

ライドシェアリングサービスの市場構造に関する一考察

竹内 佑樹¹・松島 格也²

¹学生会員 京都大学修士課程 大学院工学研究科 都市社会学専攻 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)
E-mail: takeuchi.yuki.46v@st.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学准教授 大学院工学研究科 都市社会学専攻 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)
E-mail: matsushima.kakuya.7u@kyoto-u.ac.jp

ライドシェアリングサービス市場では、送迎サービスの取引を行うためには、サービスを提供する人と享受する人がマッチングする必要があり、双方の意思決定の下でマッチングが実現する。各主体の意思決定の相互作用により、取引相手の増加に伴いマッチング機会が増加すれば、より市場に参加する人数が増加するというポジティブフィードバックが働く。さらに、ライドシェアリングサービスは、サービスを提供する人と享受する人のどちらに属するかを選択が可能であるという特徴から、従来の交通機関の市場均衡とは異なる性質を持つ可能性がある。

以上の問題意識の下に、本研究では、ライドシェアリング市場への参入と取引相手の探索に関する意思決定をモデル化し、形成されるライドシェアリングサービスの市場均衡メカニズムを分析する。そして、都市規模などの外生的要因が市場均衡に及ぼす影響の分析や社会的最適解との比較を行い、政策的含意を導く。

Key Words : ride-sharing service, economies of scale, search model

1. はじめに

ライドシェアリングサービス市場では、都市内において送迎サービスを提供するドライバーと送迎サービスを求める人がマッチングされることでサービスの取引を行うことができる。そして、そのマッチングのために、近年欧米諸国を中心に普及している Uber や Lyft をはじめとするプラットフォームが活用され始めている。このようなプラットフォームの登場により、サービスを提供する者と享受する者の双方にとってこれまで潜在していたマッチング相手を探索できるようになった。さらに、料金設定システムや利用者双方の評価システムをプラットフォームの提供者が導入することにより、提供されるサービスに顕著な異質性は見られなくなった。つまり、ライドシェアリングサービス市場はライドシェアリングプラットフォーム上で同質なサービスが取引される市場であると考えることができる。

ライドシェアリングサービスを提供する者と享受する者がプラットフォームを通じてマッチングされ送迎サービスを取引する市場では、マッチング相手となる他者の行動が自らの交通行動の決定に関与することより、市場取引には外部性が存在する。プラットフォームに送迎サービスの需要や供給が増加すれば、サービス取引の相手を見つけやすくなるというマッチング機会の増加を通じて、さらに多くの潜在的なサービス供給

者と需要者が市場に参加するというポジティブフィードバックが働く。このようなフィードバック機能がライドシェアリングの市場構造を決定する。

また、ライドシェアリングサービスの大きな特徴の一つとして、車を所有していれば都市内にいる誰もがライドシェアサービスを提供できる点が挙げられる。タクシーをはじめとする従来の交通手段では、サービスの提供者は職業として行っている場合がほとんどであるため、誰もが簡単にサービスの提供側として市場に参加することは難しかった。しかしながら、ライドシェアリングサービスでは車を所有していさえすればサービス提供者として市場に参加可能であることから、人々はサービスを提供する人と享受する人のどちらに属するかを選択が可能である。つまり、サービスの提供者と享受者は共に都市内に居住している同一の集団に属する人々から発生する。この特徴により、需要と供給がともに増加するポジティブフィードバックの働く市場においても、そのフィードバックメカニズムに影響を与える可能性がある。

以上の問題意識の下に、本研究ではライドシェアリングサービスが取引される市場均衡モデルを構築し、ポジティブフィードバックメカニズムに起因する均衡解を分析するとともに、各種パラメータが市場均衡に及ぼす影響を分析する。

以下、2. では、既往研究の概要と本研究の基本的な

考え方について述べる。3.では、ライドシェアリングサービス市場構造を定式する。4.では、ライドシェアリングのマッチングに関する規模の経済性について考察し、市場均衡について分析を行う。5.では、ライドシェアリング市場に関する各種パラメータが市場に及ぼす影響に関する数値計算事例を示す。6.では、本研究のまとめを行い今後の課題を提示する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 従来の研究概要

