# 倉庫における品物の効率的な配置

2014SS099 柚木 翔伍

指導教員: 福嶋 雅夫

## 1 はじめに

昨今，物流分野においては，労働力不足を訴える業界の声が大きくなるとともに，将来的な物流の維持・確保に対する懸念が顕著になってきている．その中で倉庫業は，日常生活や産業活動に欠かせない重要な商品や物資の安全な保管を通じて適時，適切に物資の安定供給を図る物流の結節点として重要な役割を担っている [1]．

ある会社では，毎日何回か倉庫から取り出す品物の注文リストを受け取り，倉庫従業者がリストに載っている品物を 1 つずつピッキングして集める．そのとき，それらの品物すべてピッキングをするために移動する距離が大きいほど倉庫従業者の負担は大きいと考えられる．また，品物によって注文の頻度が異なるため，各品物が一つの注文リストに載る 1 週間あたりの平均回数にはばらつきがある．そのため，1 週間を通して倉庫従業者が移動する距離の合計ができるだけ小さくなるように倉庫内の品物を配置すれば，倉庫従業者の負担が軽減され，ひいては倉庫業務の効率化が達成されると期待できる．

本研究では，各品物の注文頻度，すなわち一つの注文リストに載る確率を所与として，それらの注文頻度に基づいて品物を配置するいくつかの方法を考え，与えられた注文リストに対し，最短距離でピッキングする問題を，巡回セールスマン問題として定式化し，シミュレーションを行うことにより，それらの配置方法が倉庫従業者の負担をどの程度軽減するかを評価する．

## 2 倉庫モデル

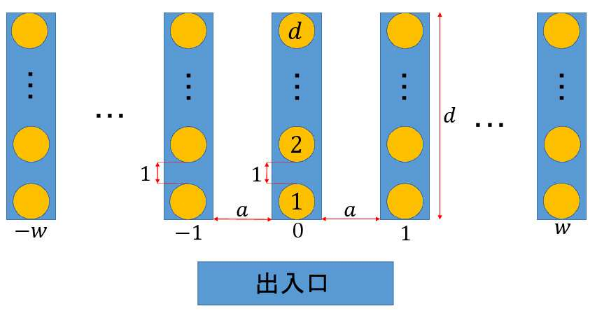


図 1 倉庫の平面図

図 1 のような倉庫モデルを考える．出入口は，倉庫の正面中央に位置し，出入口に面した中央の棚に関して，左右対称に奇数個の棚が左から順に，$-w, -w+1, ..., -1, 0, 1, ..., w-1, w$ とラベル付けされ，等間隔で $2w+1$ 個並んでいる．棚から品物をピッキングする際，片側からしかピッキングすることができない．また，各棚は，出入口に近い方から，$1, 2, ..., d$ とラベル付けされた $d$ 個の区画に分けられており，1 区画の長さを 1 とし，棚の間隔を $a$ とする．これらの棚と区画を用いることで，品物を配置する位置は 2 次元座標 $(n, m)$ で表される．ただし，$n \in \{-w, -w+1, ..., -1, 0, 1, ..., w-1, w\}, m \in \{1, 2, ..., d\}$ である．したがって，品物を配置できる区画の総数は，$(2w+1)d$ となる．以下では，簡単のため，倉庫に配置する品物の種類は配置可能な区画の総数 $(2w+1)d$ と等しいと仮定する．

### 2.1 記号の定義

モデル化に用いる記号をまとめる．

$a$ : 隣り合う棚の間隔

$d$ : 倉庫の奥行き (棚の区画数)

$w$ : 出入口から一番右の棚のラベル

$-w$ : 出入口から一番左の棚のラベル

$(n, m)$ : 棚 $n$ の第 $m$ 区画の位置を表す座標

### 2.2 2 つの品物間の距離

座標 $(n, m)$ に配置された品物をピッキングした後, 座標 $(n', m')$ に配置された品物をピッキングするために移動する距離 $D[(n, m), (n', m')]$ は，次式で与えられる．

$$D[(n,m),(n',m')] = \begin{cases} |m'-m| & (n = n' \text{のとき}) \\ \min\{m+m', 2d-(m+m')\} & \\ \quad +a|n'-n| & (n \neq n' \text{のとき}) \end{cases}$$

ただし，$n, n' \in \{-w, -w+1, ..., -1, 0, 1, ..., w-1, w\}$, $m, m' \in \{1, 2, ..., d\}$ である．

## 3 移動距離の最適化

この節では，一つの注文リストが与えられたときに，そこに載っている品物を最短距離でピッキングする問題を考える．注文リストに載っている品物を {1,2,...,$L$}，倉庫におけるそれらの配置場所を $(n_i, m_i)$，ただし $i = 1, 2, ..., L$, とする．さらに特別な場所として倉庫の出入口の座標を $(n_0, m_0) = (0, 0)$ とする．各品物の配置場所と倉庫の出入口を $(L+1)$ 個の節点とし，それらの間の移動距離を節点間を結ぶ枝の長さとしたグラフを考える．具体的には，節点集合を $N = \{0, 1, 2, ..., L\}$，枝集合を $A = \{(i, j) | i, j \in N, i \neq j\}$ とする完全無向グラフ $G = (N, A)$ を考え，各枝 $(i, j)$ の長さ $d_{ij}$ を，前節で定めた座標 $(n_i, m_i)$ と $(n_j, m_j)$ の距離 $D[(n_i, m_i), (n_j, m_j)]$ とする．そのとき，最短距離で注文リストの全ての品物をピッキングする問題は，このグラフに対する巡回セールスマン問題 [2],[3] になる．すなわち，ひとつの注文リストに対する倉庫従業者の負担は，その注文リストに対応する巡回セールスマン問題を解くことにより得られる．

