

ライドシェアを考慮したアクティビティベース利用者均衡モデルの構築

宮崎大学 学生会員 松尾 優輝 正会員 嶋本 寛

1. 研究の背景と目的

我が国においては、人口減少、少子高齢化が進行しており、特に地方都市では交通手段の確保が困難であり、これは早急に解決しなければならない。そこで近年では、Uberをはじめとするライドシェアサービスなどの交通サービスが世界的に普及している。しかし、公共交通機関の衰退が著しい地方都市においては、交通需要そのものが少ないため、活動希望場所、希望時間等の調整を行わなければマッチングが成立しにくいことが予想される。そこで本研究では、活動者の効用が最大となるようマッチングが成立するモデルを構築することを目的とする。

2. モデルの定式化

(1) 前提条件

本研究で対象とするモデルの前提条件について述べる。Xu et al.¹⁾と同様に、「Solo Driver (SD)」,「Ridesharing Driver (RD)」,「Rider (R)」の3つの交通手段を設定する。SDは時空間ネットワーク上を自分で運転する交通手段である。RDは相乗りを行なっている際の運転手のことを指し、Rはその乗客を指す。SD/RDは途中で入れ替わり可能であり、SD/RDとRは入れ替わることができないものとする。またSD, RDは走行時間に比例したガソリン代等の走行コストを支払うものとする。さらにRDはRを同乗させている時間に比例して、心理的な負担に相当するコストがかかる。最後に道路上のリンクには容量が存在し、リンクを走行するSDとRDの合計はリンク容量以下である。以上3点の前提条件を加味した効用最大化のマッチングモデルを構築する。

(2) 時空間ネットワーク (STEN) の構築

ライドシェアリングサービスが成立するためには、ネットワーク上でSD, RDがマッチングする必要がある。そこで本研究では嶋本²⁾と同様に一般的な二次元ネットワークに、時間軸を追加した時空間ネットワークを構築し、STEN上で均衡を考える。

(3) 記号表記

本研究で構築するモデルで使用する記号は以下の通りである。

- L : 元のネットワークのリンク集合
- T : 分析対象時間帯の集合
- Δt : STENにおける単位時間幅
- I : STENにおけるノードの集合
- R : STENにおける出発地ノードの集合
- S : STENにおける目的地ノードの集合
- A : STENにおけるリンク集合
- OUT(i) : ノードiの流出リンクの集合
- IN(i) : ノードiの流入リンクの集合

- P : アクティビティパターン集合
- $i(p)$: アクティビティパターン $p \in P$ の STEN における起点ノード
- $j(p)$: アクティビティパターン $p \in P$ の STEN における終点ノード
- A_1 : 移動リンクの集合
- A_2^p : アクティビティパターン $p \in P$ のアクティビティリンクの集合
- $a_{l,t}^{SD}$: 「元のネットワーク」において時間帯 t にリンク l を流出する、STEN における SD の移動リンク番号
- $a_{l,t}^{RD}$: 「元のネットワーク」において時間帯 t にリンク l を流出する、STEN における RD の移動リンク番号
- $a_{l,t}^R$: 「元のネットワーク」において時間帯 t にリンク l を流出する、STEN における R の移動リンク番号
- u_a^p : アクティビティパターン $p \in P$ におけるリンク a の効用
- $mu_p^k(t)$: アクティビティパターン $p \in P$ の活動 k に対する限界効用
- v_l^t : 「元のネットワーク」において時間帯 t に流出するリンク l の容量
- x_a^{rs} : 目的地を s とするリンク a のフロー
- q_p : アクティビティパターン $p \in P$ の需要

(4) リンクに付加する効用

a) 移動リンク

移動リンクの効用は以下のように表すことができる。

$$u_a^p = -x_a^s, \forall a \in A_1, \forall p \in P \quad (1)$$

b) アクティビティリンク

移動者 $p \in P$ がアクティビティリンク a で活動する効用は、嶋本³⁾と同様に以下のように表される。ここで、 U_0^k は活動 k の効用の最大値、 U_{max}^k は活動 k の効用の最大値を表す。また、 $\alpha_p^k, \beta_p^k, \gamma_p^k$ は各利用者の活動ごとに規定されるパラメータである。

$$u_a^p = \int_{\tau_{t(a)}}^{\tau_{h(a)}} mu_p^{k(a)}(t) dt \quad (2)$$

$$= \left[U_0^{k(a)} t + \frac{U_{max}^{k(a)}}{[1 + \exp\{-\beta_p^{k(a)}(t - \alpha_p^{k(a)})\}]^{\gamma_p^{k(a)}}} \right]_{t=\tau_{t(a)}}^{t=\tau_{h(a)}}$$

$$\forall a \in A_2^p, \forall p \in P$$

ただし、 $\tau_{t(a)}, \tau_{h(a)}$ はそれぞれアクティビティリンク a の開始、終了時刻を表している。

c) 待機リンク

待機リンクの効用は以下のように表せる.

$$u_a^p = -\Delta t, \forall a \in A_1, \forall p \in P \quad (3)$$

(5) 定式化

本研究で構築するモデルでは、ドライバーとライダーの効用を最大化する線形計画問題として以下のように定式化できる.

