

Day-to-dayの行動特性の違いを考慮したEVシェアリングのレベニューマネジメント

齊藤 いつみ¹・羽藤 英二²

¹学生会員 東京大学工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail:saito@bin.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail:hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では、EVシェアリングの運用に関して異なる主体によるトリップの組み合わせを想定し、ポート、車両の効率的な運用について最適化問題としての定式化を試みる。この際需要パターンに関してday-to-dayの変動が存在し、これらの変動が全体の車両挙動に影響を及ぼすことを想定した上で、動的に変化する需要パターンをどのように組み合わせることが効率的かということの評価を行うことを目的とする。本論文では評価の枠組みと定式化を行い、プローブパーソン (PP) データにもとづいたday-to-dayのパターン分析を行った上で複数の需要パターンを考慮し最適化問題を解くための基本的な制約条件の整理と考察をケーススタディによって行う。

Key Words : *Electric vehicle, sharing system, day-to-day behavior, probe person data, optimization*

1. はじめに

近年自転車や電気自動車 (EV) の共同利用が注目されている。大きな背景としては、ITS 技術の高度化により高精度な管理と制御が可能になりつつあること、限られた資源の効率的な利用が必要となってきたことなどがあげられるだろう。同様のサービスに対するニーズは今後も増えていくことが予想されるが、需要管理の難しさやそれに伴う収益性の低さなどから現状では日本において本格的な事業として成功している例は少ない。このようなサービスがシステムとして成立するためには、多様な需要を効率的に束ね、収益を上げていくことが重要な課題であるといえるだろう。カーシェアリングに関する既存研究としては、山本・森川ら¹⁾の保有自動車削減可能性に関する研究や張・藤原ら²⁾による相乗り型カーシェアリングの評価などがあげられる。一方、シェアリングシステムは共同利用といった利用形態の特性から容量制約が存在するため、個人ごとに異なる多様な需要のマッチングを適切に管理することが重要となる。マッチングに関する研究としては桑野・塚井ら³⁾による活動の重みを考慮した送迎マッチングの研究や小林・多々納ら⁴⁾による送迎・相乗り行動に関するランダムマッチングモデルの研究があげられる。ここで重要になるのは、今後のシェアリングシステムの実装を考えた時、プローブパーソン技術など ITS 技術の援用によって管理

者は利用者の移動履歴やを情報を逐次管理・更新することができるということである。このような状況下において、管理者は利用者の個人ごとの需要の変動を計測することが可能となるため、個人の移動活動パターンを分析・モデル化しインセンティブ設計などによって需要を逐次管理・調整するアルゴリズムがシステムの頑健性を保障する上で重要な課題となるだろう。履歴を有効に利用することで、管理者は個人の行動の連鎖とその代替構造を把握しより効率的なマッチングを形成することも可能になる。

インセンティブコントロールに関する研究としては古くから研究の蓄積がされているが、これらは需要を一元的に扱ったり、ヒューリスティックなセグメンテーションを行ったりしている。EV シェアリングのような個別の需要を担保する交通システムを考えた場合、個人の需要の時間的・空間的変動によってシステム全体の挙動が大きく変化することが考えられ、これらの変動を考慮した上で多様な需要をどのように組み合わせることが効率的かということ個人ごとの需要変動を考慮しながら検証していく必要があるだろう。このための基礎的な分析として、個人の移動活動パターンの時間的・空間的ばらつきとその代替選択肢構造の分析が重要になる。

本研究では、EVシェアリングの効率性に関する評価の枠組みを示すとともに、個人の移動活動パターンを

day-to-dayの変動という視点から整理・類型化し、具体的な組み合わせパターンを用いて最適化問題の制約条件の整理を行うことでEVシェアリングの需要管理についての基礎的な知見を得ることを目的とする。

2. 研究のフレームと定式化

本研究では、EVシェアリングの利用者の移動活動パターンを想定し、EVシェアリングポートを配置した場合のEVシェアリング評価を考える。以下ではシェアリングの評価に関する定式化について述べる。図-1に移動活動パターンとEVシェアの利用イメージを示した。このとき、あるポート配置、容量に対するEV稼働時間の割合が高いほどシステム全体の効率性が高いとし、異なる需要パターンが与えられた際のEVシェアリングのポート配置と稼働率評価を行うこととする。

