

## バイクシェアリングシステムにおける 自転車回収車の経路決定法の提案

### 1 はじめに

バイクシェアリングシステムは主として市街地域における新しい公共交通の仕組みとして注目されている。しかし、システムの運用にあたってはいくつかの課題が挙げられている。その1つとして、利用に伴い、各駐輪所に設置されている自転車の台数に偏りが生じてしまうことである。この偏りを無くすために自転車回収車(回収車)が出勤し、駐輪場の自転車台数の調整(回収・再配置)を行うが、システムの円滑な運営を行うためには、回収・再配置を効率良く実行することが望ましい。本研究では、この回収・再配置作業を行う際の巡回経路を巡回セールスマン問題の近似解法を用いて、より低コストな経路選定を行うことを目的とする。

### 2 バイクシェアリングシステム

バイクシェアリングシステム(Bike Sharing System: BSS)は、利用者が借りたポート(駐輪場)と異なるポートに返却することが可能である。このため、ポートに設置されている自転車の台数に偏りが生じるという問題が発生し得る。そこで、BSSの運営者は回収車により、回収・再配置を行う。その作業経路は、円滑な運営を行うという観点から、を考えると、巡回セールスマン問題の近似解法を用いることにより、より低コストの経路を求めることが出来る。ここでいうコストとは、巡回経路長や作業時間のことを示している。

### 3 自転車回収車の経路選定問題

回収車による回収・再配置作業の経路選定問題を自転車回収車の経路選定問題と定義する。本研究の目的は、BSSにおける自転車の回収と再配置を行うトラック(以降、このトラックのことを回収車、回収と再配置作業のことを回収・再配置と呼ぶことにする)の、作業経路をよりコストが小さくなるような経路選定を行うことである。この問題を配送計画問題ととらえ、本研究で扱うBSSを以下のように想定する。

- (1) BSSは、一つのデポと複数のポートで構成される。
- (2) 自転車を搭載した回収車がデポを出発し、過不足の発生しているポートを巡り、回収再配置を繰り返し再びデポに戻ってくる。
- (3) デポに待機している回収車の最大積載容量は既知である。
- (4) 故に過不足の発生していないポートは無視することが出来る。
- (5) ポート間の移動時間、移動距離、移動費用は既知である。
- (6) 回収車の巡回経路中の各ポートにおける過不足台数の合計は0になる。

- (7) 回収・再配置が完了した時点でのBSS全体の自転車台数は変化しない。
- (8) ポートにおける過不足台数の絶対値は回収車の最大積載重量を超えない。
- (9) 回収車の台数は、決められた上限を超えない。
- (10) 回収車の稼働時間が与えられた上限を超えない。

これらの条件の元、回収車が回収再配置作業を行う際の巡回経路がより低コストとなるような経路を選定する。また、作業を分担するという観点から、回収車の台数を複数台にする。経路の分割にはMTSPの近似解法であるツアー分割法を用いる。

### 4 複数巡回セールスマン問題

巡回セールスマン問題(Traveling salesman Problem: TSP)は与えられた都市を、1人のセールスマンが巡回する問題である[1]。このセールスマンの人数を複数とした問題を複数巡回セールスマン問題(Multiple Traveling Salesman Problem: MTSP)と呼び、「 $k$ 人のセールスマンがあり、それらは予め与えられた $N$ 個のデポを出発し、 $n$ 個の定められた地点を全てかつ、どれかのセールスマンがただ一度巡り、各々出発したデポに帰還する。そのとき、総経路長が最小になっている各セールスマンの巡回経路を求める」というものである。 $N=1$ (デポが1つ)の場合、ヒューリスティック解法としてよく知られているのはFredericksonら[2]によって提案されたツアー分割法である。この方法は、与えられた都市群に対して単純TSPのヒューリスティック解法を適用し、それを $k$ 人のセールスマンに経路長がほぼ均等になるよう分割することで経路を得る方法である。

### 5 提案手法

複数台の回収車による自転車の回収再配置を行う場合の巡回経路を求める手法として、初期巡回経路を作成し、 $k$ 台の回収車に分割する手法に対し、回収車の初期積載容量を与える手法を提案する。

- 【1】 訪問可能な点の中からランダムに一つを選択し、始点とする。
- 【2】 訪問可能な点の中で、始点から最も近い距離の点に移動する。
- 【3】 移動先の点を新たに始点とし、【2】を繰り返して全ての点を訪問し、実行可能な巡回経路が得られれば終了する。得られない場合は【1】に戻る。
- 【4】 巡回路中の適当な2本の枝( $a,b$ )と( $c,d$ )を選択する。

