

# バイクシェアリングにおける自転車再配置車両の 経路決定手法に関する研究

前田 謙太郎

東京工業大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻（現：(株) NTT データ）  
指導教員：福田光浩 東京工業大学准教授

## 1. はじめに

バイクシェアリングは利用者が一定エリア内に設置された自転車貸出・返却ポートから自転車を一時的に利用でき、一般的なレンタルサイクルと異なる自転車の片道利用ができるサービスである。しかし任意のポートで自転車を貸出・返却できるためにポートにより自転車数に偏りが発生し、サービスの利便性が低下する場合がある。そこでバイクシェアリングの運営者は自転車再配置車両 (vehicle) を用いてポート間の自転車の再配置作業を行っているが、効率的な自転車再配置経路を得ることが課題となっている。

本研究では、この自転車再配置問題 (Bike Rebalancing Problem, BRP) に対する新たな経路計算の手法を構築し、東京都江東区での事例を対象に検証した。

そして数値実験などの結果から、本研究で提案した解法は商用ソルバーよりも高速でかつ、現実の問題に対しても高精度となることがわかった。また、この解法を用いた江東区でのシミュレーションでは、現状よりも効率的な再配置経路を得られることがわかった。

## 2. BRP の問題設定

BRP では、再配置作業の拠点（以下、デポと呼ぶ）とポートからなる頂点集合  $V = \{0, 1, \dots, n-1\}$  と  $V$  の頂点を結ぶ有向枝集合  $A$  が与えられている。頂



図1 江東区におけるバイクシェアリングのポート

点 0 はデポを示し、頂点  $\{1, 2, \dots, n-1\}$  はポートを示す。各頂点  $i$  には正負の値を取る  $q_i$  が与えられており、デポまたは各ポートでの自転車の vehicle への回収か vehicle からの配置を表す。 $i \in V$  に対し、 $q_i \geq 0$  のときポート  $i$ （以下、回収ポートと呼ぶ）より  $q_i$  台の自転車が vehicle に回収され、 $q_i < 0$  のときポート  $i$ （以下、配置ポートと呼ぶ）は vehicle から  $q_i$  台の自転車が配置される。各回収ポートから回収された自転車は配置ポートかデポへ運ばれる。Vehicle には積載容量  $Q$  が与えられており、デポから再配置作業を開始して各ポートを一巡した後デポに帰還する。さらに、各枝  $(i, j) \in A$  には移動コスト  $c_{ij}$  が割り当てられている。これらの条件の下で、vehicle の総移動コストが最小となる巡回路を得ることを目指す。

## 3. BRP に対する発見的解法

本研究では、大規模な問題でも高速に解けるよう発見的解法を採用した。この解法ではまず、巡回セールスマン問題 (TSP) に対する最近傍法で初期巡回路を生成し、同じく TSP に対する 3-opt 法による局所探索で局所的最適巡回路を得た。ただし、ここでは、最近傍法に Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) を用いて、初期巡回路の生成にランダム性を導入した。これによりある制限時間内にて複数の初期巡回路を生成し、それぞれの巡回路に 3-opt 法を適用することで複数の局所的最適巡回路を得て、最終的にその中から最良巡回路を算出した。なお、最近傍法と 3-opt 法での巡回路生成では常に vehicle の自転車に対する容量制約を満たすものを生成した。また、本研究では 3-opt 法にて元の巡回路の全部分経路の移動コストや積載自転車数の変動値を前もって計算する処理を行うことで、その計算量を  $O(|V|^4)$  から  $O(|V|^3)$  に減らして高速化することに成功した。

## 4. 数値実験

[1] では BRP におけるベンチマークインスタンスを提供しているので、3 節で提案した解法の性能評価に

表 1 ベンチマークインスタンスでの解法の比較

都市	Q	V	総移動コスト		相対誤差(%)
			CPLEX	本研究の解法	
Bari	30	14	15,000	15,000	0.00%
ReggioEmilia	30	15	16,900	16,900	0.00%
Treviso	10	20	31,443	31,443	0.00%
Ottawa	20	21	16,478	16,478	0.00%
SanAntonio	10	34	40,149	40,149	0.00%
Brescia	20	31	31,100	31,100	0.00%
Roma	30	37	61,900	62,000	0.16%
Guadalajara	20	46	59,618	59,618	0.00%
Denver	30	53	51,920	51,920	0.00%

