

商品の出荷頻度を考慮した動管と補管の区分けに関する研究

2455011 野崎 康誠

指導教員 黒川 久幸 教授

1. 序論

近年、少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少により、物流現場における労働力不足は深刻な問題となっている。特に、多頻度小口化が進む倉庫内作業において、全工数の約 50%以上を占めるとされる「ピッキング作業」の効率化は急務であり、作業者の移動距離削減は生産性向上に直結する重要なテーマである。

そこで、ピッキング作業を効率化する代表的な手法として、ダブルトランザクションシステム(以下、DTS)が挙げられる。DTSは、倉庫内をピッキング専用の「動管エリア」と在庫保管用の「補管エリア」に区分けすることによってピッキング移動距離を削減し、作業効率化を図る仕組みである。

しかし、この動管エリアへの商品割り当てにおいて、一般的に用いられるABC分析(出荷頻度順配置)では、商品毎の大きさの違いに起因する1棚あたりの保管個数や1回あたりのピッキング個数、さらには補充方法の違いといった現実的な制約が十分に考慮されていない場合が多い。例えば、高出荷頻度の商品であっても「商品容積」が大きい、あるいは「1回あたりのピッキング個数」が多い場合、それらを一律に入出荷口付近へ配置すると、頻繁な補充作業が発生してしまう。その結果、補充移動距離の増加に加え、限られた高効率な保管ロケーションが早期に枯渇してしまう。その結果、他の中頻度品を遠方へ追いやることとなり、全体としての総移動距離はかえって増加してしまうという懸念がある。

そこで本研究の目的は、DTS運用において、商品ごとの大きさの違いに起因する1棚あたりの保管個数や1回あたりのピッキング個数を考慮した数理モデルを構築し、シミュレーションを通じて倉庫全体の総移動距離を最小化し、その際の商品配置の特性を明らかにすることである。

2. 分析方法

2.1 モデル倉庫の概要

本研究では、シミュレーションの対象として、

間口12列×奥行9行(計108棚)のグリッド状倉庫モデルを設定した(図1参照)。

倉庫内の出入口は、手前側通路の中央にあたる座標(6, 0)に位置し、すべてのピッキング作業はこの地点を起終点とする。倉庫内の運用については、在庫をピッキング専用の「動管」と在庫保管用の「補管」に機能区分するダブルトランザクションシステム(DTS)を採用する。

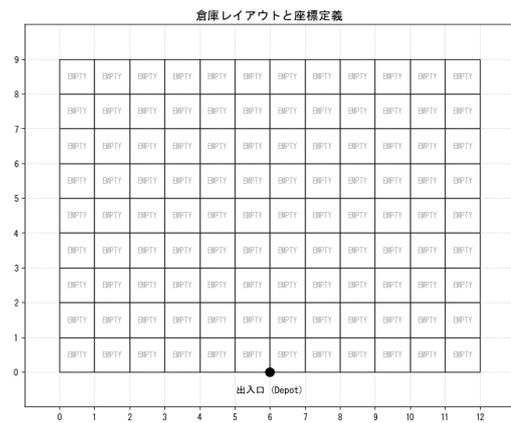


図1 倉庫レイアウト図

2.2 移動距離の算出定義

本モデルにおける作業員の移動経路は、棚間の直角移動(マンハッタン距離)に従うものとする。出入口の座標を(6, 0)、対象棚*i*の座標を(x_i, y_i)としたとき、各作業における移動距離は以下の通り算出される。

- (1) 1回のピッキング移動距離(往復): トータルピッキング(種まき方式)の集品工程を想定し、出入口を出発して対象商品を回収し、再び出入口へ戻る往復の移動距離とする。

$$2 \times (|x_i - 6| + |y_i - 0|)$$

- (2) 1回の補充移動距離(片道): 補管棚(x_s, y_s)から動管棚(x_t, y_t)へ商品を補充する際の移

動距離で、補充作業は補管棚と動管棚との間の往復の移動とする。

$$2 \times (|x_t - x_s| + |y_t - y_s|)$$

2.3 シミュレーション条件の設定

第1章で述べた「商品容積」や「1回あたりのピッキング個数」の影響を明らかにするため、以下の3つの実験条件を設定し、倉庫全体の総移動距離を最小化するための検証を行った。

