

# アクティビティに基づくライドシェア サービス評価モデルの構築と自動運転車普及の 影響評価

嶋本 寛<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 宮崎大学准教授 工学部社会環境システム工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1)  
shimamoto@cc.miyazaki-u.ac.jp

本研究はアクティビティベースアプローチにより送迎者・被送迎者双方の活動時刻の変更および活動の取りやめも考慮可能なライドシェアサービス評価モデルを構築するとともに、構築したモデルを用いて自動運転車両の導入がライドシェアサービスに及ぼす影響を評価するものである。仮想ネットワークにおけるケーススタディの結果、自動運転車両を導入することにより、自動車全体の総トリップ数の増加に寄与するだけでなく、活動機会の公平性にも寄与しうることを示した。ただし、自動運転車両の導入により車両の総走行時間が大きく増加するが、自動運転車両を社会で共有すれば総走行時間の増加幅を抑制しうることを示した。

**Key Words:** ride-sharing, activity pattern, STEN, integer linear programming, autonomous vehicles

## 1. はじめに

少子高齢化・人口減少社会に突入したわが国の多くの地方都市においては、地域公共交通が著しく衰退している。また、近年は高齢ドライバーの免許返納自主返納者が年々増加している。しかし、自動車を運転できない若年者や高齢者の多くは、同居家族の送迎によって外出しており、送迎者・被送迎者双方の活動は時間的に大きく制約されている。また、送迎者との都合があわない被送迎者は外出を諦めざるを得なくなり、日常の活動が制約されている可能性もある。したがって、地方都市においては、特に自動車を運転できない若年者や高齢者がモビリティを確保できる持続可能な制度設計が求められているといえよう。

一方、近年は Uber をはじめとするライドシェア（相乗り）サービスが世界的に展開されている。ライドシェアサービスは、運転手と同乗者をマッチングするものであり、車両や運転手を手配する必要がなく固定費を抑えることができるため、地方都市において持続可能な交通システムとなり得る。しかし、公共交通の衰退が著しい地方都市では、交通需要そのものが少ないため、利用者が活動場所や時刻等の調整を行わなければ、マッチングが成立しない可能性が高い。

以上を踏まえて、本研究ではアクティビティベースアプローチにより送迎者・被送迎者双方の活動時刻の変更

および活動の取りやめも考慮可能なライドシェアサービス評価モデルを構築することを目的とする。さらに、近い将来に自動運転が実用化するといわれているが、仮想ネットワークにおいてライドシェアサービスと自動運転が組み合わせられたときの影響についても評価する。

## 2. 既往研究と本研究の位置づけ

ライドシェアサービスの評価モデルは送迎者（ドライバー）と被送迎者（ライダー）の効率的なマッチングパターンを探索するものであり、様々な目的関数の数理計画問題として定式化される（Cordeau ら<sup>1)</sup>、Agatz ら<sup>2)</sup>）。Agatz ら<sup>3)</sup>は、ドライバーとライダーの動的なマッチング問題を、移動時間の総節約量を最小化する問題として定式化している。Najmi ら<sup>4)</sup>は、ドライバーとライダーの動的なマッチング問題に対して目的関数を変更することでライドシェアリングの複数の政策を評価している。Masoud ら<sup>5)</sup>はドライバーが運転する車両の経路決定問題とドライバーとライダーのマッチング問題を組み合わせた問題とした定式化を行っている。

一方で、ライドシェアサービスはドライバーとライダーの移動するタイミングが合致したときのみ成立するものであり、活動スケジュールの柔軟性がライドシェアを成立させる重要な要因の 1 つである。Stiglic ら<sup>6)</sup>は matching flexibility, detour flexibility, scheduling flexibility という

3 種類の柔軟性を定義し、分析対象システムの密度や柔軟性の種類やその程度がライドシェアサービスの効率性に及ぼす影響を分析している。愛甲ら<sup>7)</sup>も、仮想ネットワークにおいて複数の仮想的なアクティビティの集合を想定した数値計算を行い、利用者のアクティビティの時間的、空間的な分布の違いによるライドシェアサービスの効率性を評価している。森脇ら<sup>8)</sup>は中山間地域へのライドシェアサービスの展開を念頭に置き、人口、年齢構成の変化によりドライバーとライダーのマッチング率がどのように変化するか分析している。また、当該研究ではドライバーとライダーのスケジュール調整による時間的なミスマッチの緩和によるマッチング率向上効果のみならず、ドライバーがライダーをピックアップするミーティングポイントを設置することによるマッチングポイントの向上効果も評価している。

一方、近年ではカーシェアリングとライドシェアリングの概念を統合した、統合型交通シェアリングシステム (integrated sharing transport system; ISTS) が近未来の交通システムとして注目されている (Aiko ら<sup>9)</sup>)。Aiko ら<sup>9)</sup>は、カーシェアリングとライドシェアリングの特徴を同時に考慮可能な車両の経路決定問題を提案している。当該研究では、個人同士のライドシェアによる不効用として記述された利用者の選好を考慮するために、整数 2 次計画問題として定式化されている。Santos ら<sup>10)</sup>は、利用者がアプリを通して現在地、目的地、出発時刻等の移動に関する情報だけでなく、移動に対する支払い意思額も提示する状況を想定し、ライドシェアリングとタクシーシェアリングを組み合わせた動的なマッチング問題の定式化を行っている。

