

## トラック積み合わせ最適化に基づく配送形態最適化事例

非会員 (株)日本アイ・ピー・エム 東京基礎研究所 \*濱 利行 HAMA Toshiyuki

## 1. はじめに

本稿では、積み合わせを重視したトラック・スケジューラを用いて配送形態見直しのためのシミュレーションを過去の実データに基づいて行ったので、そのトラック・スケジューラの最適化方法と得られた効果について報告する。

食品メーカーA社は静岡県に工場を持ち、東日本全域の需要をこの工場でまかなっている。製品は、工場に併設された倉庫で在庫管理され、注文に応じて各地に設けられたSP(stock point)へまとめて配送され、そこから各小売店へ配送されるという形態を採っている。しかし、最も需要の大きい関東圏に関しては倉庫からの直送も可能であり、条件によっては直送の方が配送費用が少ない場合がある。そこで、従来から大口の注文を直送することで物流費の削減を図ってきた。今回、大口以外の注文も考慮したスケジューラを試作し、直送率の向上と総配送費用の削減効果の評価を行った。

## 2. 配送費用最適化問題

A社では製品物流は外部の運送業者に委託しており、倉庫からの配送とSPからの配送では異なる運賃表に基づいた運用を行っている。製品の注文量はロットを単位としており、運賃表もロットあたりの配送単価により定義されている。

倉庫からの配送では、A社がトラックへの積み合わせまで指示するので、届け先までの距離と使用するトラック種別により配送単価が決められている。しかし、倉庫からの配送には、以下のような制約が設けられおり、これらを満たす積み合わせを作成する必要がある。

- ・トラックは16時間以内に倉庫へ戻る
- ・届け先数は3軒以内
- ・届け先間の走行時間は1時間以内
- ・受け取り時間枠指定のある届け先有り
- ・トラックは4t、10tの2種類
- ・トラックのサイズに制限のある届け先有り
- ・トラックの容量の93%までは最低保証額として運送費を支払う
- ・届け先3軒目には割増料金加算

ロットあたりの単価で運賃が規定されているが、最低保証額が設定されているために、積載率が悪ければ平均配送単価は上昇する。従って、配送費用は届

け先までの距離と使用するトラック種別で決まると考えてよい。このため、倉庫からの配送では、トラックへの注文の積み合わせが総配送費用に大きく影響する。また、季節による注文量の変化に対応して配送業者は十分な台数のトラックを確保しており、使用できるトラック数に上限を設ける必要はない。

倉庫から小売店、SPへの配送は同じ配送業者に委託しており、配送単価にはほとんど差がない。このため、トラックの積載率が十分高ければ、直送した方が格段に配送費用は少なくてすむ。

一方、SPからの配送では、届け先までの距離と一注文あたりの配送量により配送単価が決められている。大口の注文では配送単価が下がり、同じ届け先でも配送単価には数倍の開きがある。使用トラック、積み合わせ等は配送業者に任されているので配送費用には関係しない。SPの立地条件等により多少の差はあるものの関東圏の3カ所のSPに関する限り配送単価にそれほど大きな違いはない。

本稿で解こうとしている問題は、以上の条件のもとに、総配送費用を最小化するような直送および3カ所のSP経由の配送への注文の割り振りを見つめる最適化問題である。

## 3. 確率的探索による積み合わせ最適化

問題を簡単化するために次の仮定を設ける。倉庫からSPへの配送では、小口の注文が多い、まとめた配送量は比較的大きい、という傾向をもつので、製品はトラックにほぼ満載されて配送されると仮定し、SPまでの配送費は積み合わせによらず直送運賃表の配送単価をもとに計算する。また、SPでの諸費用は実績に基づいたロットあたりの単価で見積もる。これらの仮定により、SP経由での配送費用は注文ごとに独立に計算できるので、SP経由とした場合に割り当てるSPはこの計算で配送費用を最小とするSPに決まる。

最初はすべての注文を直送の対象としてトラックへの積み合わせを求め、積み合わせが決まればトラックごとの直送費用が算出できる。注文ごとのSP経由の配送費用もわかっているので、トラックごとに見れば、積み合わされた注文の費用最小の配送方法とその配送費用が決まる。従って、注文集合を直送トラックへ割り当てる集合分割問題として解ける。

届け先数は3軒以内、届け先間は1時間以内という制約があるため、一般の配送スケジュールのように

配送順序の最適化によって走行時間を短縮する必要があまりない。主要な制約はトラックの容量と、配送先数3軒以内、運転手の労働時間は16時間以内という制約であるので、瓶詰め問題[4]の詰込み手続きのヒューリスティクスであるFF(First Fit)、BF(Best Fit)と確率的な探索手法を用いた。

