

ユニットハウズレンタル事業の配送計画

森戸 晋

キーワード：レンタル事業, ユニットハウス, 配送計画, 出荷, 引取, 回転, 組合せ最適化, 列生成法

本稿は、弘田 卓也さんによる 2014 年度、原 健人さんによる 2015 年度早稲田大学創造理工学研究科に提出された修士論文をもとに加筆修正したものです。

1. 問題の簡単な説明と得られた結果

配送トラックのスケジューリングはさまざまな事業所で計画担当者を悩ませる日常業務の一つです。この研究は、建設現場やイベント会場、被災地などで用いられる仮設のユニットハウスをレンタルする企業の配送計画の作成を最適化手法を用いて行うという取り組みです。配送スケジュールの作成にあたっては考慮しなければならない要因が多数存在する一方、低コストの計画を立てる必要があります。

レンタル事業の配送を扱うので、貸し出すハウスを顧客に届ける出荷と、レンタルを終了した顧客から持ち帰る引取という 2 種類の配送があり、できるだけ、出荷した後に引取を行って戻れば、コスト削減につながります。したがって、このレンタル企業の配送は出荷と引取のある配送計画という位置づけになります。この研究では、この問題を最適化問題として定式化し、これを列生成法と呼ばれる最適化手法を利用することによって、短時間で、そこそこよい解を算出することに成功しています。

2. 問題の設定と考え方

本研究では、複数のデポ（配送拠点）の一日の配送計画を考えます。配送車の積載能力は、最多でもハウス 5 棟で、分解した状態でも 1 台の配送車に 1 棟しか運べない品種も少なくありません。配送車がデポを出発して製品を出荷・引取を行ってまたデポに戻るまでを

回転と呼びますが、積載能力が限られているため、一般に配送車は一日に複数回の回転を行います。

1. 出荷・引取の 2 種類の配送が存在
2. 引取後の出荷を禁止
3. デポごとに取り扱える品種が相違
4. 各配送車の発着は同一のデポ
5. 複数品種の製品が存在し、品種ごとに需要が存在
6. 配送量が 2 以上の場合、複数のデポまたは複数の配送車で分割して配送可能
7. 顧客には一般に出荷／引取の時間枠が存在
8. 配送車には大型と小型の 2 車種があり、デポごとに各車種の使用可能台数の上限が所与
9. 配送車の積載容量は車種ごと、品種ごとに所与
10. ハウスは分解状態または組立状態で出荷可能で、組立状態の場合の配送車の積載容量は 1 棟
11. 各配送車は 1 品種のみ積載可能で、混載禁止
12. 各配送車の回転は最大 3 回転まで

以上の条件を考慮し、総配送費用を最小化する配送経路を求めます。一般に、配送車の一日のスケジュールは 1 回転のルートを組み合わせたものとなります。

この企業では、複数の配送業者を利用して配送を行っており、配送業者と当該企業の間で、特有の配送費用計算方式が用いられており（詳細は [1] 参照）、この研究では、実際の計算方式に基づいて算出される総輸送費用の最小化を図ります。

1 回転で訪問できる顧客数の上限や出荷・引取の順序制約があるため、1 回転ルートは以下の 5 種類に限定されます。

- ・デポ→出荷顧客→デポ（ピストン輸送）
- ・デポ→引取顧客→デポ（ピストン輸送）
- ・デポ→出荷顧客→引取顧客→デポ
- ・デポ→出荷顧客→出荷顧客→デポ
- ・デポ→出荷顧客→出荷顧客→引取顧客→デポ

求解にあたっては、1 回転ルートの数に限りがあることに着目して、あらかじめ、考えられるすべての 1 回転ルートをデポごとに列挙するという考え方を採用します。一般に、1 回転ルートを組み合わせたものが配