これまでに挙げた研究は、基本的には単一のトリップを対象としたものである。しかし、実際には利用者は 1 日のうちに複数のトリップを行っており、ライドシェアによりすべてのトリップが行えることが確約されていなければ活動そのものを取りやめる可能性がある。アクティビティベースアプローチはこのようなトリップ間の相互関係を考慮可能であり、動的均衡配分モデルへも適用されている。Lam ら<sup>11)</sup>は活動ごとに効用を規定し、活動と経路選択を統合したアクティビティベース均衡配分モデルを構築している。Li ら<sup>12)</sup>は、アクティビティベース乗客配分モデルを下位問題とした、マルチモーダルのスケジュール最適化問題を提案している。彼らの研究では、活動を行うことによる限界効用を修正釣鐘型関数 (Joh ら<sup>13)</sup>) と仮定し、時空間ネットワークのアクティビティを表すリンクに活動を行うことによる効用を負荷している。近年では、Fu ら<sup>14)</sup>も同様の効用関数を仮定し、同行者と一緒に行動することによる効用の増加効果を考慮した均衡モデルを提案している。

本研究で構築するライドシェアサービス評価モデルは

アクティビティベースアプローチに基づくものであり、利用者の活動時間の変更やトリップの取りやめも同時に考慮できるという特徴を有している。また、本研究で構築するモデルはドライバーが運転する車両の経路とライダーの動きを目的変数として定式化するが、同一の枠組みでドライバー自身が自動車を運転する現在の状況と、車両が自動運転車に置き換わった近い将来の状況を同時に評価可能であるという特徴も有している。

### 3. モデルの定式化

#### (1) 前提条件

本節では、モデル化にあたり前提条件を述べる。

まず、「ドライバー」と「ライダー」の 2 種類の主体を想定する。ドライバーは車両を保有しており、自由に移動できるものとする。ライダーは車両を保有しておらず、ドライバーの運転する自動車に同乗することにより目的地に移動するものとする。ただし、ドライバー自身を除いた車両容量以上のライダーは同乗できないものとする。

ドライバーおよびライダーは希望する活動場所および時間帯ごとの活動の効用を有しており、それらは活動前日に既知であるものとする。ただし、ドライバーおよびライダーは希望するすべての活動を行わなくてもよいものとする。移動に際しては移動時間に比例する負の効用が、希望する活動場所以外での滞在に際しては滞在時間に比例した負の効用がそれぞれ生じるとする。また、簡単のため道路混雑は生じず移動時間は一定であるとする。さらに、利用者の乗降時間も簡単のため無視する。

以上の前提条件のもと、本研究では社会的なメリットが最大となるライドシェアサービスによる影響を評価することを念頭に置き、総効用が最大となるドライバーおよびライダーの移動・活動パターンを求めるモデルを構築する。

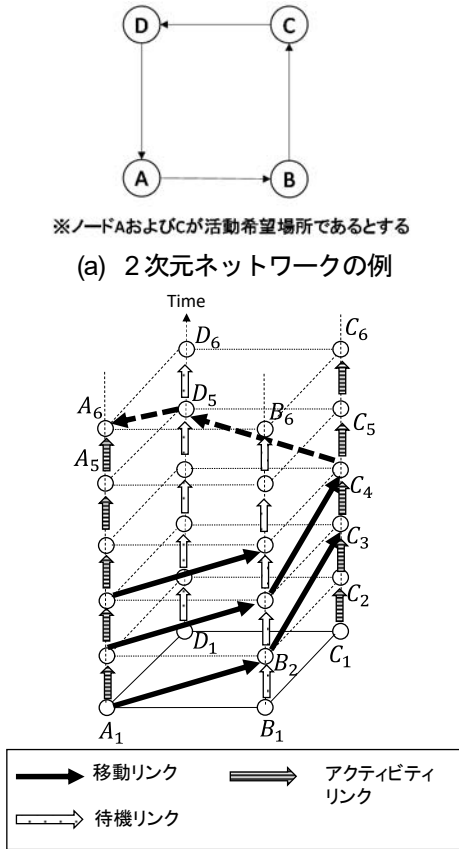
#### (2) 時空間ネットワークの構築<sup>15)</sup>

ライドシェアのサービスが成立するためには、ドライバーとライダーの移動が時空間的にマッチングされる必要がある。そこで、本研究では一般的な 2 次元ネットワークに時間軸を加えた時空間ネットワークにおいて、ドライバーおよびライダーの行動を記述する。図-1(a)に一般的な 2 次元ネットワークの例を示し、このネットワークを本研究で定義する時空間ネットワークに変換したものを図-1(b)に示す。

時空間ネットワークにおけるノードは 2 次元ネットワークに存在するノードを時間帯ごとに定義したものであり、 $(i, t)$  (ただし  $i$  は 2 次元ネットワークにおけるノード番号、 $t$  はノードの時間帯) のように表記できる。リ

リンクに関しては、効用を別々に付与するために「移動リンク」と「アクティビティリンク」、「待機リンク」の3種類のリンクを定義する。「移動リンク」は車両による移動を表すリンクであり、移動リンクの流出ノード、流入ノードをそれぞれ $(i, t_1)$ 、 $(j, t_2)$ とすると $t_2 = t_1 + c_{ij}$ が成り立つ。なお、 $c_{ij}$ は2次元ネットワークにおける $ij$ 間の移動時間であり、本研究では2次元ネットワーク上におけるノード間移動時間は時間帯幅 $\Delta t$ の整数倍であるとする。「アクティビティリンク」は各ドライバーあるいはライダーの活動希望場所 $i$ において隣接するノード $(i, t)$ および $(i, t + \Delta t)$ を結ぶリンクであり、時刻 $t$ から $t + \Delta t$ までの間に活動を行うことを表している。また、「待機リンク」は各ドライバーあるいはライダーの活動を希望しない場所 $i$ において隣接するノード $(i, t)$ および $(i, t + \Delta t)$ を結ぶリンクであり、時刻 $t$ から $t + \Delta t$ までの間に待機することを表している。したがって、図-1(b)における $A_1 \rightarrow B_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow D_5 \rightarrow A_6$ は、時刻1にノードAを出発し、ノードBを経由して時刻3にノードCに到着し、そこで時刻4まで活動した後に、ノードDを経由して時刻6にノードAに戻るという行動を表している。