【実験1】運用シナリオの比較

動管・補管の区分有無および補充方法の違いによる影響を検証するため、以下の3つのシナリオを設定した。

シナリオ①(区分けなし)：倉庫内全域を対象としたフリーロケーション運用。補充を行わないため、ピッキング移動距離のみを評価対象とする。

シナリオ②(DTS・都度補充)：動管の商品が出荷されるたびに、補管から1個単位で直ちに補充を行う。

シナリオ③(DTS・まとめ補充)：期間中はピッキングのみを行い、減少した在庫分を事後にまとめて補充する。補充は棚単位(1棚あたりの保管可能数)で行う。

【実験2】商品容積の変化

商品ごとの大きさの違いを反映させるため、「商品容積」を変化させる。容積が大きい商品は、1棚あたりの保管可能個数が減少するため、高出荷頻度品であっても1棚あたりのピッキングのためのアクセス頻度は減少する。この物理的制約が配置戦略に与える影響を検証する。

【実験3】1回あたりのピッキング個数の変化

「1回あたりのピッキング個数」が多い商品は、棚からのピッキングのためのアクセス頻度が相対的に小さくなる。この需要特性が総移動距離に与える影響を検証する。

3. 結果と考察

3.1 【実験1】運用シナリオによる比較

各シナリオにおけるシミュレーション結果として、倉庫全体の総移動距離を比較した(図2参照)。まず全体の結果として、総移動距離が短い順に、③<①<②となり、シナリオ③が最も効率的である一方、シナリオ②が最も非効率な結果となった。

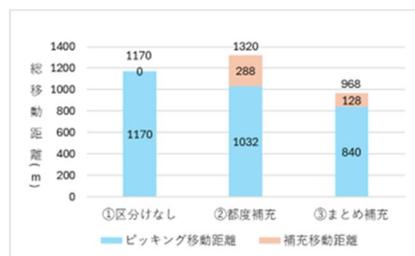


図2 各シナリオにおける総移動距離の比較

以下に各シナリオの特性を詳述する。

まず、シナリオ①(区分けなし)は、在庫が倉庫全域に分散しているため、ピッキングごとの移動距離が長く、非効率な結果となった。

次に、シナリオ②(DTS・都度補充)は、高頻度品を手前に集約することでピッキング移動距離の短縮には成功した。しかしその一方で、出荷のたびに発生する補充作業の移動距離が膨大となり、結果としてシナリオ①をも上回る最大の総移動距離を記録した。

これに対し、シナリオ③(DTS・まとめ補充)は、シナリオ②の課題であった補充回数を「まとめ補充」によって大幅に抑制することで、補充のデメリットを最小限に抑えつつピッキング効率を最大化し、最小の総移動距離を実現した。

以上の結果より、DTS運用においては、単に機能を分けるだけでなく、補充回数を抑制する「まとめ補充」を採用することにより、倉庫全体の作業効率化(総移動距離の最小化)が実現できることが明らかとなった。

3.2 【実験2】商品容積変化による影響

まず、最も出荷頻度が高い商品Aの容積を変化させた際(10cm³→45cm³)の影響を検証した。これに伴い、商品Aの1棚あたりの保管個数は27個から6個へと大幅に減少した。この条件下におけるシナリオ③の配置結果を図3に示す。

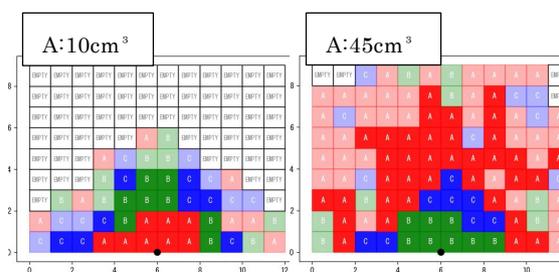


図3 シナリオ③での商品A大型化時の配置変化

図3から明らかなように、商品Aの容積増大に伴い、倉庫全体の使用棚数が著しく増加している

ことが確認できる。これは、商品 A の保管個数が 27 個から 6 個へと激減したことで、同量の在庫を維持するために必要な棚数が約 4.5 倍に膨れ上がったためである。このような使用棚数の増加により、ピッキングおよび補充において奥の棚まで移動する頻度が高まり、その影響で総移動距離が大幅に増加する結果となった。

