

## 大規模顧客に対する配送経路問題の解法

## Solution of Vehicle Routing Problem for Large Scale Customers

加来 佑一朗† 内村 圭一† 上瀧 剛† 大村 悦彰†

Kaku Yuuichirou Uchimura Keiichi Koutaki Gou Oomura Nobuaki

## 1 はじめに

運送業界の深刻な問題として、原油高騰による輸送燃料の増加、運送業に携わる労働者の減少が挙げられる<sup>[1]</sup>。これらの問題は最適な輸送路の算出による打開が見込まれ、これは配送経路問題 (VRP: Vehicle Routing Problem) を最適化することで解決が期待される。この問題に対して現在までに様々な手法が提案されている。例えば、アントコロニー法や分岐価格法を利用した手法などが挙げられる<sup>[2][3]</sup>。

本稿では VRP に対して挿入法における種顧客の選択法を工夫して two-opt 法、列生成法と組合せた手法によって最適化する。その際、提案手法の有用性を示すために、数百の顧客を対象としたベンチマーク<sup>[4]</sup>を用いて検証実験を行う。

## 2 提案手法

VRP を解決するために図 1 のように列生成法に挿入法と two-opt 法を組合せる。暫定解 (タイムウインドウなどの制約を守って最適ではないがそれなりに良い解) を挿入法により複数作成し、その解を two-opt 法により改善した後、それを列生成法と組合せて最適解を探索する。

## 2.1 挿入法

列生成法のための暫定解を複数生成するために本稿では挿入法を選択した。これは、顧客数が多い場合、挿入法が優位に働くという実験結果<sup>[5]</sup>から判断した。

挿入法は、種顧客と呼ばれる顧客を結ぶ閉路に対して、残りの顧客を評価値を用いて挿入する手法である。評価値  $\Delta$  は式(1)により算出され、 $\Delta$  が最も小さい箇所に挿入される (図 2 参照)。また、その際に制約条件 (車両の最大積載量、タイムウインドウ) を守れない場合は、評価値に大きな値を与え、挿入されないようにする。

$$\Delta_{ij}^k = d_{ik} + d_{jk} - d_{ij} \quad (1)$$

ここで、 $d_{ij}$  とはあるルート上で顧客  $i$  の次に顧客  $j$  を訪問したときのその間の距離とする。挿入法はアルゴリズムの性質上、種顧客数の閉路しか作られない。そこで、種顧客数を増減させ、様々な形の暫定解を作成する。

## 2.2 種顧客の選択法

種顧客を適切に選ぶことで、挿入法の実行回数が少なくても、より良い暫定解の作成が見込める。そこで、図 3 における丸印の種顧客を分割された領域から均等に選択する。これにより、デポを中心として各領域に均等に種顧客が選択され、種顧客が集中して選択されるのを防ぐ。さらに、分割する領域を回転させ、そこで種顧客を選択することで暫定解のバリエーションを増やす。なお、本稿では、この選択法を用いた手法を提案手法とし、種顧客の選択がランダムなものを従来手法とする。

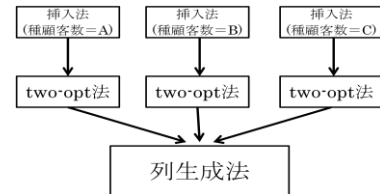


図1 提案手法の流れ

## 2.3 two-opt 法

挿入法のみで作成された暫定解はルート上に交差があるなど、改良の余地のあるルートを多く含む場合がある。そこで、two-opt 法を用いることで、暫定解を改良する。two-opt 法とは、ルート上に存在する枝の交差をなくす手法である。

顧客  $i, j$  間と顧客  $k, l$  間で次の場合、ルートが交差していると判断する。

$$d_{ik} + d_{jl} < d_{ij} + d_{kl} \quad (2)$$

交差する箇所があると判定された場合は、顧客  $i, j$  間と、顧客  $k, l$  間を顧客  $i, k$  と顧客  $j, l$  のルートにつなぎかえる。このとき、交差を取り除くことでタイムウインドウが守られなくなる場合は、交差は削除しない。

## 2.4 列生成法

挿入法及び two-opt 法により暫定解を取得した後、列生成法で図 4 のように暫定解の個々のルート (図 4 の円) を組合せることで最適解を探索する。組合せの候補が増えるほど解は良くなるため、暫定解は挿入法の種顧客数を増減させ複数作成しておく。