なお、希望する活動場所はドライバーあるいはライダーごとに異なるため、本研究で構築する時空間ネットワークはドライバーあるいはライダーごとに定義されるこ



とになる。ただし、時空間ネットワークにおけるノードリンクの接続関係はすべてのドライバー、ライダーで共通であり、後述する各リンクに負荷する効用のみがドライバー、ライダーごとに異なる。また、本研究で構築する時空間ネットワークでは、利用者が活動希望場所で活動を行うか待機するかの区別ができない。ただし、活動に対する効用が非負であれば活動を希望するノードにおける活動の効用は待機のそれよりも大きくなるため、本研究の枠組みでは活動を希望するノードにおいて利用者は待機することはない。なお、活動に対する効用が負値をとりうる場合は、2次元ネットワークのノードとは別に活動場所を表すダミーノードを設定し、ダミーノード間を結ぶリンクを活動リンクと定義すれば、利用者の活動希望場所での活動と滞在が明示的に区別可能となる。しかし、時空間ネットワークを構成するノード数およびリンク数が増加するという問題点を有している。

(3) 記号表記

本研究で用いる記号表記は、以下の通りである。

a) 主体に関する集合

- $D$  : ドライバーの集合
- $R$  : ライダーの集合
- $P$  : ドライバーとライダーの集合 ( $D \cup R$ )

b) 時空間ネットワークに関する記号表記

- $A_1$  : 移動リンクの集合
- $A_2^p$  : 利用者 $p \in P$ のアクティビティリンクの集合
- $A_3^p$  : 利用者 $p \in P$ の待機リンクの集合
- $A$  : 全リンク集合 ( $A = A_1 \cup A_2^p \cup A_3^p, \forall p \in P$ )
- $I$  : ノードの集合
- $t(a)$  : リンク $a \in A$ の流出ノード
- $h(a)$  : リンク $a \in A$ の流入ノード
- $OUT(i)$  : ノード $i \in I$ から流出するリンクの集合
- $IN(i)$  : ノード $i \in I$ に流入するリンクの集合
- $k(a)$  : リンク $a \in A_2$ に割り当てられた活動
- $T$  : 時間帯数

c) 状態量に関する記号表記

- $\tau_i$  : ノード $i$ の時刻
- $s_p$  : 利用者 $p \in P$ の活動開始ノード
- $e_p$  : 利用者 $p \in P$ の活動終了ノード
- $u_a^p$  : 利用者 $p \in P$ のリンク $a$ の効用
- $mu_p^k(t)$  : 利用者 $p \in P$ の活動 $k$ に対する限界効用
- $q_a$  : ドライバー $d \in D$ が保有する車両の自身を除いた乗車定員
- $c_a$  : リンク $a \in A_1$ の所要時間
- $\Delta t$  : STENにおける単位時間幅
- $\theta_1$  : 移動時間の活動に対する重み
- $\theta_2$  : 待ち時間の活動に対する重み

d) 決定変数に関する記号表記

- $x_a^d$  : ドライバー $d \in D$ がリンク $a \in A$ を利用すれば1, そうでなければ0



$y_a^r$  : ライダー  $r \in R$  がリンク  $a \in A$  を利用すれば 1, そうでなければ 0

(4) リンク効用の設定

(2) で構築した STEN における各リンクに対して, 以下のように効用を与える.

a) 移動リンク

移動時間の活動に対する重みを  $\theta_1$  とすると, 移動リンクの効用は以下の式で表せる.

$$u_a^p = -\theta_1 c_a, \forall a \in A_1, \forall p \in P \quad (1)$$

b) アクティビティリンク

移動者  $p \in P$  が時刻  $t$  に活動  $k$  を行うことによる限界効用を, Li et al.<sup>12)</sup> に倣い以下のように定義する.

$$\begin{aligned} mu_p^k(t) &= U_0^k \\ &+ \frac{\gamma_p^k \beta_p^k U_{\max}^k}{\exp[\beta_p^k(t - \alpha_k^k)] \{1 + \exp[-\beta_p^k(t - \alpha_p^k)]\}^{\gamma_p^k + 1}} \end{aligned} \quad (2)$$

ここに,  $U_0^k$  は活動  $k$  の効用のベースライン,  $U_{\max}^k$  は活動  $k$  の効用の最大値,  $\alpha_k^k$ ,  $\beta_p^k$ ,  $\gamma_p^k$  は各利用者の活動ごとに規定されるパラメータである. このとき, 利用者の活動希望場所に位置するアクティビティリンクの効用は以下の式のように表せる.

$$\begin{aligned} u_a^p &= \int_{\tau_{t(a)}}^{\tau_{h(a)}} mu_p^k(t) dt \\ &= \left[ U_0^k t + \frac{U_{\max}^k}{\left[1 + \exp\{-\beta_p^k(t - \alpha_p^k)\}\right]^{\gamma_p^k}} \right]_{t=\tau_{t(a)}}^{t=\tau_{h(a)}} \end{aligned} \quad (3)$$