もりと すすむ

早稲田大学 創造理工学部

〒 169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

morito@waseda.jp

表 1 三つの方法による配送スケジュールの比較

データ	下界値保証 アルゴリズム				高速化 アルゴリズム			担当者のデポ割り付けに基づく結果 デポごとに最適化		
	No.	総費用 (円)	下界値 (円)	GAP (%)	CPU (秒)	総費用 1 (円)	GAP (%)*1	CPU (秒)	総費用 (円)	改善率 1 (%)*2
1	2,867,500	2,863,880	0.13	7,668	2,963,000	3.46	29	3,116,500	7.99	4.93
2	3,011,500	3,010,000	0.06	839	3,082,500	2.41	16	3,185,500	5.45	3.23
3	2,449,500	2,445,500	0.10	2,229	2,628,000	7.46	12	2,644,000	7.40	0.60

*1 下界値保証アルゴリズムの下界値を用いて算出

*2 下界値保証アルゴリズムと担当者のデポ割り付けに基づくデポごと最適化の比較

*3 高速化アルゴリズムと担当者のデポ割り付けに基づくデポごと最適化の比較

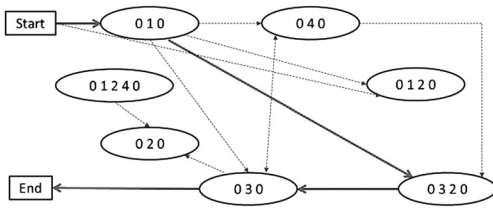


図 1 ルートグラフ

送車の一日の配送スケジュールとなります。

3. 整数計画による定式化と列生成法

本研究では、デポごとの配送車の配送スケジュールが与えられたとした場合に、総輸送費用を最小化するには、ある配送スケジュールに何台の配送車を割り当てればよいかを求める整数計画問題を考えます。

最小化 総配送費用

- 制約
- ・各顧客に必要な台数の配送車を割当
 - ・割り当てる配送車の台数は、各デポ、各車種の配送車台数制限内

しかし、候補となる配送スケジュールの数は膨大になるため、あらかじめ全列挙することは避け、すでに列挙されている 1 回転ルートを組み合わせ、必要に応じて配送スケジュールを作る列生成法を用いています。

列、すなわち、スケジュールを生成する問題、つまり、列生成子問題は、図 1 に示すような 1 回転ルートを頂点（たとえば、0120 という頂点はデポ (0) から顧客 1・2 をこの順番に訪問し、デポ (0) に戻るという 1 回転ルートを表現しています）とするルートグラフ [2] 上で、始点 (Start) から終点 (End) までの（線形緩和問題の被約）費用が負の経路を求めることに相当します。

本研究では、列生成子問題の解き方に若干違いのある下界値保証アルゴリズムと高速化アルゴリズムを提案しています。下界値保証アルゴリズムは、以下の 3 ス

テップによって（主）問題の線形緩和問題を最適に解くため下界値が保証されます。一方、高速化アルゴリズムは、求解の高速化を目的としてステップ 1, 2 のみからなる解法で一般に下界値算出の保証はありません。

ステップ 1 全ノードから一定割合をコストの低い順に選択し、残りのノードやそのノードに接続するアークをすべて削除したネットワークを作成する。回転数を 2 回転までとして、このネットワークを用いてラベリング法により列生成子問題を解く。

ステップ 2 被約費用が負の 1 回転ルートを求める。

ステップ 3 回転数を 3 回転までとし、ソルバーを用いて列生成子問題を解く。

上の各ステップでは、被約費用が負の列が見つからない場合に次のステップへ進みます。

4. 結論

出荷と引取が存在し、複数回転が許されるレンタル事業の複数デポ配送計画に対して、列生成法による二つの解法を提案しました。高速化アルゴリズムでは、最大 30 秒以内に実用に耐える解を算出しました（表 1）。

現在、この企業では、担当者があらかじめ、どのデポに配送を担当させるか決めていますが、その割り当てでも最適化に委ねることにより、3%前後から最大 8% 程のコスト削減が見込めることも明らかになりました。

参考文献

- [1] T. Hirota, S. Morito and K. Hara, "An efficient column generation heuristic for vehicle routing problem with multiple use of vehicles in a rental business," *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, **10**(3), JAMDSM0050, 2016.
- [2] N. Azi, M. Gendreau and J. Y. Potvin, "An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles," *European Journal of Operational Research*, **202**, pp. 756-763, 2010.