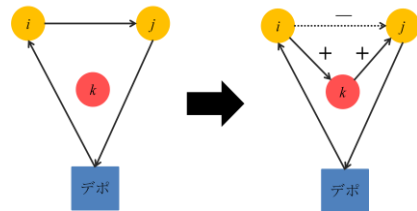


図2 挿入法における評価の計算

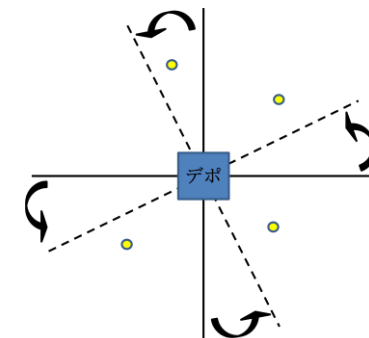


図3 種顧客の選択

† 熊本大学

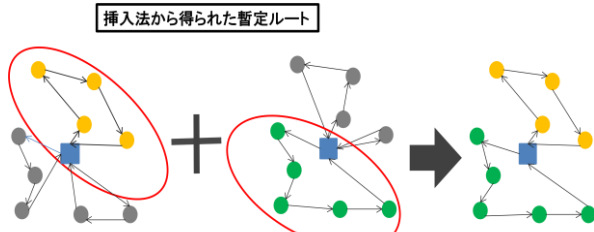


図4 列生成法

### 3 実験

はじめに提案手法と従来手法の計算時間及び総走行距離の分散の比較を行う。次に、それを受けて提案手法の有用性を検証するためにベンチマーク<sup>[4]</sup>を用いた実験を行う。使用した PC の CPU は ES-2620 2.00GHz, メモリ 64GB, OS は Windows 7, プログラミング言語は C である。

#### 3.1 提案手法と従来手法の比較

表 1 は提案手法と従来手法の計算時間の比較である。計算時間は、顧客分布により、提案手法及び従来手法の解の変化がそれぞれ 1%以内で収束するまで、挿入法の反復回数を変化させた場合の結果である。表 1 より提案手法の方が高速であることが確認できた。これは、種顧客を適切に選択したことで列生成法に用いる暫定解を削減できたからである。また、表 2 は試行回数 5 回での総走行距離の分散の比較である。提案手法が従来手法に比べて分散が少なく、安定した解を導出できていることが確認できた。これは、種顧客の選択がより均等に行えたためと考えられる。

#### 3.2 ベンチマークを用いた実験

提案手法の有用性を確かめるために、顧客数が異なる 4 つのベンチマークを用いて実験を行う。実験結果がベンチマークテストの解に近いほど最適解（本稿では、最適解と称す）といえる。

表 3 に実験 10 回のうち、最も総走行距離の短かった結果を示す。また、図 5 及び図 6 にルートの一例を示す。表 3 より提案手法はほとんど最適解を導出できたといえる。詳細には、図 5 のルートは表 3 から最適化できたといえる。図 6 のルートはベンチマークの解よりも総走行距離が 0.6%程長い結果になった。対応策として、暫定解の質を向上させることが考えられる。このためには、or-opt 法など他の局所探索法を用いることが挙げられる。

表 1 計算時間の比較(sec)

顧客分布	提案手法	従来手法
C1-2-1	2.93	3.05
C1-4-1	7.85	8.89
C1-6-1	91.35	130.13
C1-8-1	45.25	71.95

表 2 総走行距離の分散の比較

顧客分布	提案手法	従来手法
C1-2-1	137.490	5298.620
C1-4-1	0.064	0.129
C1-6-1	0.034	4.451
C1-8-1	705.70	4519.333

表 3 総走行距離の比較 ([ ]内は車両台数)

顧客分布	顧客数	ベンチマーク <sup>[4]</sup>	提案手法
C1-2-1	200	2704.57 [20]	2704.57 [20]
C1-4-1	400	7152.02 [40]	7152.06 [40]
C1-6-1	600	14095.64 [60]	14095.64 [60]
C1-8-1	800	25030.36 [80]	25184.38 [80]

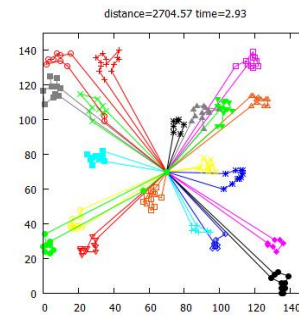


図 5 C1-2-1 のルート

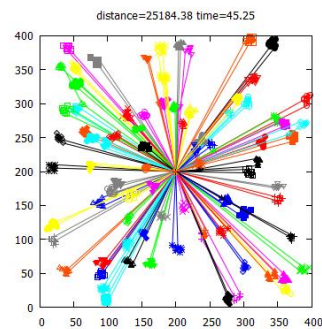


図 6 C1-8-1 のルート

### 4 まとめ

本稿では、挿入法の種顧客の選択を工夫し、列生成法、two-opt 法と組合せた場合での従来との比較を行った。また、ベンチマークを用いることで、その有用性を示した。

今後は、顧客配置を現実的なものに設定して実験を行っていく。また、更なる解の改善および計算時間の改善を図っていく

### 謝辞

本研究の一部は、A-STEP探索タイプ（課題番号：AS242Z02811H）の助成を受け実施したものである。記して敬意を表する。

### 参考文献

- [1] トラック運輸業の現状と課題, ぶぎん地域経済研究所, 2011
- [2] Eric Prescott-Gagnon, Guy Desaulniers, Louis-Martin Rousseau, "A Branch-and-Price-Based Large Neighborhood Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", Networks, Vol.54, Issue 4, pp.190-204, December 2009
- [3] Zhong-Zhen Yang, Baozhen Yao, "An Improved Ant Colony Optimization for Vehicle Routing Problem", European Journal of Operational Research, Vol.196, Issue 1, pp.171-176, 2009
- [4] <http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm>
- [5] 久保幹雄, "ロジスティック工学", 2003