ここで、 n 点ポート間の需要 $d_{ij}(t)$ が与えられた下でEVシェアリングの総稼働時間 T を最大化する問題を定式化する。

$$\text{Maximize } T = \sum_{i,j,t} t_{ij}(t) \quad (1)$$

$$\text{Subject to } 0 \leq \sum_i x_i(t) \leq y \quad (i=1, \dots, n, t=1, \dots, T) \quad (2)$$

$$x_i(t) = x_i(t-1) - \sum_j f_{ij}(t) + \sum_k f_{ki}(t) \quad (3)$$

$$f_{ij}(t) \leq d_{ij}(t) \quad (4)$$

$$L_n(t) < L_{nc}(t-1) \quad (5)$$

ただし、

x_i : 地点 $i(i=1, \dots, n)$ の初期EV台数

y : EV総台数

$x_i(t)$: 時間帯 $t(t=0, \dots, T)$ 終了時のポート i のEV台数

$d_{ij}(t)$: 時間帯 t のポート i からポート j へのEV移動需要台数

$f_{ij}(t)$: 時間帯 t のポート i からポート j への移動台数

$t_{ij}(t)$: 時間帯 t のポート i からポート j への移動時間 (EVシェア利用時間)

$L_n(t)$: 車両 n の時間帯 t における走行距離

$L_{nc}(t)$: 車両 n の時間帯 t における走行可能距離 (充電時間を考慮)

需要パターン、EV総台数を所与とし、総利用時間を最大にするようなポート配置と台数配分を求める。

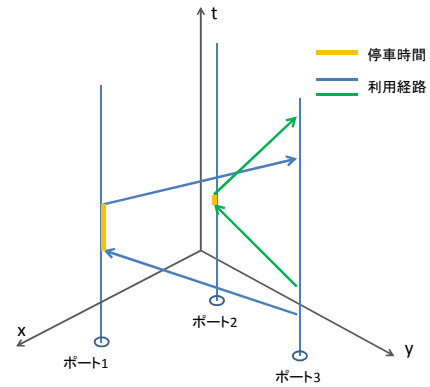


図-1 移動活動パターンとEVシェア利用イメージ

表-1 PP データ概要

期間	対象者	トリップ	ロケーション
2008/11/8-12/24	100名	13808件	2920484件
2009/10/29-11/27	50名	2504件	601814件
2010/07/05-08/11	40名	3617件	789074件

3. 移動活動パターン基礎分析

本節では、ポート間で発生する需要パターンの基礎的な知見を得るため、横浜都市圏において実施されたPP調査データを用いて移動活動パターンの分析を行う。データ概要を表-1に示す。

3.1 自動車の移動活動パターン分析

まず、全体の傾向として対象地域内で自動車がどのような利用のされ方をしているかについて分析するため、ツアーパターン、走行距離、滞在時間、出発時間、利用時間に着目して分析を行う。本分析では、3.1で示したデータのうち横浜中心部在住（桜木町駅から半径3km以内）で期間内に少なくとも1回は自動車利用が観測されたモニター18名の自動車移動実績を対象とした。対象モニターの期間内における観測自動車ツアー数は150ツアーであった。図-2に自動車の移動経路のプロット、表-2にツアーパターンの内訳と移動特性を示す。図-2より、横浜中心部での移動は非義務目的が多いことがわかる。また全体を通して非義務のみのツアーパターンが最も多く全体の約55%を占める。ストップ数が3以上のツアーは少なく主要パターン（表-2の網かけ部）で全体の約90%を占めることがわかった。

また、平均滞在時間をみると義務目的の滞在時間は概ね600分前後となっている。一方、非義務目的の滞在時間はばらつきが大きく主要パターンで平均値は40-70分16分であり、20分以下が全体の半数以上を占め短時間利用が多いことがわかる。これは自動車の駐車制約も大きく影響していることが考えられEVシェアリングを利用した場合は駐車制約が少なくなるために滞在時間が延びるなどの行動変化も生じることが考えられる。移動時間に関しては義務目的の移動時間が非義務目的に比べ

表-2 観測ツアーパターンと移動滞在特性

カテゴリ	パターン	観測数	平均滞在時間(分)	平均移動距離(km)
義務ツアー	HWH	43	0	638.6
	HWWH	4	0	582.0
非義務ツアー	HOH	59	76.6	0
	HOOH	17	43.8	0
	HOOOH	4	145.3	0
	HOOOOH	2	227.5	0
	HWOH	14	48.1	619.4
混合ツアー	HOWH	3	4.7	716.7
	HWOOH	6	44.0	556.8
	HWWOH	1	102.0	573.0
	HWOWH	1	15.0	783.0
	HWOOOH	1	94.0	939.0
	HWWWOH	1	0.0	732.0
				123.6

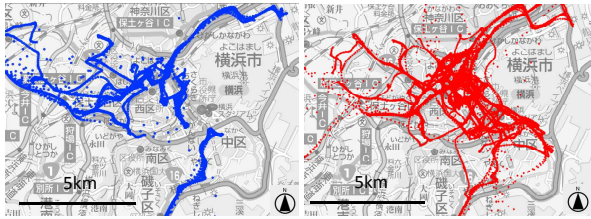


図-2 自動車移動軌跡 (左:義務, 右:私事)

