第Ⅳ部門　　　情報提供制度下での短距離ライドシェアシステムの持続可能性に関する理論分析

神戸大学大学院工学研究科　学生会員　○丸山　満帆　　神戸大学自然科学系先端融合研究環　正会員　四辻　裕文

１．はじめに

地方部では，移動手段が少なく活動が制約される場合が存在する．そのため，自家用乗用車を利用できない移動制約者の交通手段を確保することが課題の一つとなる．本稿では，地方部での移動手段の確保を目的とした無償の短距離ライドシェアに着目する．自家用乗用車の運転者がトリップの起終点の途中で他の世帯の世帯員を同乗させるような相乗りを「ライドシェア」と定義する．

一般に，長距離ライドシェアは，同乗者に燃料費等の費用の一部を肩代わりしてもらうような経済的インセンティブに基づく場合が主である．短距離ライドシェアの場合は，それとは異なるインセンティブが必要になる．先行研究におけるライドシェア導入適性に関するアンケート調査では，無償であることが同乗者の気兼ねとなっていることが判明した．すなわち，無償を前提としたライドシェアでは，システム参加人数の減少が懸念される．そこで本稿では，無償を前提として，同乗者の気兼ねを考慮した短距離ライドシェアシステムをモデル化する．そのうえで，情報提供制度を通じて，システムの持続可能性を数値シミュレーションによって検証する．

２．分析の枠組み

（1）枠組み

本稿では運転者をライドシェアの供給者s，同乗者をライドシェアの需要者dと呼ぶ．参加者がライドシェアに至る過程を「マッチング」と「ライドシェア」の 2 段階に分け，前者を前段階，後者を後段階と呼ぶ．前段階と後段階を併せて「期」と呼ぶ．参加者は前段階で相手の選好順位を申告し，当システムによってマッチング相手が決定した後，後段階でライドシェアが行われる．

（2）分析モデル

当システムを短距離トリップ需要に基づいてマッチングが行われる交通サービス市場とみなし，取引外部性を定義する．本稿ではτ 期のマッチング段階で任意の相手の価値を見積もる際に，取引外部性 $\eta_s^{\mathrm{D}},\eta_d^{\mathrm{S}}$ を見積もると仮定する．本稿では，$\eta_s^{\mathrm{D}},\eta_d^{\mathrm{S}}$ を以下で定義する．

$$\eta_s^{\mathrm{D}}=\xi^{\mathrm{D}}\cdot(N^{\mathrm{S}}-N^{\mathrm{D}})\Delta^{\mathrm{D}}-\kappa^{\mathrm{D}}\log m_{\mu(\mathrm{D})\mu(s)}$$

$$\eta_d^{\mathrm{S}}=\xi^{\mathrm{S}}\cdot(N^{\mathrm{D}}-N^{\mathrm{S}})\Delta^{\mathrm{S}}-\kappa^{\mathrm{S}}\log m_{\mu(d)\mu(\mathrm{S})}\ . \tag{1}$$

（ただし，N^{D}：当該期の需要者の参加人数，N^{S}：当該期の供給者の参加人数，Δ^{D}：1 期前のN^{D}を当該期のN^{D}で除した比率，$m_{\mu(d)\mu(s)}$：任意の相手とマッチした回数，$\xi^{\mathrm{D}},\xi^{\mathrm{S}},\kappa^{\mathrm{D}},\kappa^{\mathrm{S}}$：パラメータ）

需要者の気兼ね$h_s^{\mathrm{D}}\leqq 0$を以下のように定式化する．

$$h_s^{\mathrm{D}}=-\max\{0,\ r_s^{\mathrm{D}}-r_d^{\mathrm{S}}\}\ . \tag{2}$$

（ただし，r_s^{D}：ライドシェア成立時の需要者の効用，r_d^{S}：ライドシェア成立時の供給者の効用）

d,s の状態集合を $\mathbf{C}$，s の行動集合を $\mathbf{A}$，d の行動集合を $\mathbf{B}$ とする．d,s は，$\tau-1$ 期の後段階の状態 $c\in\mathbf{C}$ を観測して相手の価値を見積もり，その価値が最大になるような行動 $a\in\mathbf{A},b\in\mathbf{B}$ を一人ひとりの相手対して時刻 τ に選択し、効用 $v_d^{\mathrm{S}}(c,a)$、$v_s^{\mathrm{D}}(c,b)$ を得る．ここで，$\mathbf{C}$ 及び $\mathbf{A},\mathbf{B}$ を次のように定義する．

$$\mathbf{C}=\{\text{ライドシェア不成立, ライドシェア成立}\}=\{c_0,c_1\}$$
$$\mathbf{A}=\{\ \text{迂回しない，迂回する}\ \}=\{a_0,a_1\}$$
$$\mathbf{B}=\{\ \text{外出しない，外出する}\ \}=\{b_0,b_1\}\ . \tag{3}$$