従来のライドシェアリングは、コミュニティ内での相乗りやカープールといった形式があり、その送迎サービスは非営利的な目的で行われていることが主であった^{1),2)}。近年では、Uber や Lyft をはじめとするライドシェアプラットフォームの登場により、各ドライバーは送迎サービスを営利的な目的で行うことができるようになり、ライドシェアリングサービスが広く社会に普及した。このような背景のもと、ライドシェアリングサービスの市場構造に関する研究が蓄積されつつある³⁾。日本においては、四辻等の一連の研究で地方部低密度居住地域における交通移動支援としてのライドシェアリングサービスの導入可能性を分析している^{4),5)}。

これらの研究の中ではライドシェアリング市場のマッチングのメカニズムに焦点を絞り、その性質から形成される市場均衡について分析した研究は著者らの知る限り存在しない。本研究では、ライドシェアリングのマッチングに関する規模の経済性を明示的に示し、規模の経済性から生じる機会費用を通じた外部経済性に焦点を当てて分析する。

交通サービス市場における外部性に着目してその使用構造を分析したものとしては、松島等によるタクシー市場を対象とした一連の研究がある^{6),7),8)}。そこでは、タクシーサービス市場における取引費用の変化により、顧客とタクシーが頻繁にスポット市場を訪問することで互いに相手にとって外部的な利益を与えるという、市場厚の外部性に着目してスポット市場が成立するメカニズムを分析している。これらの研究では、顧客とタクシーのマッチングを2重待ち行列モデルを用いて表現している。また、松島等によるカーシェアリングを対象とした研究⁹⁾においても、カーシェアリングスポットの待ち時間には、スポットの利用者と配置される車の台数が共に増加した場合に待ち時間が減少するという規模の経済性に着目し、待ち時間の規模の経済性から発生する市場取引の外部性に着目した研究が行われている。

これらの交通サービスに関する研究はサービスの提供者と享受者の属性が異なると考え、双方の人数は外生

的に与えられた別々の集団であり潜在的なサービスの利用人数が決まっていることが多く、ライドシェアリングに関する研究もこの仮定がなされているものが一般的である。しかしながら、ライドシェアサービスは車を保有することで誰でも送迎サービスの提供者として市場に参加できるという特徴がある。この特徴に着目し、自家用車所有の意思決定により内生的に双方の市場への参加人数が決定するモデルによる分析を行った研究も存在する^{10),11)}。

ライドシェアリングの市場はサービスの提供者と享受者は共に同一の集団から発生するため、潜在的なサービスの利用人数が変化し得る。たとえば、ライドシェアサービスの提供者を優遇した場合に、ライドシェアサービスの享受者だった人々が車を保有しライドシェアサービスを提供し始めるといった意思決定をする可能性がある。このような行動の可能性により、先に述べたような市場の需給が増加することで潜在していた利用者が市場に参入するという交通市場の外部性に影響を与える。

以上より、本研究ではライドシェアリング市場において、送迎サービスの提供者と享受者が共に増加した場合にマッチングが効率化されるという規模の経済性と、サービスの提供者と享受者が同一の集団から発生するという特徴に着目する。これらの点より、必ずしも従来の交通サービス市場と同様に、ライドシェアリング市場に需要と供給がともに増加し市場が効率化されるとは限らない。

(2) ライドシェアの分類

ライドシェアは、送迎を専門的な職業としていないドライバーが運転する車を相乗りして、1回のトリップの間に複数の人々はその車で移動することを意味する。本研究ではライドシェアリングを限定的に、「送迎を専門的な職業としていないドライバーが自身が保有する車を用いて、一人の相乗り相手と共に移動を行うこと」と定義する。すなわち、タクシーのような送迎サービスを職業として行っているような交通サービスは対象としていない。また、ドライバーが複数人の相乗り相手を乗車させることも考慮しないこととする。