また、この時の配置特性 (図 3) を見ると、従来の ABC 分析とは異なる現象が起きていることがわかる。商品 A は容積拡大により「1 棚あたりのアクセス頻度」が低下した。対照的に、相対的に容積が小さい中頻度品 (商品 B) は、1 棚に多数保管できるためアクセス頻度が高い状態となった。その結果、総移動距離を最小化するために、中頻度品 (商品 B) が出入口に最も近い最優先場所へ配置され、高頻度品 (商品 A) は出入口付近から切り離されて倉庫の後方へ配置されるという逆転現象が確認された。

一方で、出荷頻度の低い商品 C の容積を大きくした際 ($10\text{cm}^3 \rightarrow 45\text{cm}^3$) の影響についても検証した。シミュレーションの結果、商品 C の容積増大に伴い、総移動距離は緩やかながらも増加する傾向が確認された。ただし、その増加率は高頻度品 (商品 A) の場合と比較して著しく小さいものであった。このように距離の増加が限定的であった理由は、商品 C はもともとの出荷頻度が低いため、個体の容積が増加しても倉庫全体の必要棚数への影響が軽微であったためである。この条件下におけるシナリオ③の配置結果を図 4 に示す。

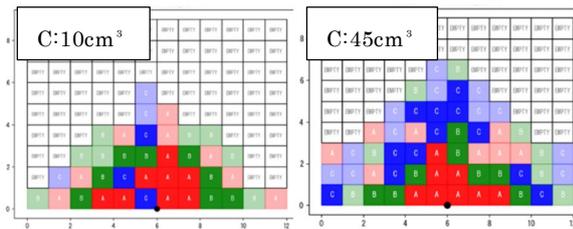


図 4 シナリオ③での商品 C 大型化時の配置変化

容積が小さい初期段階 (10cm^3) では、商品 C (青) の動管エリアは比較的出入口の近くに配置されていたが容積が最大 (45cm^3) まで拡大すると、出入口から遠い位置へ配置が後退している。これは商品 A (赤) と同様に、容積増大によって「1 棚あたりのアクセス頻度」が低下したため、より効率の良い他商品に場所を譲り、遠方へ配置された結果であると考えられる。

以上の比較より、商品容積の増大はいずれの商品においても配置を遠方化させ、移動距離を増加

させる要因となるが、その影響は出荷頻度が高い商品ほど顕著に現れることが確認された。

3.3 【実験 3】1 回あたりのピッキング個数の影響

本節では、物理的属性ではなく、運用パラメータである「1 回あたりのピッキング個数 (ピッキング単位)」を変化させ、配置および総移動距離への影響を検証した。なお、ピッキング単位の増加は、1 回のオーダーで複数個の商品がまとめて注文される状況を意味する。高頻度品 (商品 A) のピッキング単位を増加 (1→9) させたときのシナリオ①における配置の変化を図 5 に示す。

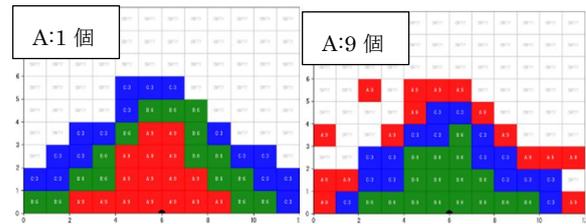


図 5 商品 A のピッキング単位増加時の配置変化

商品 A のピッキング個数が 1 個のときは、従来の出荷頻度が高い商品を出入口付近に配置する形になったが、ピッキング個数を 9 個まで増やすと、商品 A は出入口付近から後方エリアへと配置転換され、代わって商品 B が手前の最優先エリアを占有する「配置の逆転」が確認された。これは、A の「1 棚あたりのアクセス頻度」が低下したからであり、相対的にアクセス頻度の高くなった商品 B を出入口近くに配置する方が、倉庫全体の総移動距離を最小化できるためである。

この結果は、最適配置を決定する支配的な要因が「出荷総数 (量)」ではなく、「1 棚あたりのアクセス頻度 (回数)」であることを定量的に裏付けている。これに伴い、棚と出入口間の往復回数が物理的に削減され、総移動距離は約 51%もの大幅な短縮を記録した。