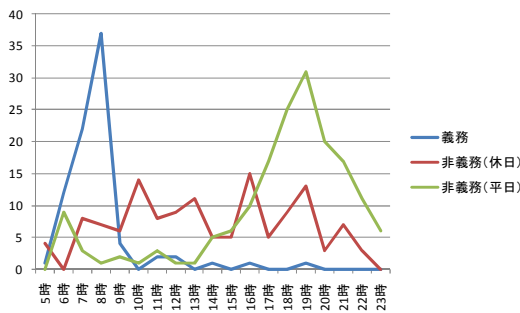


図-3 自動車トリップ出発時間分布

長いことがわかった。非義務目的は中心部付近で活動が行われるのに対し、義務目的の活動は中心部外で行われる割合が高いためである。移動経路(目的地)や出発時間に関しても目的・曜日ごとに大きな違いがみられた。特に、義務移動に関してはピークが7-9時に偏っておりEVシェアリング利用の時間調整などは難しいことが想定される。逆に、休日の非義務目的の移動に関しては出発時間のばらつきが大きく、時間調整なども行われやすいことが考えられる。

3.2 個人ごとの移動活動パターン分析

(1) day-to-dayの変動分析

(a) 移動滞在変動分析

自動車利用に関する滞在時間やツアーパターンの日々の変動特性を観察するため、代表的なモニターに関して時系列のツアーパターンの変動を示した。図-4にはmc008の自動車利用パターンの変動を示している。mc008は走行距離・滞在時間ともに短く変動が少ない。

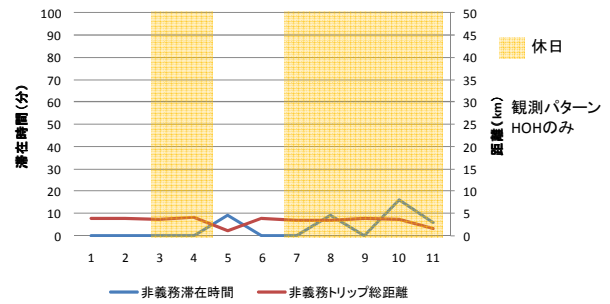


図-4 自動車利用パターン時系列変化 (mc008)

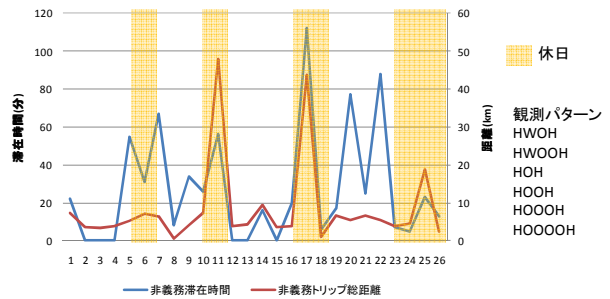


図-5 自動車利用パターン時系列変化 (mc017)

またパターンはHOHしか観察されなかった。休日平日ともにほとんどが自宅付近駅との往復移動に自動車を利用しており、非義務目的の利用ではあるが利用パターンが固定的なモニターであるといえる。

図-5にはmc017の自動車利用パターンの時系列変化を示す。mc017は自動車依存度が非常に高く、ほぼすべての移動で自動車を利用している。義務目的のみのツアーパターンに関しては変動が少なかったため、非義務を含むパターンのみ図-5に示した。非義務を含むパターンに関して期間中に6パターンが観察され、特に、平日と休日で明らかな違いが観察された。平日はHWOHなど義務活動後に付随し非義務活動が生じるパターンが多いのに対し、休日はHOOOHやHOOOOHのパターンの活動を行っておりストップ数が増えることで総移動距離が長くなっている。滞在時間に関してはそれほど長くないことから、短時間滞在・短距離トリップを複数繰り返すような移動が休日に増えることがわかる。

(b) 目的地変動分析

次に、目的地のばらつきの分析を行う。今回はある目的地から500m以内に存在する目的地については両者を同一の目的地と定義することで目的地の集約化を行った。図-6に自動車ツアー数が5以上のモニター11名について非義務自動車トリップのday-to-dayの累積目的地数を示す。この結果より、11名中8名のモニターは目的地が4以下で収束しているのに対し、3名のモニターは目的地数の増加率が大きい。特にyd002とmc017は非常に多様な活動パターンを行っていることがわかる。この結果は移動・滞在時間の時系列分析とも対応している。