Benjaafar 等は、ライドシェアリングサービスのドライバーが市場に参加するインセンティブを二種類に分類している。一つ目は、車の運転手が自分の移動する需要を満たすために移動を開始し、その移動の中でついでに送迎することで収入を得るためにライドシェアリングを行うという形態である。二つ目は、車の運転手には移動したいという需要はなく、送迎による収入を得ることを目的にライドシェアリングを行うという形態である。前者を P2P (Peer-to-Peer) ライドシェ

アリング、後者を B2C(Business-to-Customer) ライドシェアリングと呼んでいる。本研究では、前者の P2P ライドシェアリングの形態に着目してドライバーの行動を表現する。すなわち、ライドシェアリングサービスを仕事として行う者はいないことを仮定する。

(3) 交通行動と外部性

ライドシェアリング市場では、送迎サービスの提供者と享受者がライドシェアプラットフォーム上でマッチングされることでサービスの取引が可能になる。サービスの提供者と享受者の双方はプラットフォームに参加することでライドシェアサービス利用の意思表示を行うが、必ずしも意思表示をしたと同時にサービスが利用できる保証はない。サービス取引を行うためには、市場に参加した後サービス取引の相手を探索しマッチングしなければならない。ライドシェア市場の双方の参加者には、このようなマッチングを成立させるまでの待ち時間という機会費用が生じる。サービスの提供者と享受者がマッチングされることでサービス取引を行うことができる市場では、待ち時間に代表されるような機会費用の存在により、市場には外部性が存在する。プラットフォーム上にマッチング相手を探索するサービス提供者が多く存在すれば、サービス享受者はマッチング相手を容易に見つけることが可能になる。このことは、逆の立場でも同様である。すなわち、マッチングに関して、双方の参加者が増加することで双方のマッチングが容易になるという規模の経済性が存在する。提供者と享受者が互いに需要と供給の増加を予想すれば、このような予想は実際に需給を増加させ、マッチングの規模の経済性を通じた機会費用の減少という市場の外部性により、双方の予想が現実のものとなる。このようなポジティブフィードバック機能がライドシェアリングの市場構造を決定する。4.(1)では、マッチングに関する規模の経済性について理論的な導出を行う。

3. モデルの定式化

(1) 前提条件

本研究では、ある都市内に N 人の個人が生活しており、各個人がその都市内で利用可能な交通手段を選択し移動を行うという事象を取り上げる。各個人が選択できる交通手段を σ と表す。その都市内で利用可能な交通手段の選択肢は、公共交通、自家用車、ライドシェアリングサービスの 3 種類であるとする。また、ライドシェアリングサービスを利用する際には、送迎サービスを提供する者（以下、ドライバーと呼ぶ）となるか、送迎サービスを享受する者（以下、ユーザーと呼ぶ）となるかの 2 種類の選択肢があるとする。交通手

段選択の意思決定はある期間 T ごとに行えるものとし、以下では、その中の一つの期間に着目する。各個人は、期間 T の間どの交通手段 σ を選択するかを意思決定を期間 T の最初に行い、その期間中は選択した交通手段の変更は行わないものとする。

交通手段選択にあたって、はじめに自家用車を所有するかどうかに関する意思決定を行う。次に、自家用車を所有しない場合には、「公共交通 (P)」、もしくは「ライドシェアユーザー (U)」の 2 種類の交通手段から選択を行う。自家用車を所有する場合には、「自家用車 (G)」、「ライドシェアドライバー (D)」の 2 種類の交通手段から選択を行う。以上より、選択できる交通手段の集合は、 $\sigma = \{P, U, G, D\}$ である。各個人はこの四種類の選択肢から得られる効用から、最も望ましい交通手段を選択する。

