

# 船舶到着時刻の不確実性を考慮したコンテナ事前整列問題

伊熊 大貴<sup>†</sup>      鮎川 矩義<sup>‡</sup>      高野 祐一<sup>§</sup>  
 筑波大学<sup>†</sup>      法政大学<sup>‡</sup>      筑波大学<sup>§</sup>

## 1 はじめに

コンテナ事前整列問題とは、少ない移動回数でコンテナを理想的な配置に事前に並べ替える問題である。ここで理想的な配置とは、コンテナを取り出す際に荷繰りが起こらない配置のことをいう。荷繰りとはコンテナを取り出すために、その上に積まれているコンテナを一時的に移動させることをいう。しかし、現実には船舶が到着する時刻は不確実であるため、コンテナを取り出す順番が事前の計画と入れ替わる可能性がある。本研究では、船舶到着時刻の不確実性を考慮したコンテナ事前整列問題を考える。

船舶到着時刻の不確実性を考慮した事前整列問題に関する論文はまだそれほど多くはない。文献 [3] では、船舶到着時刻を区間として定義し、その区間が重ならないような制約を課し、コンテナを配置する問題を定式化している。しかし、必ずしも実行可能な配置が存在しないという課題が挙げられている。文献 [1] では、船舶の到着順序の不確実性集合を導入し、その集合の下でコンテナの不良配置（取り出し順と上下順が矛盾する配置）の数を最小化する問題を定式化している。この方法は文献 [3] の課題点を、制約を緩和することによって克服している。一方で、文献 [1, 3] では船舶到着時刻の確率分布が反映されていないという課題がある。

本研究では、船舶到着時刻の確率分布を考

慮するために、対象とする複数の船舶の到着時刻の多変量確率分布を導入する。本研究では船舶到着時刻の確率分布をもとに、リスク指標 Conditional Value-at-Risk (CVaR) [4] を用いて問題を定式化する。しかし、CVaR を使った定式化は問題サイズがシナリオ数に依存して増大してしまうという欠点が挙げられる。そこで、本研究では切除平面法 [2] を導入する。切除平面法では求解する問題のサイズを減少させることができ、シナリオ数が多くても最適解を短時間で探索することが可能になる。

## 2 提案手法

### 2.1 問題設定

コンテナの格納領域は  $S$  列で、各列に  $H$  の高さが与えられている。つまり、格納領域内で  $SH$  個のコンテナを置くことができる。事前整列問題とは、この領域内でコンテナを理想的な配置に並べ替える問題である。

### 2.2 CVaR

CVaR とは、ある閾値を上回る場合の損失の期待値として定義される。この指標には、以下の 2 つの特徴がある。

- 1) 下方リスク指標である
- 2) リスク指標として望ましい性質（コヒレント性）を満たす

本研究では、不良配置数を損失と捉えて CVaR を最小化する。

### 2.3 定式化

本定式化では、船舶到着時刻の多変量確率分布を導入する。この分布から到着時刻を抽出

Container pre-marshalling problem considering uncertainty of vessel arrival time

<sup>†</sup> Daiki Ikuma, University of Tsukuba

<sup>‡</sup> Noriyoshi Sukegawa, Hosei University

<sup>§</sup> Yuichi Takano, University of Tsukuba

し、到着順番に変換したものをシナリオとする。本研究ではシナリオを複数生成し、シナリオごとに不良配置数を計算し、不良配置数の CVaR を最小化するという以下の定式化を行った。

$$\min u \quad (1)$$

$$\text{s.t. } u \geq \alpha + (1 - \beta)^{-1} \sum_{j \in \mathcal{J}} p_j w_j \quad (2)$$

$$w_j \geq \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{h \in \mathcal{H} \setminus \{1\}} z_{shj} - \alpha \quad \forall j \in \mathcal{J} \quad (3)$$

$$z_{shj} \geq \sum_{k=p}^P x_{sho_j(k)} - \sum_{k=p}^P x_{sh'o_j(k)} \\ \forall s \in \mathcal{S}, \quad \forall h \in \mathcal{H} \setminus \{1\}, \quad h' < h, \quad (4) \\ \forall p \in \mathcal{P}, \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{h \in \mathcal{H}} x_{shp} = |C_p| \quad \forall p \in \mathcal{P} \quad (5)$$

$$\sum_{p \in \mathcal{P}} x_{shp} \leq 1 \quad \forall s \in \mathcal{S}, \quad \forall h \in \mathcal{H} \quad (6)$$

$$\sum_{p \in \mathcal{P}} x_{s,h+1,p} \leq \sum_{p \in \mathcal{P}} x_{shp} \quad \forall s \in \mathcal{S}, \quad \forall h \in \mathcal{H} \quad (7)$$

$$x_{shp} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in \mathcal{S}, \quad \forall h \in \mathcal{H}, \quad \forall p \in \mathcal{P}, \\ z_{shj} \in \mathbb{R}_+ \quad \forall s \in \mathcal{S}, \quad \forall h \in \mathcal{H} \setminus \{1\}, \quad \forall j \in \mathcal{J}, \\ w_j \in \mathbb{R}_+ \quad \forall j \in \mathcal{J}, \quad \alpha \in \mathbb{R}_+, \quad u \in \mathbb{R}_+ \quad (8)$$

目的関数 (1) は CVaR を最小化している。制約 (2),(3) はシナリオごとの不良配置数から CVaR を計算している。制約 (4) は、シナリオごとにどの位置のコンテナが不良配置となるかを表しており、これが損失関数の役割を果たす。制約 (5),(6) はすべてのコンテナが格納領域の中に位置しているという制約であり、制約 (7) は同列のコンテナ間に空白を許さない (コンテナは浮遊しない) という制約である。

## 2.4 切除平面法

前節で提示した定式化は多変量の確率分布を近似するために膨大なシナリオ数が必要となる。しかし、シナリオ数が大きくなれば問題サイズが増大するため、計算時間が増加してしまう。そこで、本研究では切除平面法 [2] を用いる。切除平面法とは、制約を減らした緩和問題

の最適解から初めて、実行可能領域を残しつつ緩和問題の最適解を除去する制約の追加を繰り返すアルゴリズムである。切除平面法を用いることでシナリオ数が多い場合でも効率的に解を探索できる。

## 3 数値実験

ロバスト最適化モデル [1] と不良配置数を比較することで、提案手法の性能を検証する。また、切除平面法と直接求解の計算時間を比較し、切除平面法の効率性についても検証する。実験に使用したデータおよび結果の詳細は当日報告する。

## 参考文献

- [1] Boge, S., Goerigk, M., & Knust, S. (2020). Robust optimization for premarshalling with uncertain priority classes. *European Journal of Operational Research*, 287(1), 191-210.
- [2] Künzi-Bay, A., & Mayer, J. (2006). Computational aspects of minimizing conditional value-at-risk. *Computational Management Science*, 3(1), 3-27.
- [3] Rendl, A., Prandtstetter, M. (2013). Constraint models for the container premarshalling problem. In *Proceedings of ModRef 2013*.
- [4] Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2002). Conditional value-at-risk for general loss distributions. *Journal of Banking & Finance*, 26(7), 1443-1471.