の研究が船速の上昇（図—1の（a））を対象に含めており、抜港（同（c））や寄港地の変更、荷役の打ち切り（同（b））がこれに続き、半数弱の研究が船速の上昇と抜港の両者を考慮している。これらを総費用や総損失額の最小化問題として定式化し、ヒューリスティクスやメタヒューリスティクスによって解くものが多い。今後の研究課題としては、①船速上昇の際にコスト増要因となる燃料の消費モデルの詳細化、②サービスの打ち切りといったより極端な施策の検討、③船速上昇以外の回復戦略も含めた複数戦略の同時決定問題の数学モデルや解法の高度化、④フォワーダーの関与等による複数の船会社に跨る全体最適化や荷主とのリスクシェアリングを可能とする方策の検討（ゲーム理論や多目的最適化手法の活用）、⑤陸上輸送を含めたインターモーダル輸送ネットワークやサプライチェーン全体の最適化、などがあげられている。こちらも大きくは個別戦略の検討の詳細化（①）や新規施策の検討手法の構築（②）、および複数戦略の同時検討（③）・複数船社や荷主との連携（④）・サプライチェーン全体の最適化（⑤）といった検討対象範囲の拡張に分けられる。そもそもVSRPに関する研究総数が少ないこともあり、多くの研究課題が依然として残されているのが現状といえる。

3—AISデータに基づく定航船のスケジュール遅延と回復の実態把握

AISデータに基づきスケジュール遅延回復オペレーションに関する詳細な実態把握を行った最近の研究例として、抜港の実態把握を試みたZhang et al.³⁾を簡単に紹介する。当該論文では、①AISデータから得た停止継続時間に基づきコンテナ船の寄港を判定して寄港履歴データを作成し、②履歴に含まれる各港湾についてそれぞれ作成した寄港チェーン（ループ）を対象にレーベンシュタイン距離を算出して類似度を判定し、それが最大となるループを各サービスの標準寄港リストと推測したうえで、③推計された標準寄港リストに基づき各寄港実績における標準リストからの乖離をレーベンシュタイン距離により再度判定し、抜港実績を抽出している。特にコンテナ船は恒常的に配置転換が行われているため②の寄港履歴データから標準寄港リストを作成することが難しく、全ての寄港チェーンについて類似度を算出することで蓋然性の高い標準寄港リストを推計する工夫がなされている。ただし、2016～2020年の5年間のAISデータから推計された抜港率の高い港湾リストを見ると、遅延回復の観点から抜港される可能性は低いと考えられる青島・釜山・寧波・上海港などの年間取扱量10位以内の港湾が比較的上位に位置づけられており、当該論文で抽出された抜港の要因が遅延回復目的だけとは言えない

可能性が示唆される。

なお、同様に筆者ら⁴⁾も、AISデータと市販の定航サービスデータ（MDSデータ、上記研究³⁾の②に相当する情報が収録されている）を組み合わせるにより、1で述べたCOVID-19パンデミック後の国際海上コンテナ輸送市場が最も混乱していた2021年は、パンデミック前の2019年に比べ、週1便の運航が原則である各基幹航路サービスが各港湾に寄港する曜日と時間帯が毎週異なり遅延が常態化していたことを、ピークの状態を示す尖度分布の相違から確認している。また、AISデータと寄港船舶ごとのコンテナ積卸量がわかる米国税関データを組み合わせることにより、2021年の米国西岸港湾における港湾混雑は、(労働者不足や背後輸送の効率低下に起因した)単位時間あたりの積卸本数が平常時より低下したことによって激化したことも確認した。このように、AISデータと他のデータを組み合わせることにより、スケジュール遅延やその回復過程の実態がより詳細に把握可能となることがわかる。

4— おわりに

本稿で紹介した2編の論文^{1),3)}は、COVID-19パンデミックが起きる前のデータや研究を対象とした分析ではあるものの、はじめにも述べた通り、特に2021年をピークとしたCOVID-19パンデミック後の激しい混雑を背景に、定航船のスケジュール遅延と回復に関する研究の注目は高まっている。これは、上述の通り、非常時に真っ先に抜港など調整の対象となりやすい日本の港湾にとっても他所事ではなく、遅延発生メカニズムや抜港が選択される条件、あるいは抜港の経済的インパクト等について研究することの重要性は高い。また、抜港時の影響の最小化や抜港リスクの軽減のために、スケジュール回復戦略の評価手法を構築し最適な戦略を提案することに加え、

複数ターミナルの連携やオペレーションの統合など、よりフレキシブルで思い切った施策の検討も必要といえる。

さらに直近でも、ロシアによるウクライナ侵攻や、イスラエル・パレスチナ間の紛争の余波により、危険海域の迂回（特に後者はイエメンのフーシー派による船舶攻撃を回避するためにスエズ運河経由からアフリカ大陸南端の喜望峰を経由するルートへの大きな迂回が必要となる）や貿易パターンの変化などがみられ、その影響や回避策を議論する機運が高まっている。しかしながら、たとえば北米西岸港湾の混乱に端を発したスケジュール遅延が世界中にどのように広がっていったかという遅延の伝播メカニズムについてさえも、まだ十分解明されているとはいえない。このような実情を背景に、3章で取り上げたAISを始めとするビッグデータの活用や組み合わせによる詳細な実態把握だけでなく、2章で整理したようなVSRPを含めた回復戦略モデルの精緻化・高度化、あるいはより広範囲のステークホルダーを包含したサプライチェーン全体の最適化モデルやインパクトの波及プロセスのモデル化などの重要性も高い。

参考文献

- 1) Elmi, Z., Singh, P., Meriga, V.K., Goniewicz, K., Borowska-Stefańska, M., Wiśniewski, S., Dulebenets, M.A. 2022. Uncertainties in Liner Shipping and Ship Schedule Recovery: A State-of-the-Art Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (5), 563, 2022. <https://doi.org/10.3390/jmse10050563>
- 2) 日本海事新聞 (2021年12月21日付) “北米西岸航路、日本発でも欠便急増、1月PNW向けわずか1便”。<https://www.jmd.co.jp/article.php?no=273589>
- 3) Zhang, L., Yang, D., Bai, X., Lai, K. 2023. How liner shipping heals schedule disruption: A data-driven framework to uncover the strategic behavior of port-skipping. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 176, 103229. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103229>
- 4) Shibuya, K., Watanabe, E., Shibasaki, R., Matsuda, T. 2023. Congestion analysis and queueing modeling at the port of Los Angeles using AIS data. *Annual Conference of International Association of Maritime Economists (IAME 2023)*, 6–8 September 2023, Long Beach, USA.