一方、出荷頻度の低い商品 C について同様にピッキング単位を増加 (1→9) させた場合のシナリオ①における配置の変化を図 6 に示す。

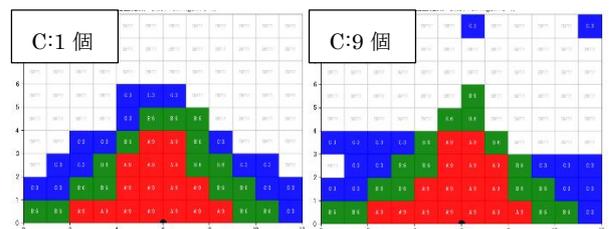


図 6 商品 C のピッキング単位増加時の配置変化

比較してもわかるように、商品Aのピッキング単位を変化させた際に見られたような顕著な変化は確認されず、両者はほぼ同一の配置(Aが手前、Cが奥)を維持している。これは、商品C(青)が元来アクセス頻度の低い商品であり、その頻度をさらに下げても、頻度順位(A>B>C)に変動が生じないためである。

結果として、総移動距離の短縮幅も限定的であった。

以上より、ピッキング単位の拡大は、高頻度品に対して適用した場合にのみ、顕著な効率化効果が得られることが示された。また、本実験の結果は、出荷個数などの情報にとらわれず、「棚あたりのアクセス頻度」に基づいて配置を変更することが、総移動距離を最小化する上で最適であることを強く示唆している。

3.4 分析のまとめ

本章では、DTSにおける運用方法の違いや、物理的・運用的制約が総移動距離および最適配置に与える影響について、3つの実験を通じて検証を行った。

まず、実験1において、動管・補管の区分けによりピッキング距離の短縮は実現できるものの、それが必ずしも総移動距離の削減には直結しないことが明らかとなった。「都度補充」のような高頻度な補充運用は、ピッキング距離の短縮効果を相殺し、かえって総移動距離を増大させるリスクがある。対照的に、補充回数を抑制する「まとめ補充」を採用することで、総移動距離を最大で約26.7%削減できることが示された。

次に、実験2より、商品の大きさが運用の成否を分ける要因であることが判明した。商品容積が小さく、1棚に多量に保管できる高密度商品に関しては「まとめ補充」が極めて有効であるが、容積が大きく補充頻度が高くなりやすい商品については、その優位性が低下する傾向が確認された。

実験3より、ピッキング単位(まとめ取り)の変更が、商品の最適配置に直接的な影響を与えることが確認された。特に、高頻度品においてピッキング単位を増やした場合、棚への訪問回数が減少することで、従来の「出荷量基準」とは異なる配置(配置の逆転)が最適解となることが示された。

4. 結論

本研究では、物流倉庫におけるピッキング作業の効率化を目的として、DTSにおける最適な運用方法と商品配置について、シミュレーションを用いた検証を行った。従来の出荷頻度のみに基づく配置決定の問題点を指摘し、補充作業や物理的制約を含めた総移動距離の最小化を目指した。本研究を通じて得られた主要な知見は、以下の通りである。

第一に、システム導入の効果は運用方法に強く依存する点である。動管エリアと補管エリアを分離するだけでは、頻繁な補充作業(都度補充)によって総移動距離がかえって増大するリスクがある。これに対し、一定量をまとめて補充する「まとめ補充」を導入することで、補充回数を物理的に抑制し、総移動距離を確実に削減できることが確認された。

第二に、商品の「物理的特性」と「運用特性」が、実質的な作業負荷を変動させる点である。実験2では、商品容積の増大に伴い「1棚あたりの保管個数」が減少すると、補充回数が増大し、配置の優位性が損なわれることが示された。また、実験3では、「1回あたりのピッキング個数」の増加が棚への訪問回数を著しく減少させ、高頻度品であっても配置場所を後方へ移動させる「配置の逆転」が発生することが明らかとなった。

これら一連の実験結果を総合的に考察すると、本研究の結論は次のように導かれる。倉庫内の最適配置を決定する支配的な要因は、従来重視されてきた「出荷総数(量)」そのものではない。むしろ、「1棚あたりの保管個数」および「1回あたりのピッキング個数」によって規定される実質的な「1棚あたりのアクセス頻度」こそが、最適化に向けた本質的な指標である。

したがって、今後の物流倉庫運営においては、WMS(倉庫管理システム)等に蓄積された単なる出荷履歴データだけでなく、商品の三辺サイズから算出される保管可能数や、梱包・ピッキング単位といった属性情報の整備を行い、それらに基づいて算出した「1棚あたりのアクセス頻度」により、動的にロケーション管理を行うことが必要不可欠である。本研究は、この統一的な指標を用いることで、DTSの運用精度を飛躍的に向上できることを示唆している。