

倉庫マッチングシステムを対象とした 倉庫配置と配送経路の効率化に関する研究

Optimization of warehouse allocation and delivery routes using warehouse matching system

西田 壮汰*
Nishida Sota

*交通マネジメント工学講座 交通情報工学分野

1. はじめに (第1, 2章)

わが国の物流は、貨物車に過度に依存しており、交通問題や土地利用問題などの多くの社会問題の要因となっている。

一方、物流ビジネスにおいては、プラットフォーム型ビジネスの一種である、短期的に倉庫を借りたい主体と倉庫を貸したい主体のマッチングビジネスが登場してきている。倉庫の短期賃貸の斡旋は、荷主企業の自社倉庫の乱立を抑制でき、より効率的な賃貸倉庫配置や配送経路選択が行われれば、土地利用問題や交通問題のいっそうの緩和・解決にも繋がると考えられる。

ただし、現時点では、上述のような物流プラットフォームビジネスにおいて、荷主企業のサプライチェーン全体を考慮したうえで、最適な倉庫配置や配送経路を提案するという段階までは進んでいない。

本研究では、荷主企業のサプライチェーン全体を考慮し、問題に応じてカスタマイズした最適化アルゴリズムを用いることで、倉庫マッチングシステムに最適な倉庫配置と配送経路の導出手法を組み込み、総費用(配送費用と倉庫費用の合計)が最小となる解の導出を行った。また、導出された解における企業効果と社会的効果を推定し、効果をもたらす要因を明らかにした。

本研究は、倉庫配置や配送経路を考慮した倉庫マッチングシステムの有用性や効率化に着目した最初の研究である。また、最適な倉庫配置と配送経路を求めるにあたり、片山¹⁾やNguyenら²⁾のように、割当問題やLocation Routing Problem (以下、LRP) それぞれのみを対象とした研究は見受けられる一方で、割当問題とLRPという二つの問題が同時に含まれる問題を対象とした研究は見受けられない。

2. 問題設定 (第3章)

「工場・倉庫」と「倉庫・配送先」という二段階のサプライチェーンを設定したが、問題としては、全ての経路で巡回を考えない(出発地から目的地まで直線的に移動する)経路のみで表す問題と、「倉庫・配送先」の間の配送経路のみ巡回経路を考慮する問題の二種類を研究対象とした。

本研究においては、貨物 w が倉庫 m に配送される場合を「1」、配送されない場合を「0」とする0-1変数 y_{wm} を用いて定式化を行った。このような、個別の貨物に対する決定変数を用いた定式化は、既往研究では見受けられない。「倉庫・配送先」の間において巡回経路を考慮する問題の目的関数は、式(1)の通りである。目的関数の1項目は、「工場・倉庫」の区間における輸送費用を、2項目は、「倉庫・配送先」の区間における輸送費用を、3項目は、倉庫費用をそれぞれ表している。

$$\begin{aligned} \min \quad & 2 \sum_{f \in F} \sum_{m \in M} c_{fm} \left[\frac{\sum_{w \in W} s_w y_{wm}}{Q} \right] \\ & + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{i \in C} a_m z_{im} d_i \end{aligned} \quad (1)$$

3. 解法 (第4章)

解法アルゴリズムとして、タブーサーチを用いたメタヒューリスティクスを作成した。特に、「倉庫・配送先」の間において巡回経路を考慮する問題に対する解法としては、図1のように、LRPと割当問題を段階的に解く、二段階のタブーサーチを新たに作成した。

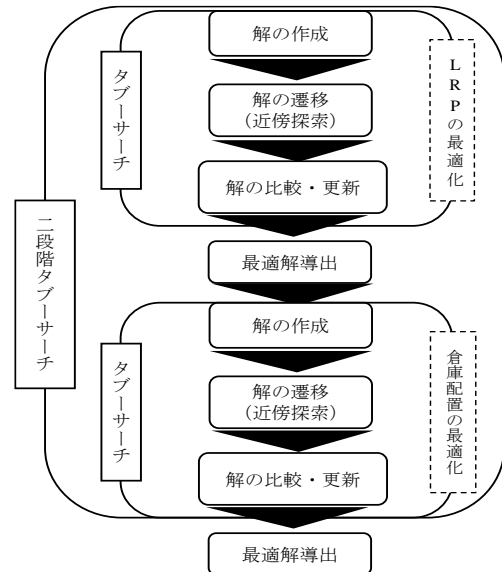


図1: 計算フローチャート (二段階タブーサーチ)

4. 計算結果と考察 (第5章)

本研究では、あらゆる問題設定に実際の事例データを適用した問題を「実際的问题」、一部の設定に対して仮定の値を適用した問題を「実際的な問題」と表記して、区別するものとする。