### 3.1 解法

次に，グラフ $G=(N,A)$ に対する巡回セールスマン問題の解法を考える．解法として，実質的にすべての巡回路を調べ，最適解を導出する厳密解法と，計算量を減らし，最適解とは限らないが，近似解を求められる近似解法がある [2],[4]．もし全列挙法を用いるならば，一つの注文リストに対して，$(N-1)!/2$ 通りの巡回路を調べる必要がある．より効率的な厳密解法である分枝限定法を用いても，問題の規模が大きくなれば，多大な計算時間を要すると考えられる．そのため，本研究では，近似解法を用いる．具体的には，最近近傍法を用いて巡回路を生成した後，その巡回路に対して，2-opt 法を用いることで，より最適解に近づける [4]．アルゴリズムを以下に記述する．その中で，$S \subseteq N$ はまだピッキングされていない品物の節点集合，$\sigma$ は構成中の巡回路を表す．

Step1 $S := N, i := 0, k := 1$ とする．

Step2 $\sigma(k) := i, S := S\backslash\{i\}$ とする．$S=\emptyset$ ならば，巡回路 $\sigma$ が得られたので Step4 へ進む．

Step3 $i := \arg\min_{j\in S} d_{ij}, k := k+1$ とし，Step2 に戻る．

Step4 ステップ数 $s := 0$, 最大ステップ数を $z$ とする．

Step5 $s = z$ ならば巡回路を出力して終了．現在の巡回路において，隣接しない 2 つの枝 $(i,j)$ と $(k,l)$ を選ぶ．

Step6 巡回路上の枝 $(i,j),(k,l)$ と巡回路上にない枝 $(i,k),(j,l)$ に対して $d_{ij}+d_{kl} > d_{ik}+d_{jl}$ であれば枝 $(i,j)$ と $(k,l)$ を枝 $(i,k)$ と $(j,l)$ で置き換えて巡回路を更新する．

Step7 $s := s+1$ として Step5 に戻る．

## 4 倉庫従業者の負担

次に，倉庫従業者の 1 週間での負担を求める．1 週間で扱う注文リストの数を $K$，一つの注文リストに $L$ 個の品物が載っているとしたとき，1 週間の注文リストには，延べ $KL$ 個の品物が載っている．その時，同じ品物が複数の注文リストに載っているが，その回数は各品物の注文頻度によって決定される．そのため, 各品物の注文頻度を基にランダムに生成した $K$ 個の注文リストのそれぞれに対して前節の巡回セールスマン問題を考えることにより，1 週間の倉庫従業者の負担を計算することができる．

## 5 品物の配置法の評価

品物の配置の代替案を 3 つ考え，それぞれの配置法に従って品物が配置された倉庫に対し，前節までの方法を用いて，倉庫従業者の負担を評価することにより，どの配置法が優れているかを考察する．

### 5.1 3 つの配置法

本研究では，注文頻度が多い順に，ある規則に基づいて品物を配置する．まず，配置法 1 は，品物をランダムに並べる配置である．次に，配置法 2 は，入り口から近い順に同心円状に並べる配置である．最後に，配置法 3 は，入り口から近い順に列ごとに並べる配置である．

### 5.2 結果と考察

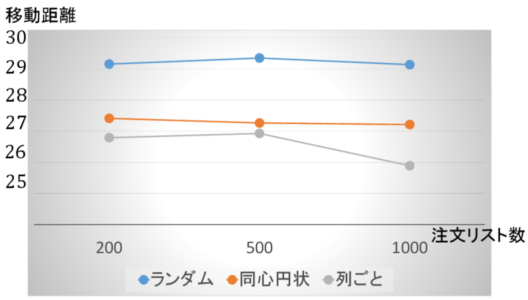


図 2 各配置法の移動距離の平均

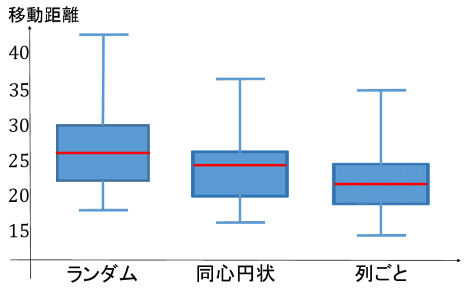


図 3 移動距離の分布

図 2 は，1 つの注文リストに載っている品物数を 10 として，注文リスト数を 200，500，1000 と増やした場合の各配置法の移動距離の平均の推移を表している．図 3 は，1 つの注文リストに載っている品物数を 8，注文リスト数を 1000 とした結果であるが，1 つの注文リストに載っている品物数を 10,12 と増やした場合でも，同様の結果が得られた．このことから，3 つの方法のなかで，最も優れた方法は，品物を列ごとに並べる方法であると考えられる．

## 6 おわりに

本研究では，与えられた注文リストに対し，最短距離でピッキングする問題を，巡回セールスマン問題として定式化することにより，品物の配置法を評価した．計算実験では，25 個の品物が配置されている倉庫モデルを扱ったが，配置されている品物数を増やした場合や，倉庫の構造が複雑な場合でも，ここで考えた方法を用いて，配置法の評価ができると考えられる．

## 参考文献


[1] 『物流:「物流問題調査検討会」について- 国土交通省』，http:\\www.mlit.go.jp\seisakutokatsu\freight \seisakutokatsu_freight_tk1_000048.html

[2] 久保幹雄，J.P. ペドロソ:『メタヒューリスティックスの数理』，共立出版，2009

[3] 福島雅夫:『数理計画入門』，朝倉書店，2013

[4] 柳浦睦憲，茨木俊秀:『組合せ最適化-メタ戦略を中心として-』，朝倉書店，2015