τ 期のライドシェア段階の状態 $c'\in\mathbf{C}$ は，$\tau-1$ 期のライドシェア段階の状態 $c\in\mathbf{C}$ と τ 期のマッチング段階での行動 $a\in\mathbf{A},b\in\mathbf{B}$ に基づき，状態推移確率 $p_{cc'}^{a}=\mathrm{Prob.}(c'|c,a),p_{cc'}^{b}=\mathrm{Prob.}(c'|c,b)$ に従って遷移する．状態推移確率行列 $\mathbf{P}^a,\mathbf{P}^b$ を次のように定義する．

$$\mathbf{P}^a=\begin{pmatrix}p_{00}^a & p_{01}^a\\ p_{10}^a & p_{11}^a\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}p_{00}^a & 1-p_{00}^a\\ 1-p_{11}^a & p_{11}^a\end{pmatrix}$$

$$\mathbf{P}^b=\begin{pmatrix}p_{00}^b & p_{01}^b\\ p_{10}^b & p_{11}^b\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}p_{00}^b & 1-p_{00}^b\\ 1-p_{11}^b & p_{11}^b\end{pmatrix}\ . \tag{4}$$

次に，供給者の意思決定をモデル化する．任意の相手 d に付ける価値を $V_d^{\mathrm{S}}(c,a)$ として，意思決定は次のように定式化できる．

$$a^*=\arg\max_{a\in\mathbf{A}}\{\ v_d^{\mathrm{S}}(c,a_0),V_d^{\mathrm{S}}(c,a_1)\ \}\ \text{for}\ \exists c\in\mathbf{C}\ . \tag{5}$$

$V_d^{\mathrm{S}}(c,a)$ を次式で表す．

$$V_d^{\mathrm{S}}(c,a)=v_d^{\mathrm{S}}(c,a)+\delta\sum_{c'\in\mathbf{C}}p_{cc'}^{a}V_d^{\mathrm{S}}(c',a)$$

$$v_d^{\mathrm{S}}(c_0,a)=\begin{cases}0 & \text{if}\ \ a=a_0\\ \eta_d^{\mathrm{S}} & \text{if}\ \ a=a_1\end{cases}$$

$$v_d^{\mathrm{S}}(c_1,a)=\begin{cases}r_d^{\mathrm{S}} & \text{if}\ \ a=a_0\\ r_d^{\mathrm{S}}+\eta_d^{\mathrm{S}} & \text{if}\ \ a=a_1\end{cases}\ . \tag{6}$$

Mitsuho MARUYAMA and Hirofumi YOTSUTSUJI　yotsutsuji@people.kobe-u.ac.jp

（ただし，δ：当該期のライドシェア段階の期待効用に対する割引因子（$0 < \delta < 1$））

以下，需要者の意思決定をモデル化する．任意の相手 s に付ける価値を $V_s^{\mathrm{D}}(c,b)$ を次のように定式化する．

$$V_s^{\mathrm{D}}(c,b) = v_s^{\mathrm{D}}(c,b) + \delta\left((1-\alpha)\left(p_{c0}^{b}Z + p_{c1}^{b}V_s^{D}(c,b)\right) + \alpha Z\right)$$

$$v_s^{\mathrm{D}}(c_0,b) = \begin{cases} 0 & \text{if } b = b_0 \\ \eta_s^{\mathrm{D}} & \text{if } b = b_1 \end{cases}$$

$$v_s^{\mathrm{D}}(c_1,b) = \begin{cases} r_s^{\mathrm{D}} & \text{if } b = b_0 \\ r_s^{\mathrm{D}} + \eta_s^{\mathrm{D}} + h_s^{D} & \text{if } b = b_1 \end{cases} . \tag{7}$$

ここに，α：外出頻度，Z：当システムを利用できずに止むを得ず外出する際の機会費用である．需要者の意思決定は以下のように定式化できる．

$$b^* = \arg\max_{b\in\mathbf{B}}\{Z,\ V_s^{\mathrm{D}}(c,b)\}\ \text{ for } \exists c \in \mathbf{C}\ . \tag{8}$$

3．情報提供制度

運営者は，$\tau-1$ 期の後段階の状態 $c \in \mathbf{C}$ を観測したうえで，τ 期の前段階において提供ルール ε に従って運転者候補に次のようなメッセージを提供する．

$$\mathbf{G}^{\varepsilon} = \{\text{ライドシェアできない，おそらくできる}\} = \{g_0, g_1\} \tag{9}$$

次に，運営者の戦略をモデル化する．状態 $c \in \mathbf{C}$ に基づいて運営者がメッセージ $g \in \mathbf{G}^{\varepsilon}$ を提供するとき，確率分布$\pi^{\varepsilon}(g|c)$ を次のように定義する．運営者は提供ルール ε を選択するものとする．

$$\pi^{\varepsilon}(g_0|c_0) = 1-\varepsilon, \pi^{\varepsilon}(g_1|c_0) = \varepsilon, \pi^{\varepsilon}(g_0|c_1) = 0,\ \pi^{\varepsilon}(g_1|c_1) = 1$$

