

京都大学工学部 学生員 ○臼井 裕貴
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 谷口 栄一
 京都大学大学院工学研究科 正会員 山田 忠史
 京都大学大学院工学研究科 学生員 中村 有克

1. 研究の背景と目的

近年の消費者のニーズの多様化に伴い、貨物の輸送需要が高度化してきている。そのため、物流業者には多頻度・小口輸送など高度なサービスが要求されている。一方で、貨物集配送は、交通渋滞、大気汚染などの社会問題の一因となっている。これらの課題や問題に対処するために、大規模ネットワークを対象とした施設配置を考慮した配車配送計画など、複雑かつ精緻な配車配送計画の立案が必要となっている。複雑で大規模な配車配送計画に対しては、効率的な近似解法を構築することが重要である。

そこで本研究では、複雑で大規模な配車配送計画問題に適用可能な近似解法の構築を目指し、その基礎段階として、積載量制約を有する配車配送計画問題(Capacitated Vehicle Routing Problem, 以下 CVRP)に対する効率的な近似解法について検討する。具体的には、候補リスト戦略を内包したタブーサーチに注目し、その適用可能性を検証する。

2. 配車配送計画問題

本研究では、物流業者の最適な配車配送計画とは、配送に要する総コスト（運行コスト）を最小化するものとする。以下に CVRP の定式化を行う。

minimize

$$z = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ihk} - \sum_{j \in V} x_{hjk} = 0 \quad \forall h \in N \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in C \setminus V} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V (S \neq \phi, S \neq V) \quad (6)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq q \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N \quad \forall k \in K \quad (8)$$

ただし、

z : 総配送費用 K : 車両集合
 k : 車両番号 i, j, h : 顧客番号
 0 : デポ N : 顧客の集合
 V : デポと顧客の集合
 c_{ij} : 顧客 $i-j$ 間の距離 (コストに代用する)
 x_{ijk} : 車両 k が顧客 $i-j$ を配送するときには 1 それ以外のときは 0 をとる整数変数
 A : 制約条件を満たす顧客の集合
 S : V の部分集合
 d_i : 顧客 i における需要量
 q : 車両積載容量
 x_{ijk}, d_i, q は整数値をとるものとする。

式(1)は目的関数、式(2)~(6)は顧客におけるトラックフローの制約条件、式(7)はトラック積載量制約条件、式(8)は x_{ijk} が 2 値変数であることを表している。

3. 解法

本研究では、近似解法にタブーサーチを適用し、近傍解の生成に挿入ムーブと交換ムーブを選択し、タブーリストには遷移の属性を記憶させる。タブー期間は \sqrt{N} とし、願望水準は目的関数による大域的願望を採用する。

具体的な計算手順としては、初期解の生成には貪欲法を用いる。ただし、この貪欲法では、各ルートの最初に訪問する顧客のみランダムに選択する。初期解の生成後、挿入ムーブ、交換ムーブの順に近傍解の生成を行う。以後、既定の回数だけこれらの操作を繰り返す。

繰り返し回数が既定回数に達した場合、解の探索範囲の拡張を実行し、積載量制約の一時的な緩和を行う。具体的には、挿入ムーブによりトラックの積載量を超過した近傍解にペナルティを与えず、実行可能解でない解を一時的に許容する。これにより実行可能解でない解の近傍、つまり、これまで探索されなかった解の探索を可能にし、解を改善すること

が目的である。

また、本研究では候補リスト戦略を内包することにより、計算時間の減少を図る。候補リスト戦略のうち、有界変化戦略を用いる。1回の試行において、現在の解から近傍解を生成する際に、解の変化の領域を限定することにより、解の探索個数を減らし、解の探索の効率を上げる。

4. ケーススタディ

本研究では、Augerat¹⁾、Mingozzi のベンチマーク問題を採用し、上述のタブーサーチの性能検証を行う。Augerat のベンチマーク問題の中で、setA (顧客がランダムに配置されている問題)、setB (顧客がクラスター分けされている問題) を採用し、顧客数は30~79 の問題を選択した。また、Mingozzi のベンチマーク問題の中で、顧客数 199 の問題を選択し、各問題について 50 回ずつ計算を行った。