使用した。数値実験では、商用最適化ソルバーである CPLEX による厳密解も計算して性能を比較した。この結果の一部を表 1 に示す。ここで、3 節で設定した制限時間は 5 分とし、その時間内で局所的最適巡回路を求め続けた。BRP は混合整数計画問題として定式化され、計算機のメモリや計算時間等の制約から CPLEX で厳密解を求められたのは頂点数  $|V| = 50$  程度までである。3 節の解法による巡回路と比較すると相対誤差が 1% 以下となる巡回路を得られ、現実的な計算時間で高い精度を得られていることがわかる。

## 5. 江東区でのサービスへの応用について

### 5.1 株式会社ドコモ・バイクシェア

株式会社ドコモ・バイクシェア [2] は、サイクルシェアリング事業の運営等を手がける企業であり、この度江東区にて実施しているバイクシェアリングサービスのデータの一部をご提供して頂いた。

### 5.2 自転車再配置シミュレーション

今回のシミュレーションでは、30 分ごとに更新される各ポートの自転車数のデータから逐次的に巡回路を計算して、その部分経路を辿って自転車の再配置を繰り返すとした。そのため本節では一つの巡回路の計算ではなく、複数の巡回路の部分経路を組み合わせた一つの自転車再配置経路について議論する。そしてポート  $i$  での自転車収容用のラック数を  $n_i$  として、巡回路計算の際には自転車数が  $0.5n_i$  未満と  $2n_i - 1$  超のポートを再配置対象ポートとした。3 節の解法では vehicle の総移動コストを最小化する巡回路を得ることを目的としている。しかし本節では巡回路計算に罰金法を導入して、各ポートの自転車数と収容基準数から各ポートに優先度を設け、優先度の高いポートから早期に作業をする巡回路を算出するモデルを構築し、優先度有り無しで二つのモデルを検証した。また江東区では自転車再配置作業を 2 台または 1 台の vehicle で行っており、今回のシミュレーションでは一本の巡回路を求めた後、2 台の vehicle にその部分経路を割り当てた。

表 2 現状とシミュレーションでの過不足ポートの発生度合いの比較

	現状	優先度無し	優先度有り
$0.5n_i$ 未満数	5059	3063	3376
$0.5n_i$ 未満率	32.7%	19.8%	21.8%
0ポート数	614	453	256
0ポート率	4.0%	2.9%	1.7%
$2n_i - 1$ 超数	2088	1302	1302
$2n_i - 1$ 超率	13.5%	8.4%	8.4%

表 3 現状とシミュレーションの総走行距離の比較

1回当たりの総走行距離の平均(2台合計)(km)		
現状(2台稼働日)	シミュレーション	
	優先度無し	優先度有り
74	70	80

## 5.3 シミュレーション結果

5.2 節で述べた江東区での自転車再配置シミュレーションの結果を表 2 と表 3 にまとめる。表 2 では対象の期間中に現状の再配置手法と二つのモデルにより自転車数が  $0.5n_i$  未満、0 ( $0.5n_i$  未満に含まれる)、 $2n_i - 1$  超を記録したポートの累計数とその割合がまとめられている。ここでシミュレーションの期間は 2016 年 8 月と 9 月から合計 4 週間とした。表中の母数は 15457 である。この結果から、二つのシミュレーションとも現状よりも自転車数のばらつきを多く解消できていることがわかる。また優先度有りモデルではその自転車数に応じて作業に優先度を設定したため、0 ポート率を減少させることに成功している。

表 3 は、現状 (vehicle が 2 台稼働した日) の再配置手法と二つのシミュレーションによる vehicle の総走行距離をまとめたものであり、優先度無しモデルでは現状よりも減少させることができた。ただし、優先度有りモデルでは各ポートに作業の優先度を設ける操作を行ったために総走行距離は現状よりも長くなる結果となった。また現状と優先度有りモデルの総走行距離の差をガソリン代の差として置き換えてみると、一日当たり約 73 円の差となり、この金額を支払うことで現状より効果的な再配置作業を行えることがわかった。

## 参考文献

- [1] M. Dell'Amico, E. Hadjicostantinou, M. Iori and S. Novellani, "The bike sharing rebalancing problem: Mathematical formulations and benchmark instances," *Omega*, **45**, pp. 7–19, 2014.
- [2] 株式会社ドコモ・バイクシェア, トップページ, <http://www.d-bikeshare.com/> (2017 年 1 月 14 日閲覧)