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

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

ノードでの待機時間の活動に対する重みを  $\theta_2$  とすると, 待機リンクの効用は以下の式で表せる.

$$u_a^p = -\theta_2 \Delta t, \forall a \in A_1^p, \forall p \in P \quad (4)$$

(5) 定式化

本研究で構築するモデルは, ドライバーとライダーの総効用を最大にする整数線形計画問題として以下のように定式化できる.

$$\text{Maximise} \quad \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} u_a^d x_a^d + \sum_{r \in R} \sum_{a \in A} u_a^r y_a^r \quad (5)$$

Subject to

$$\sum_{r \in R} y_a^r \leq \sum_{d \in D} q_d x_a^d, \forall a \in A_2 \quad (6)$$

$$\sum_{a \in OUT(s_d)} x_a^d = 1, \forall d \in D \quad (7)$$

$$\sum_{a \in IN(e_d)} x_a^d = 1, \forall d \in D \quad (8)$$

$$\sum_{a \in OUT(i)} x_a^d = \sum_{a \in IN(i)} x_a^d, \forall d \in D, \forall i \in \{I - s_d - e_d\} \quad (9)$$

$$\sum_{a \in OUT(s_r)} y_a^r = 1, \forall r \in R \quad (10)$$

$$\sum_{a \in IN(e_r)} y_a^r = 1, \forall r \in R \quad (11)$$

$$\sum_{a \in OUT(i)} y_a^r = \sum_{a \in IN(i)} y_a^r, \forall r \in R, \forall i \in \{I - s_r - e_r\} \quad (12)$$

$$x_a^d \in \{0, 1\}, \forall a \in A, \forall d \in D \quad (13)$$

$$y_a^r \in \{0, 1\}, \forall a \in A, \forall r \in R \quad (14)$$

制約条件の式(6)は, 移動リンクにおけるライダーの利用人数はドライバーが運転する車両の空き容量以下であることを示しており, ライドシェアの成立条件を表している. 式(7)および(8)はドライバーは所与の活動開始ノードから活動を開始し, 活動終了ノードで活動を終わることを表している. 式(9)はドライバーは活動開始ノード, 終了ノード以外から発生・集中が行われないことを表している. したがって, 式(7)から(9)により, ドライバーの保存則を表している. 同様に, 式(10)から(12)によりライダーの保存則を表している. 最後に, 式(13)および式(14)は決定変数  $x_a^d$  および  $y_a^r$  は 0 または 1 の値をとることを示している.

(6) 自動運転車普及シナリオの評価

ここまで述べたモデルは, ドライバー自身が運転することを想定しているが, 全利用者をライダーとすることですべてのシェアリング車両が自動運転車に置き換わったときの利用者の割り当てが評価可能である. ただし, ここでのドライバーは自動運転車を表し, 利用可能な自動運転車両数だけ設定する. また, ここでは自動運転車の移動コストは考慮せず, ドライバーのリンク効用をすべて 0 と設定する. 本稿では自動運転車普及シナリオとして, 以下の 2 種類を想定する.

【シナリオ 1 (個人保有シナリオ)】

自動運転車は, それを保有するドライバーの自宅ノードから出発し, 自宅ノードに戻る

【シナリオ 2 (社会共有シナリオ)】

地域で自動運転車をライドシェア車両として共有する. 共有する自動運転車は 1 日の最初はデポから出発し, 1 日の終わりにはデポに戻る.

シナリオ 1 は, ドライバーが自動運転車を保有し, ライドシェアとして提供するような状況を擬似的に想定したものである. ただし, 本研究で用いるモデルではライダーがどのドライバーの車両に乗車するかを決定できないため, ドライバーは必ずしも自身が保有する自動運転車を利用するとは限らない点に注意が必要である. シナリオ 2 では自動運転車のデポを表すダミーノードを新たに設けるとともに, ダミーノードから時間帯 1 におけるすべての 2 次元ネットワークにおけるノード, および時

間帯 $T$ における 2 次元ネットワークにおけるすべてのノードからダミーノードを結ぶダミーリンクを新たに設ける。また、本稿では自動運転車の移動コストを考慮しないので、新たに設定したダミーリンクの効用を 0 とする。

#### 4. ケーススタディ

本章では、本研究で提案したモデルの挙動を確認するため、仮想ネットワークに対してモデルを適用する。第 3 章で構築した整数線形計画問題は MATLAB から汎用ソルバーである Gurobi Optimizer を呼び出して求解する。

##### (1) 計算対象ネットワーク

図-2 に示す Sioux Falls ネットワークを計算対象ネットワークとして用いる。リンク長等の情報<sup>10)</sup>も公開されており、リンク旅行時間は $[d_a/2] \times \Delta t$  (分) (ただし、 $d_a$ はリンク $a$ のリンク長 (km) ,  $[x]$ は $x$ を切り上げて整数にした値) として与えた。また、 $\Delta t = 15$ とする。

