

自転車共同利用システムの車両再配置モデルに関する研究

○ 熊本大学 学生員 寺本亮太 熊本大学 学生員 高木良太
熊本大学 正会員 円山琢也 熊本大学 正会員 溝上章志

1. はじめに

近年、公共交通の補完や健康増進などを目的として、自転車共同利用システムを導入・検討する自治体が増えている。自転車共同利用システムとは、駅前や公共施設などに貸出・返却拠点となるステーションを設置し、利用者はどのステーションでも簡単な手続きで自転車を利用することができるシステムのことである。

2007 年フランスのパリ市で始まった大規模な貸自転車事業 (Velib') は、2012 年 1 月現在、ステーション数約 1,800 箇所、自転車台数約 23,000 台で運行している¹⁾。日本では 2010 年富山市で、ステーション数 15 箇所、自転車台数 150 台の自転車共同利用システムが日本で初めて本格実施された。

自転車共同利用システムの特徴は、乗り捨てが可能なことである。しかし自転車が一方向のみに利用されると、ステーション間で自転車台数に偏りが生じる。満車で返却できないステーションや、不足で利用できないステーションが発生する。そこで自転車台数を調整するために、トラックによる集配が行われているが、集配にかかる人件費や燃料費が運営を圧迫している。また近いステーションから巡回し、不足しているステーションを先に訪問してしまうことがあり、効率的な集配が行われていない。本研究は、自転車共同利用システムの持続的な運営システムの構築を目指し、遺伝的アルゴリズム (以下、GA) を用いた自転車集配経路計算プログラムを作成し、その性能を検証することを目的とする。

2. モデルの定式化

自転車集配経路計算プログラムが目指すものは、集配経路の最短化と集配時間の最小化である。集配経路の最短化では以下の式によって定義されるトラックの総走行距離を最小化する。

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij} \quad x_{ij} \in \{0,1\}$$

集配時間は、トラックの移動時間とステーション訪問時間の合計を最小化する。

$$\min \left\{ \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n t_i y_i \right\} \quad x_{ij} \in \{0,1\} \quad y_i \in \{0,1\}$$

n : ステーション数、 d_{ij} : 点 i, j 間の距離、 t_{ij} : 移動時間、 t_i : 積降時間

$x_{ij} = 1$: トラックが点 i から点 j へ移動する

$x_{ij} = 0$: トラックが点 i から点 j へ移動しない

$y_i = 1$: トラックが点 i を訪問する

$y_i = 0$: トラックが点 i を訪問しない

3. 前提条件

集配を行うトラックは 1 台のみであり、あらかじめ出発地点を定め、集配後は出発地点に必ず戻るものとする。出発地

点では、トラックに自転車は積載していないものとする。トラックには積載容量があり、容量を超えての積み込みや容量がマイナスとなる積降はできない。集配前に各ステーションの自転車収容台数を確認できるものとし、収容台数の合計は総台数と等しいものとする。

4. 解法

4.1 アプローチ

本問題は、配送センターから複数の需要地への配送経路を決定する配送計画問題 (以下、VRP) に類似している。しかし VRP では商品を出発地点で積み込んでいるため、どの積降点へも移動可能であるのに対し、本問題では、出発地点において自転車を積み込まずに出発するため、最初の移動先が積み込み点だけに制限される。そこで、解法には VRP を解く際に用いられる GA をベースとし、これに自転車再配置特有の制限を設ける変更を行う。

4.2 プログラムの入力値

トラックの出発地点と各ステーション間の距離データ、時間帯別の各ステーションの需要台数、トラックの最大積載容量、自転車の総台数、ステーションの最大容量を本プログラムの入力データとして与える。

4.3 プログラムの流れ

集配を行う時点での各ステーションの自転車収容台数を入力する。次に、集配を行う時間帯を分析者が選択する。この選択によって、各ステーションの時間帯別需要に対応した台数の再配置が可能となる。既存研究²⁾では、偏った自転車台数を均等にすることを目的としている。しかしステーションによっては、朝利用者が多く、夕方はほとんど利用されないなど時間帯によって、需要が異なる。そこで、あらかじめ各ステーションの時間帯別需要台数を定め、その需要台数に調整することで、需要に配慮した集配を可能にする。ここから、GA を用いて最適集配経路の導出を行う。まず、出発地点からいくつかのステーションを訪問し、再度出発地点に戻るルートを複数作成する。訪問しないステーションは、ランダムに選択される。VRP では、全てのステーションを必ず一度訪問する設定であるが、台数調整が不必要なステーションがある場合には、非効率である。訪問しないステーションを生み出すことで、トラックの総走行距離の短縮と集配時間の短縮を可能にする。次に、作成したルートに従ってトラックを巡回させ、自転車台数の調整を行う。トラックの集配に関しては、3. で述べた前提条件を満たして行う。集配後、GA の一般的なプロセスである、評価・選択・交叉・突然変異・世代交代を行い、指定世代まで繰り返し計算を行い、最適集配経路を導出する。