### 3.1. 詰込み手続き

トラックにいくつかの注文がすでに割り当てられている状態で新たな注文を受け取ると、詰込み手続きはトラックを順に調べ、制約を満たして積み合わせ可能なトラックを見つける。最初に見つかった積み合わせ可能なトラックに詰込むのがFFで、積み合わせ可能なトラック中である指標に基づき最も適したトラックに詰込むのがBFである。両手続きともに積み合わせ可能なトラックが見つからない場合は新しいトラックを使用する。BFの指標としては、

- ・ 配送費用の上昇量
  - ・ 単位金額あたりの配送ロット数の上昇量
- を使用した。

探索中は届け先に特に指定がない限りトラックは10tであると仮定して詰込む。ただし、配送費用の計算時にはその時点での配送量を積載可能な最小のトラックを選ぶ。

### 3.2. 確率的探索手法

詰込み手続きへ注文の列を順に投入して初期解を生成し、その後、解を順次改良していく手法として、次の3つを試みた。

1. Stochastic Local Search (SLS)
 

ある確率でトラックを選択し、そのトラックに積み合わされた注文を解放し、再割り当てる。
2. Sequencing Genetic Algorithm (SGA) [2]
 

詰込み手続きに送る注文の列を対象とするGA。列の交配には巡回セールスマン問題で有効とされる方法[3]を用いる。
3. Grouping Genetic Algorithm (GGA) [1]
 

トラックへ積み合わされた注文のグループからなる列を対象とするGA。交配もグループごとに入れ替え、2つのグループに属する注文が現われた場合は、それらのグループを解放し再割り当てる。

### 4. 最適化手法の比較

過去の実際の注文データに対して、前節の探索手法を組み込んだスケジューラによりトラックの割り当てを求め、総配送費用の比較を行った。また、これらヒューリスティクスによる解法の性能の指標として、積み合わせ可能な注文のグループをすべて数え上げ、集合分割で定式化した整数計画問題の下界値を線形緩和によりIBMのOSL (Optimization Subroutine Library)を用いて求めた。図2に注文量の多い12/6と少ない4/1のデータに対する結果を示す(単位は百万円)。SLS以外は詰込み手続きとしてBFを用いている。また、グラフは線形緩和により

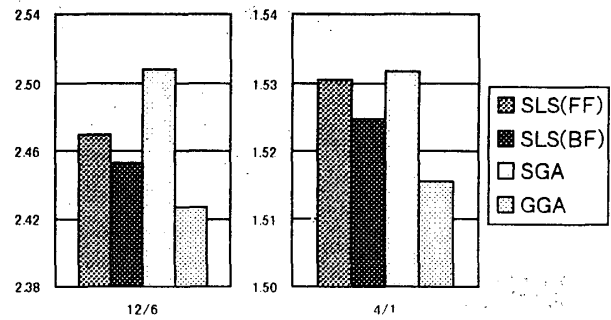


図2 最適化手法の比較

求められた下界値より上の部分のみを表示している。

Reeves[2]によれば、純粋な瓶詰め問題ではSGAもGGAと同等の性能を有しているのであるが、目的関数が配送費用であること、トラックに2種類のサイズがあることが、詰込み手続きへの投入順序の変更だけによる最適化を難しくしているようである。特に問題のサイズが大きい場合には他の手法よりかなり劣っている。また、FFがBFより若干劣るのも複数のトラックのサイズにうまく対応できていないからだと考えられる。

### 5. 最適化による効果とまとめ

今回開発したトラック・スケジューラを利用して、過去の2ヶ月分の注文データに対して日々の配送スケジュールをたて、実績との比較を行った。ロット数の少ない注文も直送対象として考慮し、直送、SP経由配送の総配送費用の最適化を図ることにより、配送量でみれば直送率は平均で実績の60%から80%まで上昇し、総配送費用は15%の削減が達成され、トラック・スケジューラの効果を確認できた。

今回は、倉庫から小売店向けの直送分とSPへの配送分を分離して、SPへの配送費用については1つの仮定を設けることで問題を簡略化した。小売店とSPへの配送をうまく積み合わせることによりさらなる配送費用の削減が見込めるはずであるが、これは今後の課題とする。

### 参考文献

- [1] E. Falkenauer, "Genetic Algorithms and Grouping Problems", John Wiley & Sons, 1998
- [2] C. Reeves, "Hybrid Genetic Algorithms for Bin-packing and Related Problems", Annals of OR, 63, pp371-396
- [3] Z. Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", Springer, 1996
- [4] E. Coffman, M. Garey, and D. Johnson, "Approximation algorithms for bin-packing: A survey", pp46-93, in Approximation Algorithms for NP-hard problems, PWS Publishing Company, 1998