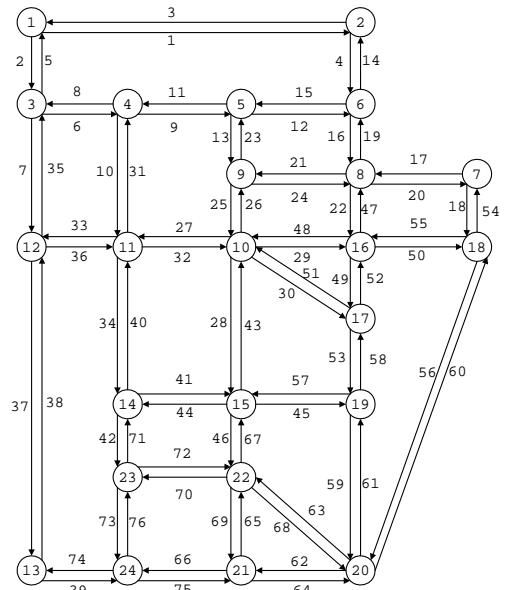


図-2 計算対象ネットワーク

表-1 ドライバーの効用関数のパラメータ

活動	$\alpha_p^k$	$\beta_p^k$	$\gamma_p^k$	$U_0^k$	$U_{max}^k$
自宅	720	1	-0.008	300	0.6
Type 1	720	1	0.01	800	0
Type 2	1260	1	0.015	200	0

##### (2) 効用関数の設定

本章では、5人のドライバーおよび10人のライダーの合計 15人が 6時まで自宅に滞在し、6時から 22時までの 16 時間の間に自宅に滞在するか、希望する活動場所に移動して活動を行い、22 時以降は自宅に滞在する希望活動パターンを想定し、ケーススタディを行う。前述したように $\Delta t = 15$ としたので、時間帯数は $16 \times (60 \div 15) = 64$ である。また、移動時間、待機時間の活動に対する重みをそれぞれ $\theta_1 = 0.01$ 、 $\theta_2 = 0.02$ と設定した。また、ドライバーが保有する車両の乗車定員はドライバーも含めて 4名とする。以下にドライバーおよびライダーの活動パターンの設定方法について述べる。

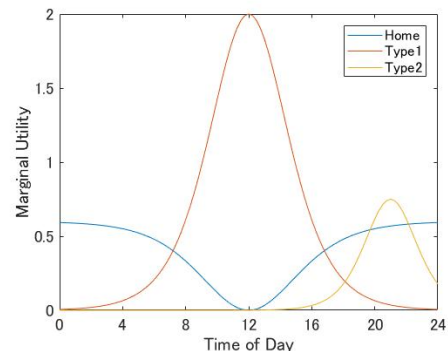
##### a) 想定するドライバーおよびライダーの活動

ドライバーは自宅外において就業 (Type 1) と就業後の買い物等 (Type 2) の 2 種類の活動を希望すると仮定し、自宅およびそれぞれの活動に対する式(2)に示す効用関数のパラメータを表-1のように設定する。なお、表-1において $\alpha_a^k$ は効用が最大となる時刻を表しており、Type 1, Type 2 の活動に関しては表-1 に示した値を平均とした正規乱数を用いて設定することで活動時刻のばらつきを表現する。図-3(a)に $\alpha_a^1 = 720$ 、 $\alpha_a^2 = 1260$ のときのそれぞれの活動の限界効用を示す。

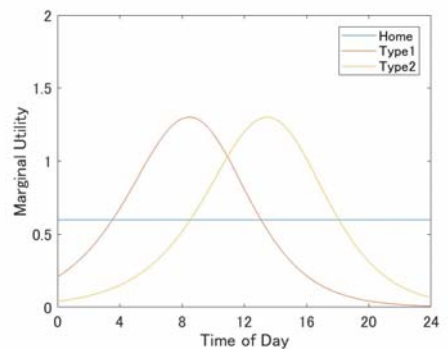
ライダーは就業していない高齢者を想定し、自宅外において通院、買い物等の 2 種類の活動 (Type 1 および Type 2) を行うものとし、自宅およびそれぞれの活動に対する式(2)に示す効用関数のパラメータを表-2のように設定する。なお、ライダーは非就業者を想定して、自宅での活動に対する効用を時間によらず一定とした。また、ドライバーの効用関数の設定と同様に自宅外の活動に対

表-2 ライダーの効用関数のパラメータ

活動	$\alpha_p^k$	$\beta_p^k$	$\gamma_p^k$	$U_0^k$	$U_{max}^k$
自宅	0	0	0	0	0.6
Type 1	540	0.8	0.007	800	0
Type 2	800	0.8	0.007	800	0



(a) ドライバーの限界効用関数



(b) ライダーの限界効用関数

図-3 ドライバーおよびライダーの限界効用関数

する $\alpha_p^k$ を正規乱数で与えることにより、活動時刻のばらつきを表現している。図-3(b)に $\alpha_p^1 = 540$ 、 $\alpha_p^2 = 840$ としたときのそれぞれの活動の限界効用を示す。

ドライバー、ライダーの自宅および活動場所の設定方法は次節で述べる。

#### b) 自宅・活動場所の設定

Sioux Falls ネットワークにおける OD 交通量も公開されており、これを用いてドライバーおよびライダーの自宅および活動場所を設定する。

まず、ドライバーおよびライダーの自宅 $h \in I$ および第 1 活動場所 $l_1 \in I$ は、乱数を発生させ OD 交通量に比例した以下の確率により設定する。

$$\Pr(h, l_1) = v_{hl_1} / \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} v_{ij} \quad (14)$$

ここに、 $\Pr(h, l_2)$ は自宅 $h$ および第 1 活動場所 $l_1$ が選択される確率、 $v_{ij}$ は OD ペア $ij$ の交通量である。

ついで、第 2 活動場所 $l_2 \in I$ は、乱数を発生させ以下の確率により設定する。

$$\Pr(l_2 | l_1) = v_{l_1 l_2} / \sum_{j \in I} v_{l_1 j} \quad (15)$$

ここに、 $\Pr(l_2 | l_1)$ は第 1 活動場所が $l_1$ のときに第 2 活動場所として $l_2 \in I$ が選択される確率である。なお、第 2 活動場所が自宅と一致したときは、一致しなくなるまで乱数を発生させた。