いま、各個人が移動を行う過程を考えよう。期間 T 中に複数回の移動を行う場合、各個人は移動していない状態と移動している状態を交互に繰り返す。移動していない状態から移動の必要性が発生した場合に、各個人は移動を開始するだろう。また、移動している状態にあった個人が移動を終了した際には、移動していない状態に戻る。このような過程を期間 T 中に繰り返す。このような移動していない状態と移動している状態を、それぞれ非移動状態 H 、移動状態 M と呼ぶこととする。また、個人がライドシェアリングサービスを利用する際には、非移動状態 H において移動の必要性が生じた場合に、必ずしも瞬時に移動が行えるわけではない。ライドシェアリングサービス取引の相手を探索し、マッチングする必要がある。よって、非移動状態 H から移動状態 M に移行するには、取引相手を探索する時間が必要となる。この状態を探索状態 L と呼ぶことにする。つまり、交通手段 P, G を選択した場合には H と M を交互に繰り返し、交通手段 U, D を選択した場合には H, L, M を順番に繰り返す。個人 i が期間 T 中に移動の必要性が生じる確率を移動頻度と呼び、 α_i で表す。この移動頻度 α_i は平均 α のポアソン分布に従っているとするとする。また、この過程の中で移動の必要性が生じた際に移動を行うことができるのは、非移動状態 H にいる場合のみであると考えられる。すなわち、期間 T 中に移動頻度 α_i で発生する移動需要の中で、非移動状態 H にいた場合にのみ移動を行い効用を得ることができる。探索状態 L や移動状態 M で移動の必要性が生じた場合には、得られる効用は 0 であると考えられる。以降では、簡単のために移動にかかる時間を 0 であると仮定する。すなわち、どの交通手段を選択したとしても移動状態 M は瞬時に終了し次の状態に移行するものとする。

(2) ライドシェアリング市場のモデル

いま、ライドシェアリングサービス市場について改めて定義を行おう。2.(2) で述べたように、本研究ではライドシェアリングサービスを、送迎を専門的な職業としていないドライバーが自身が保有する車を用いて、一人の相乗り相手と共に移動を行うことと定義する。また、ライドシェアリングドライバーの参入目的は、自分の移動する需要を満たすために移動を開始し、その移動の中でついでに送迎することで収入を得ることである。ドライバーとユーザーの双方のマッチングされる取引相手については、相手の出発地や目的地などのトリップチェーンなどをはじめとする異質性はなく、全ての取引可能な相手が同質であると仮定する。

ライドシェアリング市場に参加した各主体は、移動を行うために取引相手を探索している探索状態 L と、移動を必要とせず取引相手の探索を行っていない非移動状態 H を交互に繰り返す。一方のグループに属する探索状態にある各個人がサービス取引を行うことができる相手は、もう一方グループに属する探索状態 L の相手である必要がある。マッチングが成立した場合には、マッチングした各主体は探索状態 L を終了し、非移動状態 H に移行する。マッチング後の送迎など移動状態 M にかかる時間は 0 としている。マッチングが行われ探索状態 L が終了するとすぐに非移動状態 H に移行する。マッチングが起き探索状態が終了した際に、マッチングした各主体はそれぞれの効用を得ることができる。

期間 T 内の任意の時刻 t におけるライドシェアリング市場の事象について取り上げる。時刻 t においてライドシェアリング市場に参加するドライバーの数を $n_D(t)$ 、ユーザーの数は $n_U(t)$ とする。探索状態 L にあるドライバー、ユーザーの数をそれぞれ $l_D(t)$ 、 $l_U(t)$ とし、非移動状態 H にあるドライバー、ユーザーの数をそれぞれ $h_D(t)$ 、 $h_U(t)$ と表すと、次式が成り立つ。

$$n_D(t) = l_D(t) + h_D(t) \quad (1)$$

$$n_U(t) = l_U(t) + h_U(t) \quad (2)$$

いま、探索状態 L にあるユーザーとドライバーがマッチングし、探索状態を終了し非移動状態に移行する確率について考えよう。まず、探索状態 L にあるユーザーがマッチング相手を見つける確率について考える。探索状態にあるユーザーがマッチング相手となる探索状態にあるドライバーを見つける確率は、探索状態にあるドライバーの数 $l_D(t)$ に比例すると考える。すなわち、探索状態 L にあるユーザーがマッチング相手を見つける確率は比例定数 β_1 を用いて、 $\beta_1 l_D(t)$ と表せる。同様に、時刻 t において、探索状態にあるドライバーがマッチング相手となる探索状態にあるユーザーを見つける確率は、探索状態にあるユーザーの数 $l_U(t)$ に比

