

分割配送経路問題を応用した配送業務効率化

非会員 沖電気工業株式会社
非会員 沖電気工業株式会社

*高橋 克之 TAKAHASHI Katsuyuki
玉井 秀明 TAMAI Hideaki

1. はじめに

2019年3月から国土交通省・経済産業省・農林水産省が主導する「ホワイト物流」推進運動が始まり、以前にも増して物流業務の効率化が求められるようになった。物流コストの約半分は配送コストであり、コスト削減には効率的な配送運用が不可欠である[1]。加えて、SDGs 目標の環境負荷低減からも配送効率化は重要といえる。

配送経路問題(Vehicle Routing Problem: VRP)とはデポ(配送拠点)から配送先のノードに複数車両で荷物を配送する時、コスト(総配送距離, 総配送費用など)の最小経路を求める問題である[2]。VRPを解くことは様々な物流コスト削減やCO₂排出量削減につながり、上述の課題解決に有効である。

今回、筆者らはVRPの制約条件を一部緩和した分割配送経路問題(Split Delivery Vehicle Routing Problem: SDVRP)[3]の数理モデルをベースに、実際の配送業務の効率化を検討した。SDVRPから導出した配送経路の解を実際の配送実績と比較することで、総配送距離と配送便数の削減、車両積載率の向上などの効率化を確認したので報告する。

2. SDVRPの定式化

SDVRPはVRPから派生した問題であり、同一ノードに複数の車両が分割配送することを許可した点が特徴である。これにより、必要な配送便数の削減や車両積載率の向上が期待できる。さらに、配送便数の削減により、総配送距離がVRPより短くなると期待できる。定式化は以下の通りである[3]。

(定数)

- ・ m : 車両台数
- ・ n : 配送先ノード数
- ・ i, j : ノードを表す添え字(0はデポ, その他は店舗)
- ・ k : 車両を表す添え字
- ・ d_i : ノード*i*の需要量
- ・ c_{ij} : ノード*i*から*j*への距離
- ・ q_k : 車両*k*の積載量

(変数)

- ・ x_{ijk} : ノード*i*から*j*へ車両*k*が直接訪問したか否

かを表す0-1変数

- ・ y_{ik} : ノード*i*へ車両*k*によって配送が行われたか否かを表す0-1変数

- ・ z_{ik} : ノード*i*への車両*k*による配送量を示す実数変数

(目的関数)

$$\text{Min} \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

(制約条件)

$$\sum_{k=1}^m y_{0k} = m \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} \geq 1 \quad (i = 1 \sim n) \quad (3)$$

$$z_{ik} \leq d_i y_{ik} \quad (i = 1 \sim n, k = 1 \sim m) \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^m z_{ik} = d_i \quad (i = 1 \sim n) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n z_{ik} \leq q_k \quad (k = 1 \sim m) \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = y_{jk} \quad (j = 0 \sim n, k = 1 \sim m) \quad (7)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijk} = y_{ik} \quad (i = 0 \sim n, k = 1 \sim m) \quad (8)$$

$$\sum_{(i,j) \in S \times S} \leq |S| - 1 \quad (9)$$

$$S \in \{1 \sim n\}, 2 \leq |S| \leq n - 1, k = 1 \sim m$$

配送ルールは荷主の要望や物流企業の経験則により千差万別となる。そのため、効率化を実現するには典型的なSDVRPの数理モデルを、荷主の要望や物流業者の配送ルールを考慮した形にする必要がある。今回の数理モデルの実験では店舗数を約50店とし、配送要件を表1のように定めた。

表1 本実験の主な要件

車両数	大型車(最大積載荷物数q1):m1台 小型車(最大積載荷物数q2):m2台
配送ルール	各車1日平均a便運行 1便につきw店まで配送可能 一部店舗は、g台で配送可能

配送ルール ~ を踏まえ、定数や制約条件を変更または追加する。

- ・ より、車両台数 $m = a \times (m1 + m2)$ 台とする
- ・ より、

$$\sum_{i=1}^n y_{ik} \leq w \quad (k = 1 \sim m) \quad (10)$$

- ・ より、

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} \leq g \quad (i \in P) \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1 \quad (i \in Q) \quad (12)$$

P: 分割配送可能なノードの集合 Q: 分割配送不可能なノードの集合

3. 効果の検証

先述の数理モデルに各種入力条件を設定し、数理最適化ソルバーで最適値を求めた。入力条件(表1の具体的な数値、各ノードの需要量、ノード間距離など)にはロンコ・ジャパン株式会社の協力で得た、実際の配送実績データを用いた。まず総配送距離に関し、計算結果と配送実績を比較した。次に、配送便数、分割配送店舗数、車両積載率をそれぞれ比較した。ここで、配送実績データは、需要量が少ない日、平均的な日、多い日の3日分である。表2~5に一連の計算結果を示す。

表2 総配送距離の比較(単位 km)

荷物量	配送実績	SDVRP
少ない	4071.62	3767.7
平均的	4167.39	3919.58
多い	4658.17	4098.47

表3 配送便数の比較(単位[便数])

荷物量	配送実績	SDVRP
少ない	25	23
平均的	29	26
多い	35	31

表4 分割配送店舗数の比較(単位[店舗数])

荷物量	配送実績	SDVRP
少ない	0	0
平均的	2	4
多い	8	12

表5 車両積載率の比較(単位[%])

荷物量	配送実績	SDVRP
少ない	78.63	85.7
平均的	81.38	91.04
多い	84.08	95.33

総配送距離、配送便数、分割配送店舗数、車両積載率のいずれの指標でも効率化を確認した。特に荷物量が多い日は分割配送を多用し、特に高い効果を実現できた。また、本実験は数理モデルを用いることによる、担当者の経験則に依存しない配送経路策定業務の自動化の可能性を示した。今後の効率化に加え、属人性を排除する付随効果も確認できたといえる。

4. おわりに

SDVRP の定式化では、実際の物流企業がもつ現場課題を考慮した。本数理モデルから導出した計算結果をロンコ・ジャパン株式会社の配送実績データと比較することで、総配送距離と配送便数の削減、車両積載率の向上などの配送業務効率化を確認した。

参考文献

- [1] 白井秀彰, 田中彰夫: ビジュアル図解 物流センターのしくみ, 同文館出版, 2011.
- [2] 久保幹雄, J.P.ペドロソ他: あたらしい数理最適化-Python 言語と Gurobi で解く -, 近代科学社(2012)
- [3] 毛利裕昭, 久保幹雄, 他: 分割配送路問題-ラグランジュ緩和を利用した解法について-, Journal of the Operations Research Society of Japan, Vol.39, No.3, September, 1996.