#### (3) アクティビティの割り当て結果の比較

本節では、前節で設定した活動パターンの一例に対して、ドライバーおよびライダーのアクティビティの割り当て結果を示す。図-4(a)、図-4(b)にそれぞれドライバーが運転するケースおよび自動運転車を社会で共有するケースにおけるアクティビティの割り当て結果の一例を示す。図中の斜体の数字は通過、滞在する 2 次元ネットワークにおけるノード番号を表している。ドライバーが運転するケース、自動運転車を社会で共有するケースともに乗車人数が 4 人以下であり、シェアリングする場合のドライバー、ライダーの時間および空間が一致しているため、制約条件を満たす結果が得られたといえる。また、今回設定した効用関数では、ドライバーが運転する手動運転ケース、自動運転車を社会で共有するケースともにすべてのドライバーは Type 2 のアクティビティを行わなかった。

ドライバーが運転する手動運転ケースでは、ライダーはドライバーが運転する車に相乗りする必要があるため、1 人では移動することができない。そのため、ドライバーはライダーを運ぶために 1 回の移動で同じ箇所を複数回通過するなど遠回りを余儀なくさせられている。また、半数のライダーは自宅外で活動できない状態である。それに対して、自動運転車を社会で共有するケースでは、ライダーが 1 人で移動できるようになるため、すべての

ライダーが自宅外で活動できている。また、ドライバーも自身で運転するケースと比べて遠回りする必要がなくなっていることがわかる。以上から、ライドシェアにおいて自動運転車が普及することは、ドライバー、ライダー双方のアクティビティにメリットがあるといえる。

#### (4) 自動運転車普及による影響評価

本節では、ドライバーが自動車を運転する手動運転のケースと、自動運転車を個人で保有するケース、社会で共有するケースにおける各種指標を比較することにより、自動運転車の普及がライドシェアサービスに及ぼす影響を定量的に評価する。図-5 に各種指標の 10 ケースの平均値および最大値、最小値を示す。なお、ドライバーが自動車を運転するケースを Manual、自動運転車を個人で保有するケースを Auto-owned、自動運転車を社会で保有するケースを Auto-shared と記している。

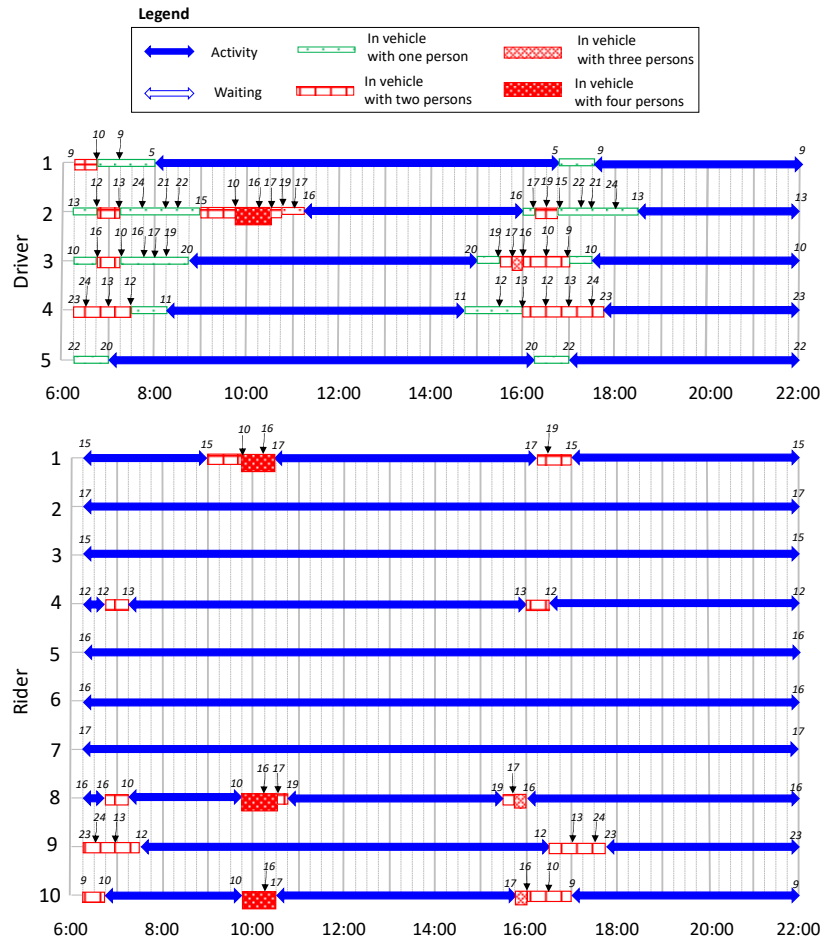
図-5(a)を見ると、個人が保有するか社会で共有するかに関わらず自動運転車を導入することにより総トリップ数の平均は大きく増加していることがわかる。また、総トリップ数の最小値と最大値の差が小さくなっていることから、自動運転車を導入することにより利用者のアクティビティパターンに関わらず総トリップ数が増加するといえる。図-5(b)を見ると、自動運転車を導入することにより利用者全体の総効用が増加すること、および自動運転車を個人で保有するケースと社会で共有するケースで総効用は大きく変化しないことがわかる。