- 【5】 実行可能で且つ,  $(a,c) + (b,d) < (a,b) + (c,d)$  ならば枝  $(a,c)$  と  $(b,d)$  を結合する.
- 【6】 【5】を満たす枝がなくなったら【7】に移る.
- 【7】 巡回路中の適当な点  $v$  に接続している 2 本の枝を取り除く.
- 【8】 点  $v$  を巡回路中の別の枝の間に挿入し, 実行可能で且つ, 巡回路長が短くなったら解を更新する.
- 【9】 【8】を満たす点がなくなったら終了.
- 【10】 【9】の巡回経路を  $T$  と置き,  $T$  の経路長  $L$  を求める.
- 【11】 デポ  $i_1$  とデポに最も遠いポートとの距離  $C_{\max}$  を求める.
- 【12】  $1 \leq j < k$  なる  $j$  番目のサブツアーの終端となるポート  $i_{p(j)}$  を求める.  $i_{p(j)}$  は, 巡回経路  $T$  のデポから  $i_{p(j)}$  までの経路長が  $\frac{j}{k}(L - 2C_{\max}) + C_{\max}$  を超えないポートとする.
- 【13】  $k$  個のサブツアーを  
 $T_1 = (i_1, \dots, i_{p(1)}, i_1)$ ,  
 $T_2 = (i_1, i_{p(1)+1}, \dots, i_{p(2)}, i_1), \dots$ ,  
 $T_k = (i_1, i_{p(k-1)+1}, \dots, i_{p(n)}, i_1)$  とする.
- 【14】 【13】を満たす点がなくなったら終了.

## 6 実験結果と考察

既存手法 [3] 及び提案手法による複数台回収車の巡回経路の数値検証を行った. 再現する BSS は TSPLIB[4] より, berlin52, gr96, gr120, ch150 の各都市座標をデポ及びポートの座標と置き換え, 各ポートに自転車の過不足に相当する値を与え, 仮想の BSS を構築し, 数値検証を行った. 図 1 は berlin52 の提案手法による経路分割の結果である. また, 表 1, 表 2 は berlin52, gr96, gr120, ch150 における 2 手法による数値の比較である. ただし, 分割数 3(A 車, B 車, C 車), 各回収車の最大積載容量 20 台である. また各ポートの過不足の平均値を  $q_0$  とする.

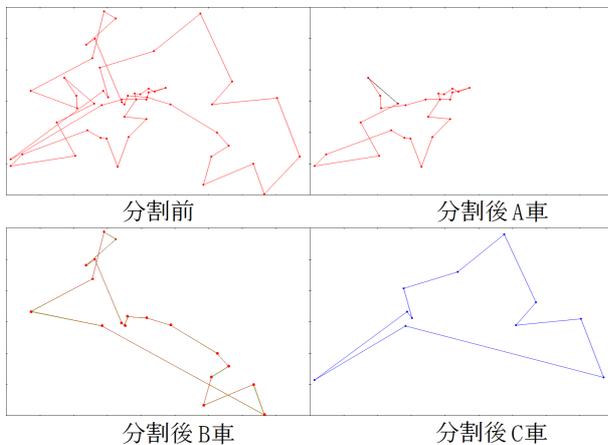


図 1: 提案手法による分割経路 (berlin52)

表 1: 既存手法による経路分割

既存手法			
使用 MAP	A 車	B 車	C 車
berlin52	3648.3	876.5	2896.4
gr96	133.6	509.2	34.0
gr120	1054.3	1234.1	862.3
ch150	5072.0	4023.2	4790.8

表 2: 提案手法による経路分割

提案手法				
使用 MAP	$q_0$	A 車	B 車	C 車
berlin52	4	3353.0	2805.8	3523.8
gr96	6	239.3	271.9	241.8
gr120	6	924.9	805.4	1023.2
ch150	5	4022.3	3708.5	4277.2

## 7 おわりに

実験結果から, 既存手法では複数台に経路を分割した際に, コストに偏りが生じていたが, 提案手法による回収車の積載容量を与える手法では, 既存手法と比較して偏りを抑えることが出来た. また, 各 MAP の作業コストの最大値について, berlin52 は B 車: 4788.8 であったのが A 車: 3759.9, といったように, 既存手法と比べると削減できていることが分かる. このことから, 提案手法の方が, 規模がそれほど小さくなく, 複数台の回収車を必要とする BSS にも対応できる手段であると言える. ただし, ツアー分割法の概念を用いているため, 分割したツアーの末端からデポへ帰還する分の余計な経路コストがかかるため, より低コストな分割方法が必要であると言える.

## 参考文献

- [1] 山本芳嗣, 久保幹雄: 巡回セールスマン問題への招待, 朝倉書店 (1997)
- [2] G.N.Frederickson, M.S.Hecht, and C.E.Kim: "Approximation algorithms for some routing problems," SIAM J.Comput., Vol.7, pp.178-193, (1978).
- [3] 好永智之, 小野孝男: TSP 近似解法による自転車回収車の巡回経路の導出, 第 14 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム (IEEE HISS 2012), No.A-93, pp. 279 - 281 (3 ページ), 2012 年 11 月
- [4] TSPLIB, <http://comopt.i.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/> (最終閲覧日 2014/1/27)