例すると考えることで、比例定数 β_2 を用いて、 $\beta_2 l_U(t)$ と表せる。よって、時刻 t においてマッチング相手を見つける探索状態にあるユーザーの数は、 $\beta_1 l_D l_U$ 、マッチング相手を見つける探索状態にあるドライバーの数は、 $\beta_2 l_U l_D$ と表せる。時刻 t において、マッチング相手を見つけるドライバーとユーザーの数は等しいため、 $\beta_1 l_D l_U = \beta_2 l_U l_D$ となる。よって、 $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ となる。ある時刻 t におけるマッチング数を $m(t)$ は、次式で表せる。

$$m(t) = \beta l_D(t) l_U(t) \quad (3)$$

次に、非移動状態にあるドライバーとユーザーが、探索状態に移行する確率を考えよう。時刻 t において、非移動状態にあるドライバーとユーザーが移動のために探索状態に移行する確率を、移動頻度 α と等しいとする。よって、時刻 t において、非移動状態を終了するドライバーの総数は $\alpha h_D(t)$ と表せる。同様に、非移動状態を終了するユーザーの総数は $\alpha h_U(t)$ と表せる。

これらの仮定により、時刻 t より Δt だけ時間が経過した時刻 $t + \Delta t$ において、非移動状態及び探索状態にあるドライバーとユーザーの数には以下の関係が成り立つ。

$$h_D(t + \Delta t) = h_D(t) + m(t) - \alpha h_D(t) \quad (4)$$

$$h_U(t + \Delta t) = h_U(t) + m(t) - \alpha h_U(t) \quad (5)$$

$$l_D(t + \Delta t) = l_D(t) - m(t) + \alpha h_D(t) \quad (6)$$

$$l_U(t + \Delta t) = l_U(t) - m(t) + \alpha h_U(t) \quad (7)$$

これら式 (3)~(7) の関係より、定常状態において以下の関係が成り立つ。

$$m = \beta l_D l_U = \alpha h_U = \alpha h_D \quad (8)$$

式 (1), (2), (8) より、マッチング数 m 、探索状態のドライバーとユーザーの数 l_D 、 l_U 、非移動状態のドライバーとユーザーの数 h_D 、 h_U はそれぞれライドシェアリング市場へのドライバーとユーザーの参加人数 n_D 、 n_U を用いて次のように表すことができる。ただし、 $h_D = h_U = h$ と表す。

$$m = \frac{\alpha}{2} \left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4n_D n_U} \right) \quad (9)$$

$$l_D = \frac{1}{2} \left(n_D - n_U - \frac{\alpha}{\beta} + \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4n_D n_U} \right) \quad (10)$$

$$l_U = \frac{1}{2} \left(n_U - n_D - \frac{\alpha}{\beta} + \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4n_D n_U} \right) \quad (11)$$

$$h = \frac{1}{2} \left(n_U + n_D + \frac{\alpha}{\beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4n_D n_U} \right) \quad (12)$$