また、所得配分の公平性の定量化にしばしば用いられる「ジニ係数」により利用者間の効用の公平性を表したものを図-5(c)に示す。ジニ係数の計算式は以下の通りである。

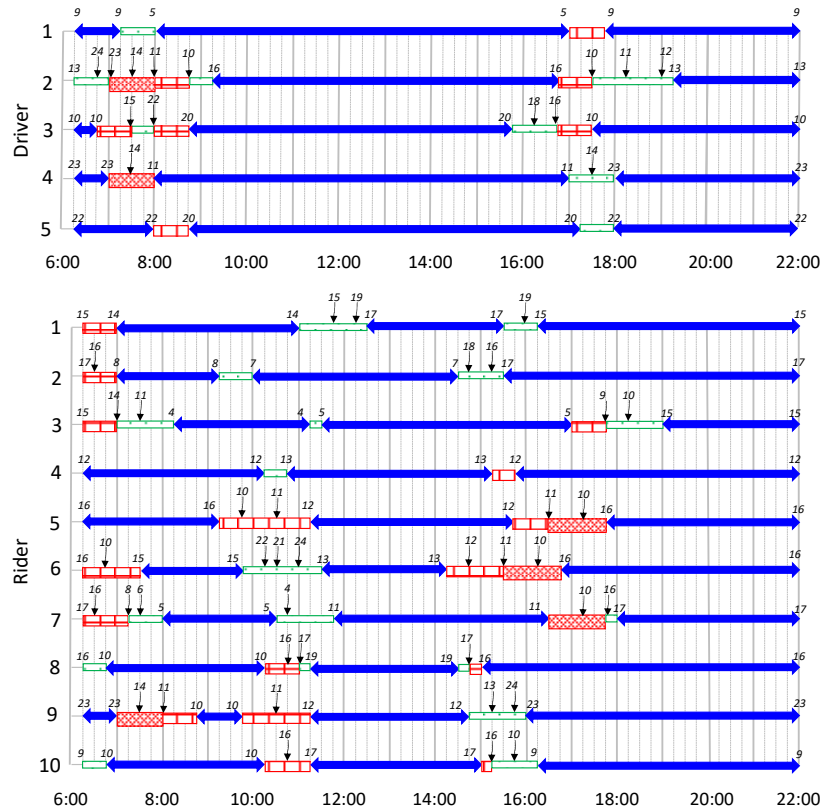
$$Gini = \frac{1}{2n^2 \bar{U}} \sum_{p_1 \in P} \sum_{p_2 \in P} |U_{p_1} - U_{p_2}| \quad (16)$$

ただし、 $n$ は利用者数、 $U_p$ は利用者 $p \in P$ の 1 日全体におけるアクティビティの効用、 $\bar{U}$ は全利用者の効用の平均である。ジニ係数は 0 から 1 の間の値をとり、0 に近いほど均等に分配されていることを意味している。図-5(c)を見ると、自動運転車を導入することによりジニ係数の平均値が低下するとともに最大値も大きく低下していることから、自動運転車両によるライドシェアサービスは利用者の活動機会の公平性の担保にも寄与するといえる。

一方、図-5(d)を見ると、自動運転車両を導入することにより、ライダーの活動機会を確保するために車両の総走行時間が大きく増加している。しかし、自動運転車両を社会で共有するケースの総走行時間の平均値は個人で保有する場合のそれよりも小さいため、自動運転車両を社会で共有することにより総走行時間の増加を抑制できる可能性があるといえる。