ケーススタディで使用するデータセットを表 1 に示す。ケース 1 では、有界変化戦略における解の変化の領域 (以下、有界変化領域と呼ぶ) を変化させ、ケース 2 では、解の探索範囲の拡張回数 (以下、拡張回数と呼ぶ) を変化させ、目的関数値と計算時間への影響を比較する。また、ケース 3 では、ケース 1, 2 で得られた結果を基に規模の大きい問題に対する、タブーサーチの性能検証を行う。

ケース 1 における setA 顧客数 79 の問題の計算結果を図 1 に、ケース 3 の結果を表 2 に記す。その他の結果については、紙面の都合上割愛する。

ケース 1 において各問題に対し、有界変化領域の値を適切に設定することにより、有界変化戦略を考慮しない場合と比べて、解の精度を変化させずに計算時間を大きく抑制できることが確認された。特に顧客数の多い問題では、有界変化領域の値を 10 程度にしても有効であるといえる。

なお、ケース 2 においては、拡張回数を増加させることにより、解の精度の上昇が確認された。

表 1 計算ケースとデータセット

	ケース番号	有界変化領域	拡張回数
ケース1	1-1	∞	10
	1-2	25	10
	1-3	10	10
ケース2	2-1	∞	0~10
ケース3	3-1	10	0~20
	3-2	5	0~20

ケース 3 では、ケース 1, 2 の結果を基にして、有界変化領域の値を 5, 10 と小さく設定し、また拡張回数を 20 に増加させた。その結果、表 2 のように有界変化領域の値を小さくした場合においても、解の精度に変化はなく、拡張回数を増加させるに従って解の改善が確認された。これらの結果は、大規模な問題に対しても、候補リスト戦略を内包したタブーサーチが有効であることを示唆している。

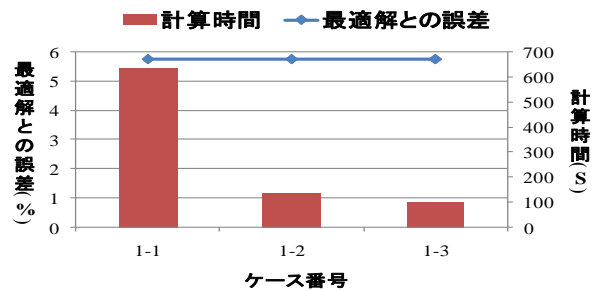


図 1 計算時間と誤差 (ケース 1, setA79 顧客)

表 2 拡張回数と有界変化領域の影響 (ケース 3)

拡張回数	有界変化領域=10		有界変化領域=5	
	平均コスト	計算時間	平均コスト	計算時間
0	1522.4	27.7	1522.4	27.4
5	1477.3	320.1	1477.3	269.8
10	1464.1	612.7	1464.1	516.1
15	1455.6	905.3	1455.6	762.9
20	1451.7	1197.2	1451.7	1009.1

5. 結論

本研究では、CVRP に対して、候補リスト戦略を内包したタブーサーチを適用することにより、この手法の配車配送計画問題に対する適用可能性を考察した。その結果、有界変化領域の値を適切に設定することにより、有界変化戦略を考慮しない場合と比べて、解の精度を変化させずに計算時間を大きく抑制できることがわかった。また、規模の大きな問題に対しても、本手法の有用性が確認できた。

今後の課題として、タブー期間などのパラメータの選定によって、解の精度をいっそう上昇させる必要がある。また、他のアルゴリズムとの比較や、より複雑で大規模な配車配送計画問題への適用へと発展させていく必要がある。

参考文献

- 1) Augerat, P., Belenguer, J.M., Benavent, E., Corberán, A., Naddef, D., and Rinaldi, G: Computational Results with a Branch and Cut Code for the Capacitated Vehicle Routing Problem, Research Report 949-M, Universite Joseph Fourier, Grenoble, France.1995.