(3) 個人の行動モデル

都市に存在する各個人は、自家用車を保有するかしないかに関する意思決定と、「公共交通 (P)」、「ライドシェアユーザー (U)」、「自家用車 (G)」、「ライドシェアドライバー (D)」の4種類の交通手段について、どの交通手段を選択するかを意思決定を行う。意思決定は、期間 T の最初に行われ、以降の期間 T 中には再度意思決定を行うことはできないとする。意思決定を行う際には、はじめに自家用車を保有するかどうかの選択を行う。これを、意思決定 I とよぶ。次に、自家用車を保有する場合には、「ライドシェアドライバー (D)」としてライドシェアリングの市場に参加し、自身の移動の際に他者との相乗りを行うか、「自家用車 (G)」として、相乗りせず自身のみで保有する自家用車を利用し移動を行うかの意思決定を行う。また、自家用車を保有しない場合には、「ライドシェアユーザー (U)」としてライドシェアリングの市場に参加し、自身の移動の際に相乗りをするか、「公共交通 (P)」を利用し移動を行うかの意思決定を行う。このような、ライドシェアリングサービスを利用するか (U, D) 従来より存在する交通手段を利用するか (P, G) の意思決定を、意思決定 II とよぶ。このような二段階の意思決定において、各個人はそれぞれの交通手段から得られる効用を比較し、最も望ましいものを選択する。意思決定 I において、車を保有する意思決定を行う人数を n_1 、車を保有する意思決定を行う人数を n_2 とする。また、交通手段 σ を選択する人数を n_σ とすると、これらの人数の関係は次式で示される。

$$N = n_1 + n_2 \quad (13)$$

$$n_1 = n_U + n_P \quad (14)$$

$$n_2 = n_D + n_G \quad (15)$$

いま、個人 i が各交通手段 σ を選択し、一回の移動を行った場合に得られる効用 $U_{\sigma,i}$ を定義しよう。 $U_{\sigma,i}$ は、交通手段 σ を選択した個人が全員等しく得ることのできる効用 u_σ と、個人 i の選好を表すパラメータ $\varepsilon_{\sigma,i}$ の和で表されると考える。はじめに、交通手段 σ を選択した全ての個人が一回の移動を行った場合に等しく得ることのできる効用 u_σ について考えよう。なお、以降では個人 i の移動頻度 α_i について、簡単のために全ての個人が平均値 α をとることとする。まず、自家用車 G を選択した場合に得られる効用 u_G を次式で定義する。

$$u_G = v - \frac{k}{\alpha} \quad (16)$$

式 (16) の右辺第一項 v は一回の移動をした場合に得られる効用を表しており、どの交通手段を選択しても等しく得られる。右辺第二項は一回の移動あたりの車の所有コストを表している。ここで、 k は車を保有する選

択をした場合に期間 T 中にかかる固定費用を表しており、 α は期間 T 中の移動頻度を表している。なお、単純化のために、期間 T 中に車を所有する際にかかる費用は k で一定であり、移動に伴うガソリン代などの可変的な費用は考慮しないものとする。

次に、公共交通 P を選択した場合に得られる効用 u_P を次式で定義する。

$$u_P = v - c_P \quad (17)$$

式 (17) の右辺第二項は公共交通を使用する際に一回当たりの移動にかかる費用を表している。

次に、ライドシェアユーザー U を選択した場合に得られる効用 u_U を定義する。ライドシェアリングサービスを用いて移動を行う場合には、マッチング相手を探索する必要があり、ライドシェアユーザーの状態は、移動を行っていない非移動状態 H とマッチング相手を探索している探索状態 L に分けられる。ここで、移動する需要は非移動状態の場合のみ発生し、探索状態の場合には発生しないと仮定する。3.(2) で示したように、ユーザーが非移動状態から探索状態に移行する確率は α 、探索状態から非移動状態に移動する確率は βl_D で表される。よって、定常状態においてユーザーが非移動状態にいる時間の期待値は $\frac{1}{\alpha}$ 、探索状態にいる時間の期待値は $\frac{\beta l_D}{\alpha + \beta l_D}$ で表される。よって期間 T 中に非移動状態にいる割合は、 $\frac{\beta l_D}{\alpha + \beta l_D}$ で表される。非移動状態にいる場合にのみ移動頻度 α で移動需要が発生し効用と費用が発生すると考えると、一回の移動あたりに得られる効用 u_U は次式で示される。

$$u_U = \frac{\beta l_D}{\alpha + \beta l_D} \left(v - p - \frac{\gamma}{\beta l_D} \right) \quad (18)$$

式 (18) の p はライドシェアリングサービスで移動する場合にかかる利用料金を表している。 $\frac{\gamma}{\beta l_D}$ はマッチング相手の探索により発生する機会費用を示している。ここで、 γ は時間価値を示すパラメータである。

