

## 第IV部門 ゲート到着特性を考慮したコンテナ搬出入予約制の海上コンテナ陸送への影響分析

京都大学工学部 学生員 ○角野 弘汰  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 Ali Gul Qureshi

京都大学経営管理大学院 正会員 山田 忠史

## 1. はじめに

わが国では、主要国際港湾周辺のコンテナターミナルのゲート前混雑による、海上コンテナ車の渋滞問題が深刻化している。その解決策として、港湾情報システム CONPASの導入が図られている。CONPASの主たる機能の一つが、コンテナ搬出入予約制であり、コンテナターミナルの処理状況に応じた予約時間枠と予約上限台数が設定されている。それにより、海上コンテナ車の特定の時間帯への集中を解消することが期待できる。

コンテナターミナルを利用する海上コンテナ車には、CONPASのコンテナ搬出入予約制で予約を行う車両（以降、CONPAS車と称する）と予約を行わない車両（以降、一般車と称する）が混在する。先行研究<sup>1)</sup>では、予約時間枠が海上コンテナ車の輸送費用に与える影響を分析しているが、予約によるCONPAS車の到着の規則性向上や、CONPAS車と一般車の混在が考慮されていない。本研究では、それらを考慮したうえで、コンテナ搬出入予約制が、海上コンテナ車のゲート待ち時間や輸送費用に与える影響を考究する。

## 2. 計算手法の概要

本研究では、待ち行列シミュレーションを用いて、ゲート待ち時間を推定し、そこから得られたゲート待ち時間などを基にして、海上コンテナ車の輸送費用を算定する。待ち行列シミュレーションの概略フローは、i) 実際のデータに基づく確率分布から、海上コンテナ車の到着時間やゲートでのサービス時間を生成し、ii) 先行到着車両があれば待ち行列を形成しながら、ゲートにおいてサービスを受けるというものである。なお、CONPAS車に対して、待ち行列に並ぶ際には一般車を抜かすことができる優先権が与えられている。また、一般車の到着はポアソン到着を仮定する一方で、予約に伴う規則性向上を考慮するために、CONPAS車の到着間隔はアーラン分布に従うと仮定する。それにより、アーラン分布の形状パラメータ  $k$  を用いて、CONPAS車の予約時間枠

内での到着の規則性の高低を表現することができる。

輸送費用の算定においては、次のような条件を仮定する。①海上コンテナ車は、デポ（出発地）からコンテナターミナルに向かい、そこで一定時間の作業を行った後に、顧客のもとへ向かう。②輸送経路には、一般道のみを利用する場合と高速道路を利用する場合の2種類を設定する。なお、高速道路を利用する場合には料金を要する。③各輸送経路の所要時間は変動し、その確率分布は既知である。④コンテナターミナルと顧客には到着時刻指定があり、海上コンテナ車が早着した場合には指定時刻まで待機し、遅刻した場合には遅刻時間に応じたペナルティを支払う。計算に使用するデータについては、阪神港のコンテナターミナルでの実測値や、先行研究<sup>1)</sup>を参考にして作成した。実測データの豊富な阪神地域の港湾における輸入コンテナ輸送を計算対象とし、デポとコンテナターミナル間の距離、コンテナターミナルと顧客間の距離、および、顧客の到着指定時刻で場合分けをして、複数の計算ケースを設定した。

各計算ケースにおいて一意な期待輸送費用を算定するために、海上コンテナ車のドライバーは、期待輸送費用が最小となるように、出発時刻選択や経路選択を行うものと仮定する。輸送費用は、輸送時間に基づく費用と、高速道路の利用料金、および、コンテナターミナルや顧客の指定時刻に遅刻した場合のペナルティの和である。それらをコンテナ輸送計画問題として定式化し、列挙法により求解した。

## 3. 計算結果

CONPAS車と一般車の混在を考慮するために、海上コンテナ車全体に占めるCONPAS車の割合であるCONPAS車率  $r$  (%) を設定した。予約時間枠は、8時台から18時台までであり、予約上限台数は、CONPAS車の到着の仕方に応じて設定した。また、海上コンテナ車の種類や、到着の仕方に応じて、以下の3つのケースを設定した。

ケースⅠ：一般車のみが存在する。ゲートへの到着については、コンテナ搬出入予約制の導入以前の阪神港における時間帯別到着台数を用いる。

ケースⅡ：一般車も CONPAS 車も存在する。CONPAS 車のゲートへの到着については、ケースⅠの午前と午後の到着台数を基にして、午前と午後のそれぞれで、CONPAS 車の到着台数を平準化する。