4.1. 企業Aにおける実際的问题例

倉庫マッチングビジネスを営む物流プラットフォーム企業Aから得たデータを基に、工場、倉庫、配送先がそれぞれ1カ所、7カ所、20カ所存在し、工場と倉庫は関東圏に、配送先は日本全国に点在する問題を作成した。この問題は、全ての経路で巡回経路を考えない問題として考えた。また、企業Aが現状利用している倉庫に全ての貨物を保管し、そこから全ての配送先への配送を行う場合を「現状」として想定し、その状態における各種費用や社会的効果の推定項目の推定値を「現状推定値」として導出した。

結果として、貨物を、現状のように1カ所の倉庫に集約するのではなく、「倉庫・配送先」の区間における輸送費用や総走行距離を低減するように、複数の倉庫に分散することが最適であることがわかった。各種費用や社会的効果の推定値は、表1と表2に示す通りである。

表1: 費用推定値 (実際的问题例)

費用 (円)	現状推定値	最適解
倉庫費用	8,160,000	8,115,000
荷役費用	2,320,000	2,336,000
輸送費用 (工場・倉庫)	1,993,600	2,280,850
輸送費用 (倉庫・配送先)	10,743,000	10,253,410
輸送費用合計	12,736,600	12,534,260
総費用	23,216,600	22,985,260

表2: 社会的効果推定値 (実際的问题例)

推定項目	現状推定値	最適解
トラック台数 (台)	896	896
総走行距離 (km)	152,296	148,673
環境負荷 (kg-CO2)	90,634,883	88,478,752
トンキロ (t・km)	939,354	917,279

4.2. 企業Aのデータに基づく実際的な問題例

企業Aから得たデータを基に、工場、倉庫、配送先が関東圏に、それぞれ2カ所、7カ所、20カ所存在する問題を作成した。この問題は、「倉庫・配送先」の間の配送経路のみ巡回経路を考慮する問題として考えた。また、企業Aが実際に利用している倉庫に全ての貨物を保管し、そこから全ての配送先への配送を行う場合を「生じうる状態」として想定し、その状態における推定値を「生じうる状態の推定値 (以下、推定値)」として導出した。

結果としては、4.1同様に、「倉庫・配送先」の区間における輸送費用や総走行距離を低減するように、貨物を複数の倉庫に分散することが最適であることがわかった。最適解における配送経路は図2に、各種費用や社会的効果の推定値は表3と表4に示す通りである。

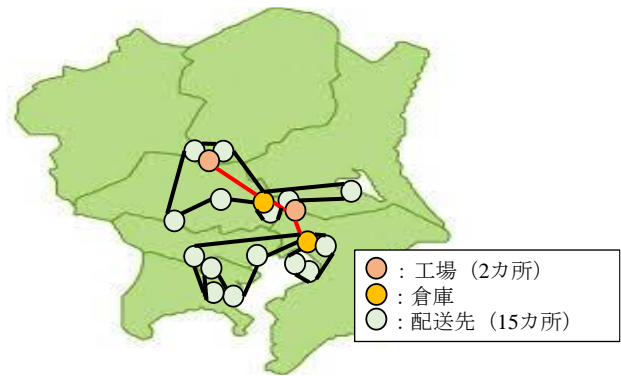


図2: 配送経路 (実際的な問題例, 最適解)

表3: 費用推定値 (実際的な問題例)

費用 (円)	推定値	最適解
倉庫費用	73,440	73,440
荷役費用	20,880	21,240
輸送費用 (工場・倉庫)	38,020	47,180
輸送費用 (倉庫・配送先)	102,720	90,150
輸送費用合計	140,740	137,330
総費用	235,060	232,010

表4: 社会的効果推定値 (実際的な問題例)

推定項目	推定値	最適解
トラック台数 (台)	8	8
総走行距離 (km)	1,032	921
環境負荷 (kg-CO2)	5,485	4,891
トンキロ (t・km)	2,994	2,590

5. 結論 (第6章)

倉庫マッチングシステムに倉庫配置と配送経路の最適化を組み込むことにより、輸送費用の削減による総費用の低減 (企業効果)、走行距離の抑制と、それに伴う環境負荷の低減 (社会的効果) を確認した。また、最適化するために、割当問題とLRPを同時に考慮する新たな問題を定式化し、求解した。そして、その解法として、二段階タブーサーチを提案した。

倉庫マッチングシステムは、企業と社会の双方に利益をもたらす得るプラットフォームビジネスの一つであり、プラットフォームは、最適化が包含されたビジネスモデルへと発展させるべきである。また、行政が倉庫マッチングシステムを運用することも可能であり、新たな都市物流施策を策定するうえでの一助となる可能性がある。

参考文献

- 1) 片山直登: ロジスティックネットワークにおける製品の工場割当問題, 日本物流学会誌12号, pp.111-118, 2004.
- 2) V.P.Nguyen, C.Prins, C.Prodhon: A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem, Engineering Applications of Artificial Intelligence, -Vol.25, -Issue1-, pp.56-71, 2012.

修士論文指導教員

山田忠史教授, Ali-gul Qureshi 准教授