$$\max Z_{(X)} = \sum_{p \in P} \sum_{a \in A} u_a^p x_a^p \quad (4)$$

Subject to

$$\sum_{a \in IN(i)} x_a^p - \sum_{a \in OUT(i)} x_a^p = -q_p, \forall p \in P, i \in i(p) \quad (5)$$

$$\sum_{a \in IN(s)} x_a^p - \sum_{a \in OUT(s)} x_a^p = \sum_{r \in R} q_p, \forall p \in P, i \in j(p) \quad (6)$$

$$\sum_{a \in IN(i)} x_a^p - \sum_{a \in OUT(i)} x_a^p = 0, \forall p \in P, i \in \{I - i(p) - j(p)\} \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P} (x_{a_{lt}^{SD}}^p + x_{a_{lt}^{RD}}^p) \leq v_l^t, \forall l \in L, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{p \in P} x_{a_{lt}^R}^p \leq \kappa \sum_{s \in S} x_{a_{lt}^{RD}}^p, \forall l \in L, t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{p \in P} x_{a_{lt}^{SD}}^p \leq \sum_{s \in S} x_{a_{lt}^R}^p, \forall l \in L, t \in T \quad (10)$$

$$x_a^p \geq 0, \forall a \in A, p \in P \quad (11)$$

式(5)は目的関数を表しており、利用者の総効用を表す。式(6)から式(8)においては、全てのノードの起終点におけるフロー保存則を表す。式(9)はリンクの容量制約を表す。式(10)、(11)はライドシェア成立条件を表す。また、式(12)は終点別リンク容量制約の非負条件を表している。なお、嶋本²⁾ではフローを目的地ごとの変数としているが、本研究ではアクティビティリンクの効用がアクティビティごとに異なるため、フローをアクティビティペアごとの変数としている。また、移動リンクの所要時間は容量を超過しない限り一定と仮定しているため、嶋本²⁾と同様に式(5)を最大にする解は利用者均衡状態を満たすことに注意が必要である。

3. モデルの性能評価

(1) 計算対象ネットワークと需要設定

本研究では、図1に示す仮想ネットワークに適応しモデルの特性の検証を行う。自宅ノードを1として、ノード2で就業活動を、ノード3およびノード4で就業後の買い物等の活動を希望する需要を想定した。なお、それぞれの需要に対する式(2)に示す効用関数は Shimamoto³⁾と同様に設定した。また、計算に用いたパラメータの設定を表1に示す。

(2) 結果

前節で示した設定において、すべての利用者がノード1(自宅)とノード2を往復する解が得られた。ノード1→ノード2間の移動は、図2に示すように出発時間帯が異なる3種類の解が得られた。なお、図中における赤矢印は移動を、長方形は滞在を表しており、それぞれの図の下にリンク効用を示している。SDのみ、出発時刻が3時間帯に分かれているが、それぞれの出発時間帯における6:45から7:30までの総効用は等しいことがわかる。さらに、これらの総効用は、7:00に出発するRDの総効用とも等しいことがわかる。

なお、7:00に出発するRの総効用はSD/RDの総効用と異なっているが、ノード2からノード1の移動・活動効用を同様に算出し、往復の効用を合計したところ、3主体の移動・活動効用が等しいことが確認された(表2参照)。

本研究では、SD/RDは移動途中で入れ替わり可能であるが、SD/RDとRは途中で入れ替われないと仮定しているため、1日全体の移動・活動に対して均衡解が得られたといえる。さらに詳しい計算結果は発表時に示す予定である。

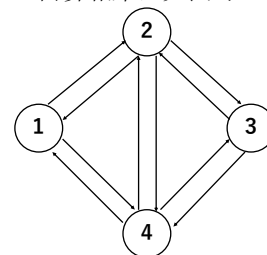


図1 計算対象ネットワーク

表1 パラメータ設定に用いた属性値

時間帯幅	時間価値	燃料代	車両燃費	平均速度
15min	2000 円/h	140 円/L	12km/L	30km/h

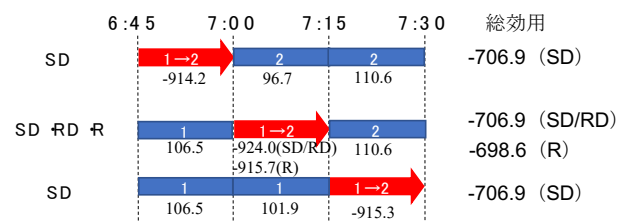


図2 ノード1→2における移動パターンと効用

表2 3主体における往復の効用の合計

	ノード1→ノード2	ノード2→ノード1	合計
SD/RD	-706. 9	-690. 3	-1397. 2
R	-698. 6	-698. 6	-1397. 2

<参考文献>

- Xu, H., Pang, J-S., Ordonez, F., and Dessouky, M.: Complementarity models for traffic equilibrium with ridesharing, Transportation Research B 81, 161-182, 2015
- 嶋本寛: ライドシェアリングを考慮した時空間ネットワーク均衡モデル・第64回土木計画学研究発表会講演集, CD-ROM, 2021
- Shimamoto, H: Optimal Matching Problem for Ride-Sharing Considering Users' Schedule Rearrangement, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 18(3), 391-399 2020