ケースⅢ：一般車も CONPAS 車も存在する。CONPAS 車のゲートへの到着については、全ての時間帯で等しく CONPAS 車の到着を平準化する。

さらに、CONPAS 車の到着の規則性を考慮するために、アーラン分布の形状パラメータ  $k$  について、1~100 の範囲で変化させる。なお、 $k=1$  のとき、ポアソン到着と同義であり、 $k$  が大きくなると規則性が高まる。

待ち行列シミュレーションを用いて、CONPAS 車率  $r$  を変化させて、海上コンテナ車の総待ち時間を計算した結果が、図-1 である。ケースⅠと比較して、ケースⅡとⅢではいずれも、総待ち時間が減少している。ケースⅡでは、 $r=95$  のときに最小値になっており、CONPAS 車の到着の仕方によっては、全ての海上コンテナ車が予約を行うことが必ずしも最適ではないことが窺える。ケースⅢについては、 $r$  の増大に伴って、総待ち時間が大幅に減少しており、最も望ましい状態であると考えられる。なお、形状パラメータ  $k$  について比較すると、CONPAS 車の到着の規則性を高めることは、総待ち時間の短縮に効果があるものの、その影響はさほど大きくないことも示唆されている。

輸送費用を算定するに際して、先行研究<sup>1)</sup>を参考にし、デポとコンテナターミナル間の距離、および、コンテナターミナルと顧客間の距離の各々について、短距離、中距離、長距離の3通りを設定し、顧客の到着指定時刻については、10時、13時、15時の3通りを設定した。図-2は、CONPAS 車を対象として、ケースⅡとⅢについて、到着指定時刻が15時、デポとコンテナターミナル間の距離が短距離、コンテナターミナルと顧客間の距離が短距離、中距離、長距離である場合の輸送費用を示したものである。ゲートでの待ち時間が輸送費用に大きく影響することから、ケースⅢの輸送費用が全体的に抑制されている。ケースⅢの輸送費用については、13時台の予約枠において最小値であった。ケースⅡの輸送費用については、コンテナターミナルと顧客間の距離

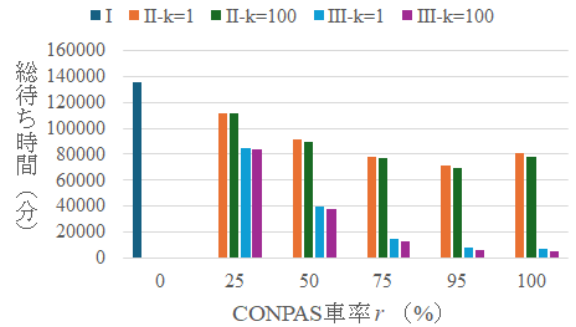


図-1 ケースごとの総待ち時間 ( $k=1$ )

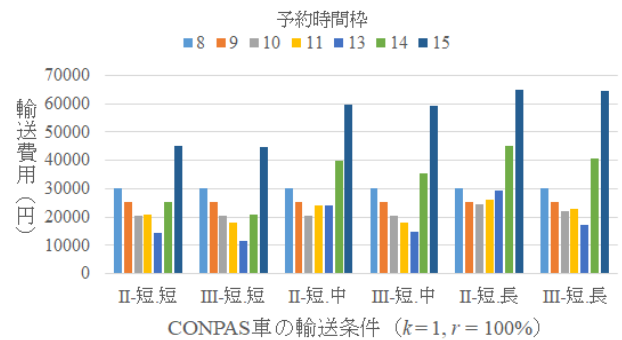


図-2 CONPAS 車の輸送費用  
(顧客到着指定時刻：15時)

が中距離、もしくは、長距離の場合で、予約枠が10時台のときに最小値となった。コンテナターミナルを10時台に出発すれば、一般道を走行しても、顧客の到着指定時刻の15時に間に合うので、遅延ペナルティ費用を回避できるからである。一方、コンテナターミナルと顧客間が短距離の場合には、ケースⅢと同様に、13時台が最小値であり、ケースⅢとの差も僅かであった。

#### 4. おわりに

本研究では、CONPAS のコンテナ搬出入予約制に着目し、CONPAS 車の到着分布や、一般車の混在も考慮したうえで、輸送効率化への影響について考察した。その結果、CONPAS 車の到着平準化や到着の規則性向上により、総待ち時間や輸送費用が減少することが明らかとなった。また、待ち時間については不利であっても、輸送条件によっては輸送費用を抑制できることも示唆された。これらの知見は、コンテナ搬出入予約制の効果的な運用に向けて、一助となるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 平越雄大, 山田忠史, Qureshi Ali Gul : ターミナル予約システムが海上コンテナ車の輸送費用に与える影響に関する基礎的研究, 2022年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, IV-7, 2022.