

倉庫シェアリングサービスを踏まえた利潤追求型 SCN の倉庫配置計画

東京大学工学部システム創成学科 森島周亮
川崎智也

1. はじめに

近年物流における倉庫利用の形態として倉庫シェアリングサービスが普及し始めている。これは荷物の保管需要の多様化の進展に対応するために物流業界における労働生産性の改善に向けた革新的な取組の一つとして挙げられている^[1]。このサービスでは、デジタルプラットフォームを介して倉庫の遊休スペースを活用したい倉庫事業者側と新規で貨物を保管するためのスペースを確保したい荷主側を結びつける。その特徴として、倉庫スペースは遊休スペースであるため小さいが、一般的には固定費がなく従量課金制で費用を支払い、従来の賃貸型の倉庫と比べて契約に至るまでが早く、必要な人的資源を抑制できることが挙げられる。これらの特徴は、倉庫機能も自社で持つ荷主企業が複数の倉庫を利用し顧客の要望に対応する時間を短くすることで顧客に高い価値を提供できるような分散型のSCNを構築し得る利潤をより大きくすることができる可能性を示唆するものである^{[2],[3]}。

倉庫シェアリングサービスに関連する研究は少ないが、有事の際におけるトラックや倉庫等のシェアリングサービスの有用性を分析した研究がある^[4]。しかし、平時における倉庫シェアリングサービスの利用についての研究は筆者の知る限りではない。倉庫の集約・分散については様々な研究があり、その多くは集約型の方が費用的に優位であるという結果を示している^[5]等が、外的要因に応じて最適な倉庫の集約度は変化する。例として荷主企業がリスク回避的である場合^[6]や地理的条件や貨物需要^[7]により分散型の倉庫利用が選択される可能性がある。そこで本研究では倉庫シェアリングサービスを踏まえ、SCN内で利用する倉庫数の変化に対する利潤の変化を観察することで最適な倉庫利用を検討することを目的とする。

3. 手法

3.1. ネットワークと計算の流れ

本研究では工場、倉庫、小売店の流れで商品が輸送されるSCNを対象とする。単一製品複数倉庫のSCNを仮定し、卸売と小売の機能を有している企業を対象とする。計算では、まずSCN内の利用する倉庫数を n 個として固定し施設配置問題を解く。利用倉庫数を変化させることで様々な n の値に対する利潤の最大値を得ることができるため、その利潤の最大値を比較しどの利用倉庫数の時に企業が利潤を最大化しているのかを求めることができる。

3.2. 目的関数

目的関数は対象とする企業が貨物を工場から仕

入れ、小売店にて市場へ販売するまでに発生する売上と費用を考慮して組み立てられる利潤関数とする。最適化問題の式は以下の(1)式のようになる。

$$\max_{X_i, Y_{ij}} Profit \quad (1)$$

$$Rev = \psi \sum_{j \in R} \lambda_j^R p_{rd} \quad (2)$$

$$FC^W = \frac{\psi}{30} \sum_{i \in W} X_i f_i^W \quad (3)$$

$$OC^W = \sum_{i \in W} X_i o c_i \quad (4)$$

$$TRC = 0.62 Rev \quad (5)$$

$$IOCw = \psi \sum_{i \in W} \sqrt{2A_i h_i^W D_i} + \sum_{i \in W} z_0 \psi h_i^W \sqrt{t_i^{MW}} \left(\sum_{j \in R} \sigma_j Y_{ij} \right) \quad (6)$$

$$IOCr = \psi \sum_{j \in R} \sqrt{2A_j h_j^R \lambda_j} + \sum_{j \in R} z_0 \psi h_j^R \sqrt{t_j^{WR}} \sigma_j \quad (7)$$

$$TC = \psi \sum_{j \in R} \left(g_{ij}^{WR} + \sum_{i \in W} c_{ij}^{WR} t_{ij}^{WR} \lambda_j^R Y_{ij} \right) \quad (8)$$

$$LSC = \sum_{j \in R} \sum_{i \in W} \lambda_j u t v^{WR} t_{ij}^{WR} Y_{ij} \quad (9)$$

$$\sum_{i \in W} X_i = n \quad (10)$$

$$\sum_{i \in W} Y_{ij} = 1 \quad \forall j \in R \quad (11)$$

$$Y_{ij} \leq X_i \quad \forall i \in W, j \in R \quad (12)$$

$$X_i \leq \sum_{i \in W} Y_{ij} \quad \forall i \in W \quad (13)$$

$$\sum_{j \in R} \mu_j Y_{ij} \leq w_i \quad \forall i \in W \quad (14)$$

考慮される費用として施設費用(3)、機会費用(4)、取引費用(5)、在庫関連費用(6)と(7)、倉庫小売店間の輸送費用(8)、小売店での販売機会損失費用(9)があり、これらを売上(2)から減ずることで利潤 $Profit$ を得る。本モデルでは需要が配送時間に応じて変化するため売上は利用倉庫数の増加と共に増加すると想定される。決定変数は倉庫の利用状態を判別する二値変数 X_i と、倉庫小売店間で貨物が輸送されているかを判別する二値変数 Y_{ij} を設定する。制約条件としては、利用する倉庫が n 個(10)、各小売店は一つの倉庫からのみ貨物を調達する(11)、各小売店は利用されている倉庫からのみ調達する(12)、各倉庫は利用される場合少なくとも一つの小売店へ貨物を輸送する(13)、各倉庫は容量以上の貨物を扱えない(14)という式を与えている。また、このとき(6)及び(7)の第一項の非線形関数に対して区分線形近似を行うことで式全体を混合整数線形計画問題とした。