(a) 手動運転ケース



(b) 自動運転（社会共有シナリオ）ケース

図-4 ドライバー，ライダーのアクティビティの割り当て結果の一例



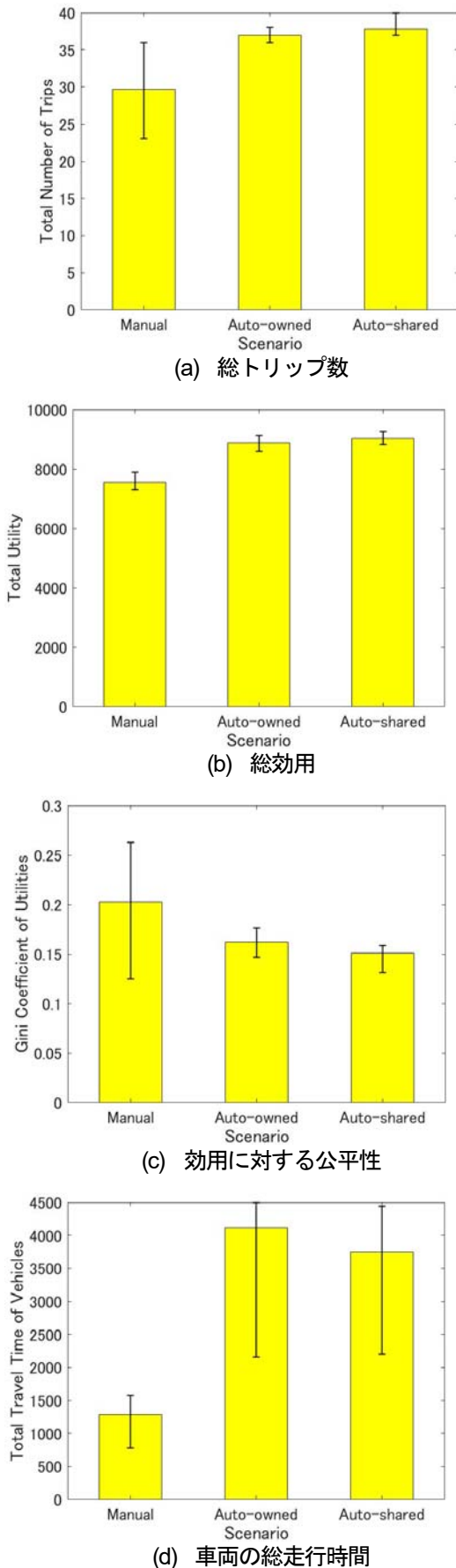


図-5 手動運転ケースと自動運転ケースの各種指標の比較

## 5. おわりに

本研究ではアクティビティベースアプローチにより送迎者・被送迎者双方の活動時刻の変更および活動の取りやめも考慮可能なライドシェアサービス評価モデルを構築するとともに、構築したモデルを用いて自動運転車両の導入がライドシェアサービスに及ぼす影響を評価した。その結果、自動運転車両を導入することにより、自動車全体の総トリップ数の増加に寄与するだけでなく、活動機会の公平性にも寄与していることを示した。ただし、自動運転車両の導入により車両の総走行時間が大きく増加するが、自動運転車両を社会で共有すれば総走行時間の増加幅を抑制していることを示した。

今後の課題として、本研究で構築したモデルではライダーの乗り換えコストを考慮しておらず、ライダーは複数のドライバーの車両を乗り継いで移動している可能性があるため、乗り換え抵抗を考慮する余地がある。また、ドライバーが自動車を運転するケースにおいてドライバーが大きく遠回りすることが確認されたため、走行費用等のパラメータの設定方法について検討する余地がある。さらに、限られたアクティビティパターンでの検討にとどまっているため、他のアクティビティパターンでの計算を行い、得られた知見の一般化を図る余地があるといえる。

## 参考文献

- 1) Cordeau, J-F., Laporte, G: The dial-a-ride problem: models and algorithms, *Annals of Operation Research*, 153(1), 29-46, 2007
- 2) Agatz, N. A. H., Erera, A., Savelsbergh, M. W. P., and Wang, X.: Optimization for dynamic ride-sharing: A review, *European Journal of Operational Research*, 223, 295-303, 2012.
- 3) Agatz, N. A. H., Erera, A., Savelsbergh, M. W. P., and Wang, X.: Dynamic ride-sharing: A simulation study in metro Atlanta, *Transportation Research B* 45, 1450-1464, 2011.
- 4) Najmi, A., Rey, D., and Rashidi, T. H.: Novel dynamic formulations for real-time ride-sharing system, *Transportation Research E* 108, 122-140, 2017.
- 5) Masoud, N., and Jayakrishnan, R.: A decomposition algorithm to solve the multi-hop Peer-to-Peer ride-matching problem, *Transportation Research B* 99, 1-29, 2017.
- 6) Stiglic, M., Agatz, N., Savelsbergh, M., and Gradisar, M.: Making dynamic ride-sharing work: The impact of driver and rider flexibility, *Transport Research E* 91, 190207, 2016.
- 7) 愛甲聡美, Phathinnan Thaitatkul, 瀬尾亨, 朝倉康夫: アクティビティパターンを与件としたシェアリング車両の最適割り当て問題, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, 73(5), I\_1233-I\_1242, 2017
- 8) 森脇宇俊, 力石真, 藤原章正: 中山間地域におけるライドシェアの成立可能性に関する数値シミュレーション, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2018
- 9) Aiko, S., Thaitatkul, P., and Asakura, Y.: Incorporating user preference



- into optimal vehicle routing problem of integrated sharing transport system, *Asian Transport Studies*, 5(1), 98-116, 2018.
- 10) Santos, D. O, and Xavier, E. C.: Taxi and ride sharing: A dynamic dial-a-ride problem with money as an incentive, *Expert Systems with Applications*, 42, 6728-6737, 2015.
  - 11) Lam, W. H. K., and Yin, Y. : An activity-based time-dependent traffic assignment model, *Transportation Research B* 35, 549-574, 2001
  - 12) Li, Z.-C., Lam, W. H. K., Wong, S. C., and Sumalee, A: An activity-based approach for scheduling multimodal transit services, *Transportation*, 37, 751-774, 2010
  - 13) Joh, C. H, Arentze, T. A, and Timmermans, H. J. P. : Modeling individuals' activity-travel rescheduling heuristics: Theory and numerical experiments, *Transportation Research Record*, 1807, 16-25, 2002
  - 14) Fu, X., and Lam, W. H. K.: Modelling joint activity-travel pattern scheduling problem in multi-modal transit networks, *Transportation*, 45, 23-49, 2018
  - 15) Bell, M. G. H and Iida, Y.: *Transportation Network Analysis*, Chapter 1, Wiley, 1997
  - 16) Transportation Networks for Research Core Team. *Transportation Networks for Research*. <https://github.com/bstabler/TransportationNetworks>. 2018年7月最終アクセス

(2018.7.31 受付)

## ACTIVITY-BASED RIDE-SHARING EVALUATION MODEL AND ITS APPLICATION OF EVALUATING THE EFFECT OF AUTONOMOUS VEHICLES

Hiroshi SHIMAMOTO

This paper develops a ride-sharing evaluation model by activity-based approach, which enables us to simultaneously consider the change of activity timing and the cancelling of activities. Furthermore, the effect of prevailing autonomous vehicles for the ride-sharing service is also evaluated. As the result of a case study in a hypothetical network, it was confirmed that the prevalence of autonomous vehicles contributes not only to increasing the total number of trips but also to the equity of activity opportunities among users. The prevalence of autonomous vehicles may cause increasing the total travel time of vehicles, but this effect could be mitigated by sharing autonomous vehicles in the society.