最後に、ライドシェアユーザー D を選択した場合に得られる効用 u_D を定義する。ライドシェアユーザーを選択した場合と同様に、移動する需要は非移動状態の場合のみ発生し、探索状態の場合には発生しないと仮定する。ユーザーが非移動状態から探索状態に移行する確率は α 、探索状態から非移動状態に移動する確率は βl_U で表されることより、期間 T 中に非移動状態にいる割合は、 $\frac{\beta l_U}{\alpha + \beta l_U}$ で表される。非移動状態にいる場合にのみ移動頻度 α で移動需要が発生し効用と費用が発生すると考えると、一回の移動あたりに得られる効用 u_D は次式で示される。

$$u_D = \frac{\beta l_U}{\alpha + \beta l_U} \left(v + p - \frac{\gamma}{\beta l_U} \right) - \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta l_U} \right) k \quad (19)$$

式 (19) の p ライドシェアリングサービスでマッチング相手を送迎した場合に得られる収入を表している。こ

ここでは、マッチングしたユーザーが払った利用料金をすべて送迎したドライバーが受け取ることができると仮定する。 $\frac{\gamma}{\beta l_U}$ はマッチング相手の探索により発生する機会費用を示している。また、右辺第二項は一回の移動あたりの車の所有コストを表している。

以上の議論により、それぞれの選択肢から得られる個人 i の効用 U_σ について定義を行った。 u_P 及び u_G は市場環境パラメータによって外生的に与えられるが、 u_U 及び u_G については探索状態 L にあるユーザーとドライバーの人数 l_U, l_D によって内生的に決定する。

ここで、 $\varepsilon_{\sigma,i}$ が平均 0 の一般化極値分布に従うと仮定し、伝統的な Nested logit モデルを用いることで各交通手段の利用人数を定義する。意思決定 II において、公共交通 P とライドシェアユーザー U の選択を行うものをネスト 1、ライドシェアドライバー D と自家用車 G の選択を行うものをネスト 2 と呼ぶ。ネスト 1, 2 の中で、それぞれの最大の効用を与える選択肢である期待最大効用を S_1, S_2 とすると、これらは次式で示される。

$$S_1 = \frac{1}{\mu_1} \ln(\exp[\mu_1 u_P] + \exp[\mu_1 u_U]) \quad (20)$$

$$S_2 = \frac{1}{\mu_2} \ln(\exp[\mu_2 u_D] + \exp[\mu_2 u_G]) \quad (21)$$

μ_1, μ_2 はそれぞれネスト 1, 2 の分散パラメータである。これらを用いると、車を保有する意思決定を行う人数を n_1 、車を保有する意思決定を行う人数を n_2 は次式で表せる。

$$n_1 = N \frac{\exp[\mu S_1]}{\exp[\mu S_1] + \exp[\mu S_2]} \quad (22)$$

$$n_2 = N \frac{\exp[\mu S_2]}{\exp[\mu S_1] + \exp[\mu S_2]} \quad (23)$$

μ は意思決定 I の分散パラメータである。また、各交通手段 σ を選択する人数 n_σ は次式で表せる。

$$n_P = n_1 \frac{\exp[\mu_1 u_P]}{\exp[\mu_1 u_P] + \exp[\mu_1 u_U]} \quad (24)$$

$$n_U = n_1 \frac{\exp[\mu_1 u_U]}{\exp[\mu_1 u_P] + \exp[\mu_1 u_U]} \quad (25)$$

$$n_D = n_2 \frac{\exp[\mu_2 u_D]}{\exp[\mu_2 u_D] + \exp[\mu_2 u_G]} \quad (26)$$

$$n_G = n_2 \frac{\exp[\mu_2 u_G]}{\exp[\mu_2 u_D] + \exp[\mu_2 u_G]} \quad (27)$$