4. ケーススタディ

関東圏内にある倉庫シェアリングサービス WareX [8]の倉庫データを用いて関東圏内にある工場、倉庫、小売店からなるSCN (Fig. 1) に前章で開発したモデルを適用し、それにより得た結果を Fig. 2 に示す。



Fig. 1 Location of manufacturer, warehouses, and retailers

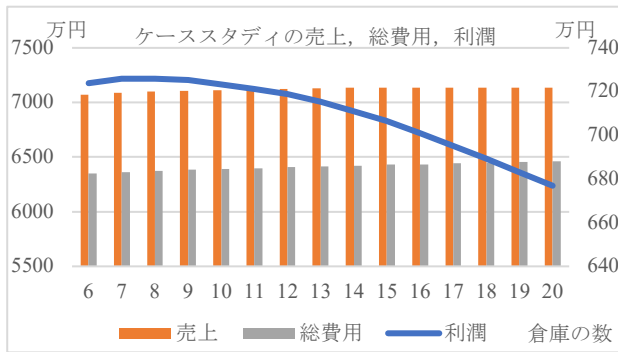


Fig. 2 Result of optimization

ケーススタディにおいては利用倉庫数が $n = 7$ の時に利潤が最大化することが分かった。Fig. 3 は各倉庫が持つ費用をプロットした図で、Fig. 4 は $n = 7$ の時に利用されている倉庫の位置をプロットした図であるが、これらの図より各倉庫の費用の小ささは倉庫利用に強い影響は及ぼさずむしろ小売店集合へ近い倉庫が選ばれるという傾向が明らかになった。この結果より、倉庫を増やして倉庫小売店間配送時間が減りその結果売上や費用が変化することで得られる利潤の増加分が倉庫を増やすために必要な費用 (=機会費用)を上回れば、倉庫を増やし分散型の利用を行う利点が現れるという洞察を得ることができた。

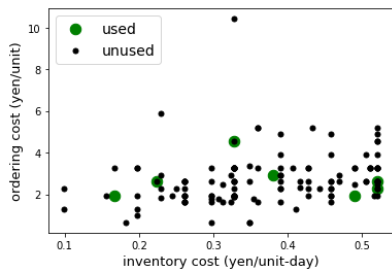


Fig. 3 Cost of used and unused warehouse

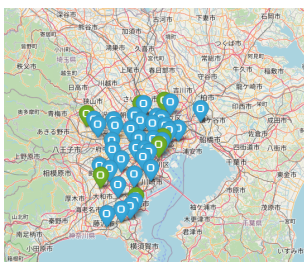


Fig. 4 Location of used warehouse (green points)

5. シナリオ分析

倉庫利用における分散の度合いや倉庫シェアリングの利用に影響を及ぼすと考えられる入力値として、小売店群の位置と密度、貨物の時間価値、需要の季節性を変化させその結果を考察した。例えば小売店群の位置と密度を変化させることにより、小売店集合が疎である場合は倉庫を増やすことで減少させられる平均配送時間が大きくなる。そのため売上がより増加し輸送費用等の費用がより減少することで結果的に倉庫を増やすことによる利潤の増加分が増えるので、小売店集合がその場合は分散型の利用がより利潤を高める結果になると結論付けられた (Fig. 5)。

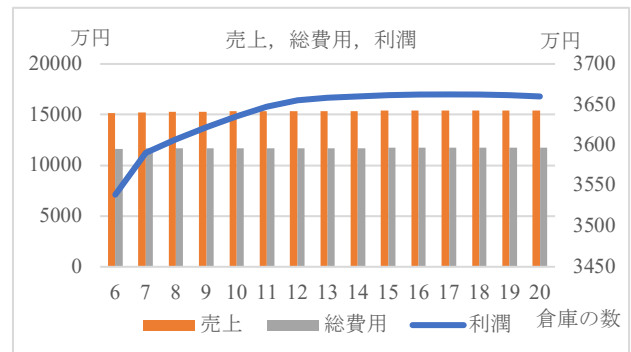


Fig. 5 Result when retailers are sparse.

6. おわりに

ケーススタディやシナリオ分析では倉庫シェアリングサービスの利用は、適切な環境下であれば企業の利潤追求において分散型の倉庫利用を促進するという示唆を得た。しかし本研究では対象とする企業を限定しており、実際には工場、卸業、小売業がそれぞれ独立に意思決定を行うことも多い。今後の研究ではSCNを形成する各プレイヤーが最適な行動をとるような現実により即するモデルを構築していくことが望まれる。

参考文献

- [1] 国土交通省. (2021). 総合物流施策大綱 (2021 年度~2025 年度). 2023 年 1 月 23 日取得. <https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001409564.pdf>
- [2] Gesing, B. (2017). Sharing economy logistics: Rethinking logistics with access over ownership. DHL Customer Solutions & Innovation.
- [3] Simchi-Levi D. Kaminsky P. & Simchi-Levi E. (2000). Designing and managing the supply chain : concepts strategies and case studies. Irwin/McGraw-Hill.
- [4] L'Hermitte, C., & Nair, N. K. C. (2021). A blockchain - enabled framework for sharing logistics resources during emergency operations. Disasters, 45(3), 527-554.
- [5] Eppen, G. D. (1979). Note—effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem. Management science, 25(5), 498-501.
- [6] [15] Schmitt, A. J., Sun, S. A., Snyder, L. V., & Shen, Z. J. M. (2015). Centralization versus decentralization: Risk pooling, risk diversification, and supply chain disruptions. Omega, 52, 201-212.
- [7] Kang, S. (2020). Why do warehouses decentralize more in certain metropolitan areas?. Journal of Transport Geography, 88, 102330.
- [8] WareX. (2022). 全国の倉庫がすぐに見つかる | WareX ウェアアクセス. 2023 年 1 月 18 日取得. <https://warex.ai/>