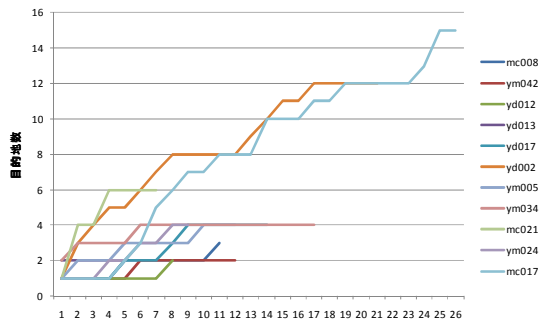


図-6 累積非義務目的地数

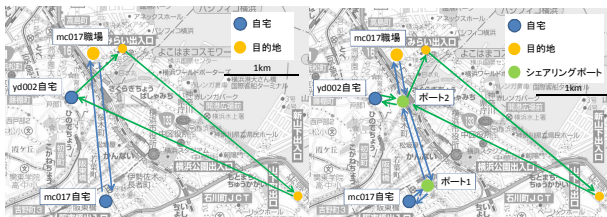


図-7 組み合わせ事例 (左：現状，右：EVシェア導入後)

表-3 組み合わせ事例 (車両挙動) (mc017, yd002)

時刻	車両数		累積走行距離(km)	モニターの活動	
	ポート1	ポート2		mc017	yd002
7:00	1	0	0	-	-
8:00	0	0	0	通勤	-
8:10	0	1	1.7	職場着	-
15:00	0	0	1.7	-	私事
15:10	0	0	3	-	私事
16:05	0	0	7.5	-	帰宅
16:20	0	1	12	-	ポート2着
18:30	0	0	12	帰宅	-
18:40	1	0	13.7	自宅着	-

(2) モニターの類型化

以上の分析により、モニターの代表的な移動活動パターンは以下のように類型化できる。

- 義務目的中心で、滞在時間・走行距離が長く利用パターンの変動が少ないグループ
- 義務目的と私事目的の双方のツアーパターンを行い、利用パターンの変動が大きいグループ
- 私事目的中心で滞在時間・走行距離ともに短くパターンの変動が少ないグループ
- 私事目的中心で滞在時間・走行距離のばらつきが大きく多様なパターンが存在するグループ

個人の移動活動パターンの変動には大きく差があり、固定的な活動を行っているモニターと多様な活動を行っているモニターが存在すること、さらに多様な活動を行っているパターンも複数に類型化できることがわかった。

4. ケーススタディ

ここでは3で行った類型化を参考に、組み合わせパターンのケーススタディと制約条件の整理を行う。組み合わせ事例としてmc017の移動とyd002の移動の組み合わせを考える。両モニターはいずれも横浜中心部に居住し、

自動車分担率が高く多様な移動活動パターンを行うモニターである。図-7に単純な2ポート、1車両を仮定した場合の平日の日常的な移動パターンの組み合わせ例を示した。(mc017→HWH,yd002→HOOH) この事例における時刻と車両の動きを表-3に示す。表-3のような移動活動パターン組み合わせにおいては、車両1台で2人分の移動を担保できることが分かる。累積走行距離についても問題のない範囲であることがわかる。

次に、日々の移動活動パターンは変化するため、1か月間で取得された移動活動パターンに関して2モニターの間でどの程度シェアリングで移動をまかなうことが可能であるかを検証する。対象トリップは自動車トリップのみとし、簡単のためモデル化などは行わず観察されたツアー順(曜日ごと)に組み合わせが可能かどうかを逐次計算するものとした。ポート、車両の条件は図-7と同様とする。結果を確認すると、休日は利用が重なりやすいことや、平日でも現状の活動をそのまま行った場合利用がうまく組み合わせられないパターンが散見された。この点については、非義務活動に関して活動時間をずらすなどのインセンティブ設計が必要であると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では移動活動パターンの変動に着目した分析と多様な移動パターンを行う2モニターに着目してケーススタディ・制約条件の整理を行った。ケーススタディによって、シェアリングで代替可能なトリップの特性と組み合わせの基礎的な知見が得られた。しかしこのようなシェアリングの効率性はモニターの移動活動パターンの組み合わせ次第で大きく変化することが想定される。今後は個人の代替選択肢構造を明らかにし、需要のモデル化による動的な制御可能性評価や充電時間の制約を考慮した分析が必要である。また、最適化問題の解法についての詳細な検討が必要となる。

【参考文献】

- 山本俊行・成瀬弘恵「カーシェアリングが自動車保有および交通行動に及ぼす影響の分析、土木計画学研究・論文集、vol.34
- 張峻屹・杉恵頼寧・藤原章正「相乗り型カーシェアリングシステムの提案」土木計画学研究発表会・講演集、No.25、2006
- 桑野将司・塚井誠人「活動スケジュール評価に基づく集落コミュニティ内送迎の個人間マッチング手法」都市計画学会論文集、No.45-3、2010
- 小林潔司・喜多秀行・多々納裕一「送迎・相乗り行動のためのランダム・マッチングモデルに関する研究」、土木学会論文集、no.536、1996
- 日高桂・多田葉子・篠原正明「カーシェアリングシステムの運用計画問題」オペレーションズリサーチ学会秋季研究発表会、2003