また，情報提供制度下における供給者の意思決定をモデル化する．運転者候補は情報に基づいて状態の生起確率のベイズ学習を行う．状態 $c \in \mathbf{C}$ に対する事前確率 $\bar{p}(c)$，事後確率 $p(c|g)$ を以下のように定義する．

$$\bar{p}(c_0) = 1-\theta, \qquad \bar{p}(c_1) = \theta$$

$$p(c_0|g_0) = 1, \qquad p(c_1|g_0) = 0$$

$$p(c_0|g_1) = \frac{\varepsilon(1-\theta)}{\varepsilon(1-\theta)+\theta},\quad p(c_1|g_1) = \frac{\theta}{\varepsilon(1-\theta)+\theta}\ . \tag{10}$$

情報提供制度のもとでは，供給者は次で定義するメッセージの価値 $u(c,a)$ を $v_d^{\mathrm{S}}(c,a)$ に加える．

$$u(c,a) = \begin{cases} \bar{u} & \text{if } c_0 = a_0, c_1 = a_1 \\ 0 & \text{if } c_0 = a_1, c_1 = a_0 \end{cases} . \tag{11}$$

（ただし，$\bar{u}$：パラメータ（$\bar{u} > 0$））

ベイズ学習する供給者の $V_d^{\mathrm{S}}(c,a)$ を次式で表す．

$$V_d^{\mathrm{S}}(c,a) = v_d^{\mathrm{S}}(c,a) + u(c,a) + \delta\sum_{c'\in\mathbf{C}} p(c'|g)V_d^{\mathrm{S}}(c',a)\ \text{ for } \exists g \in \mathbf{G}^{\varepsilon}\ . \tag{12}$$

4．シミュレーション分析の結果

パラメータを変えたモデル 1，モデル 2 を数値分析で用いる．$\lambda_0,\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3$は平均 0.55，分散 0.05 の正規分布N(0.55,0.05)に従うものとする．また，確率α_iは 0~1 の値をランダムに与えたものとする．外部性に関するパラメータ$\xi^{\mathrm{D}} = \xi^{\mathrm{S}} = 0.01$とし，以上の値はモデル 1,2 で共通とする．モデル 1 では$\kappa^{\mathrm{D}} = 0.2, \kappa^{\mathrm{S}} = 0.15$とし，モデル 2 では$\kappa^{\mathrm{D}} = 0.01, \kappa^{\mathrm{S}} = 0.01$とする．図 1 には，需要者を 5 人，供給者を 10 人，100 期を試行して，モデル 1 とモデル 2 において各々ライドシェア成立したペア数の推移を示す．また，図 2 には，情報提供制度下でのモデル 1 においてライドシェア成立したペア数の推移を示す．

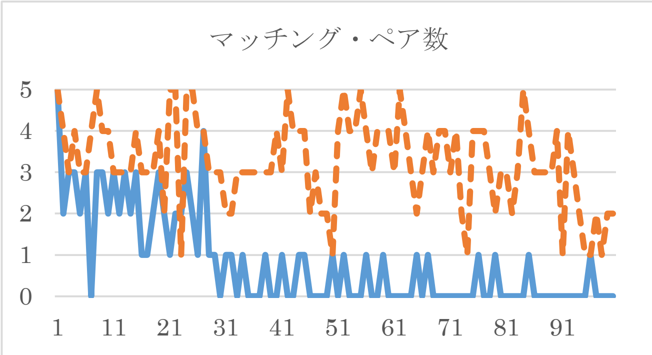

図 1. ライドシェア成立ペア数の推移（実線：モデル 1，破線：モデル 2）

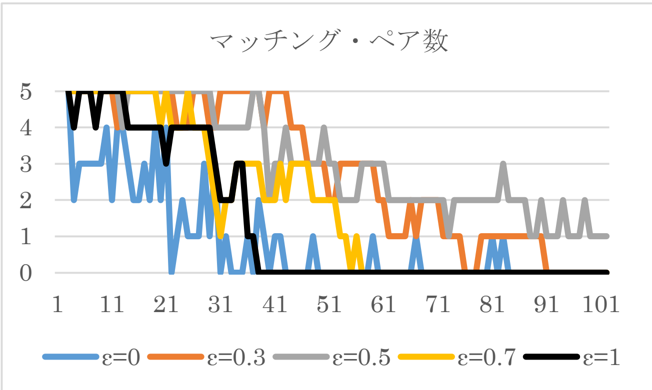

図 2. 制度下でのライドシェア成立ペア数の推移（モデル 1 のみ）

5．まとめ

数値シミュレーションにおいて，運営者が制度を導入しなければ時間が経つにつれてライドシェア成立ペア数が減少することを示したうえで，情報提供制度を導入すれば，提供ルールによってはペア数の減少スピードを抑えることが可能である点を示すことが出来た．