4.4 評価方法

本プログラムでは、GA の一般プロセスである評価におい

て、トラックの総走行距離と集配後の各ステーションにある自転車台数を評価基準とする。総走行距離に関しては、集配ルートの走行距離をそのまま評価値として用いる。自転車台数に関しては、需要台数を満たしていないステーションに、出発地点から需要台数を満たしていないステーションまでの3往復分の距離をペナルティ値として、先ほどの距離データに加算する。3往復としたのは、片道や往復の距離ではペナルティの値として低く、需要台数を満たさないステーションが多く発生してしまうからである。ここで、需要台数に満たないステーションとは、あらかじめ定数で与えた需要台数よりも2台以上少ないステーションとする。需要台数自体が正確な値ではないため、2台以内の差は許容の範囲とする。また、返却スペースが3台以内のステーションや発着地点に自転車を積載したままトラックが戻ってきた場合には、それぞれペナルティ値を加算する。よって集配ルートの総走行距離に、ペナルティ値を加算した値を評価値とする。この評価値が低いもの、つまり総走行距離が短く、需要台数を満たすステーションを多く持つ集配ルートを、最適集配経路として導出する。

5. 単純仮想ネットワークへの適用

単純なネットワークに対して本プログラムの適用を行った。ステーション数10、ステーション最大容量20、トラックの最大積載容量20、自転車総台数100のネットワークである。GAの個体数は20とし、1000世代分の計算を行った。計算時間は1秒以内であった。

図1は、ステーションを配置する単純ネットワークである。

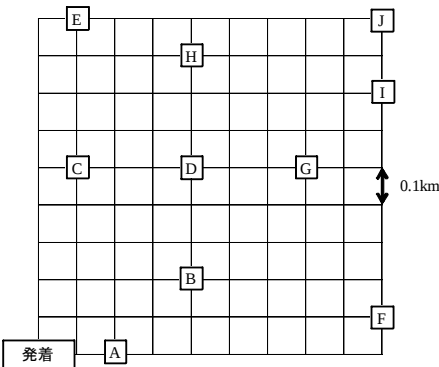


図1 単純ネットワーク

表1は各ステーションの時間帯別自転車需要台数の設定値である。今回は4つの時間帯に分け、それぞれの需要台数はランダムに定めた。

表1 時間帯別自転車需要台数の設定値（単位:台）

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	計
6時～10時	12	15	8	9	9	6	9	16	9	7	100
10時～17時	9	15	8	14	9	9	9	11	9	7	100
17時～22時	9	7	9	13	9	9	13	9	13	9	100
22時～6時	12	15	5	5	9	5	13	15	12	9	100

表2は集配を行う時点での、各ステーションに収容されている自転車台数をランダムに定めたものである。今回は、現行集配方法とプログラム適用による集配方法の比較を行う。なお現行集配方法とは、均等に台数を調整することを

目的に、トラックの発着地点から近いステーションを順番に全てを一度訪問し、台数調整できなかったステーションに再度訪問し、積降を行い発着地点に戻る方法である。

表2 各ステーションの自転車収容台数(単位:台)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	計
8時	7	6	19	14	9	15	10	4	7	9	100
15時	12	6	12	10	9	11	9	10	11	10	100
20時	12	9	10	9	9	11	12	10	8	10	100
4時	6	12	6	14	16	11	10	8	7	10	100

表3は8時、表4は15時に集配を行った場合の、現行集配方法と本プログラムを適用した集配方法における、台数の変化を示したものである。現行法では、100台の自転車を10箇所に均等に配置することを目的に集配を行うため、各ステーション10台ずつの再配置となる。一方で、プログラムを適用した集配では、両時刻において需要台数に近い集配を行うことができた。

表3 8時集配による台数変化(単位:台)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	計
収容台数	7	6	19	14	9	15	10	4	7	9	100
需要台数	12	15	8	9	9	6	9	16	9	7	100
現行法	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100
プログラム適用	11	15	8	9	9	6	10	16	7	9	100

表4 15時集配による台数変化(単位:台)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	計
収容台数	12	6	12	10	9	11	9	10	11	10	100
需要台数	9	15	8	14	9	9	9	11	9	7	100
現行法	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100
プログラム適用	9	13	8	12	9	9	9	10	11	10	100

表5と表6は、上記の場合の集配比較である。集配時間は、トラックの平均時速を10km/h、ステーション訪問時間を1ステーション3分として算出した。

表5 8時集配の比較

	集配ルート	複数訪問した場所	総走行距離	集配時間
現行集配	発ABDCEHJIGFBA着	B,A	5.0km	66分
プログラム適用集配	発DFBCHA着	なし	4.9km	47.4分

表6 15時集配の比較

	集配ルート	複数訪問した場所	総走行距離	集配時間
現行集配	発ABDCEHJIGFBA着	B	5.0km	63分
プログラム適用集配	発CABFD着	なし	4.1km	36.6分

6. おわりに

自転車再配置作業におけるトラックによる集配を最適化する計算プログラムを構築し、その有用性を確認した。

参考文献

- 1) <http://www.velib.paris.fr/> 最終閲覧日：2012年1月6日
- 2) 和田聡美：バイクシェアリングシステムにおける自転車回収・再配置問題に関する研究 東京理科大学平成22年度卒業論文