ライドシェアリングの市場均衡は式 (8) 及び式 (18) ~ (27) で決定される。

4. 市場均衡の分析

(1) マッチング数と規模の経済性

3.(2) において、定常状態におけるマッチング数 m と探索状態にあるユーザーとドライバーの人数 l_U, l_D をライドシェア市場へのユーザーとドライバーの参加

人数 n_U, n_D で表した。 m と l_U, l_D の関係は、式 (8) に示したように、 $m = \beta l_U l_D$ である。よって、 l_U, l_D が共に θ 倍に増加した場合 ($\theta \geq 1$) にはマッチング数は θ^2 倍になるため、マッチング数は探索状態の各主体の人数に関して規模の経済性が存在する。すなわち、探索状態にある双方の人数が増加した場合には、探索を終了する人数も増加することがわかる。このことから、ライドシェア市場へのユーザーとドライバーの参加人数 n_U, n_D が増加することで、 l_U, l_D が増加する効果とマッチングを通じて l_U, l_D が減少する効果が存在し、これらの効果のバランスによって決定される。このような n_U, n_D と l_U, l_D 及び m の関係について分析を行う。

n_U と n_D は **3.** において定義した市場均衡によって内生的に決定される値ではあるが、本節ではマッチングに関する規模の経済性を示すために n_U と n_D を外生的に与えられているものとして考えよう。いま、ライドシェア市場へのユーザーとドライバーの参加人数 n_U, n_D が共に変化した場合のマッチング数について考えよう。 n_U, n_D が共に θ 倍になった場合 ($\theta \geq 1$) に、マッチング数 m は、

$$m(\theta n_U, \theta n_D) = \frac{\alpha \theta}{2} \cdot \left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta \beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta \beta} \right)^2 - 4 n_D n_U} \right) \quad (28)$$

と表せる。一方で、マッチング数 m を θ 倍すると、

$$\theta m(n_U, n_D) = \frac{\alpha \theta}{2} \cdot \left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4 n_D n_U} \right) \quad (29)$$

式 (28), (29) の大きさを比較する。式 (28) の括弧の中を

$$y = n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta \beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta \beta} \right)^2 - 4 n_D n_U} \quad (30)$$

と置くと、 $\theta = 1$ で式 (29) の括弧の中と同式になる。 $x = n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta \beta}$ とすると、 $y = x - \sqrt{x^2 - 4 n_U n_D}$ となる。ここで、

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\sqrt{x^2 - 4 n_U n_D} - x}{\sqrt{x^2 - 4 n_U n_D}} < 0 \quad (31)$$

$$\frac{dx}{d\theta} = -\frac{1}{\theta^2} \frac{\alpha}{\beta} < 0 \quad (32)$$

となるため、以下の関係が成立する。

$$\frac{dy}{d\theta} = \frac{dy}{dx} \frac{dx}{d\theta} > 0 \quad (33)$$

これらの結果より、 $\theta > 1$ において、

$$m(n_U, n_D) < \theta m(n_U, n_D) < m(\theta n_U, \theta n_D) \quad (34)$$

が成り立つ。

次に、 n_U, n_D が共に変化した場合の探索状態にあるドライバーの数 l_D について考えよう。 n_U, n_D が共に θ 倍になった場合、式 (34) より l_D には以下の関係

が成り立つ。

$$\begin{aligned}
 l_D(\theta n_U, \theta n_D) &= \theta n_D - \frac{1}{\alpha} m(\theta n_U, \theta n_D) \\
 &< \theta n_D - \frac{1}{\alpha} \theta m(n_U, n_D) \\
 &= \theta l_D(n_U, n_D) \quad (35)
 \end{aligned}$$

また、 $l_D(\theta n_U, \theta n_D)$ と $l_D(n_U, n_D)$ の大きさを比較する。式 (10) より、 $l_D(\theta n_U, \theta n_D)$ は、

$$\begin{aligned}
 l_D(\theta n_U, \theta n_D) &= \\
 \theta n_D - \theta n_U - \frac{\alpha}{\beta} + \theta \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta}\right)^2 - 4n_D n_U} \quad (36)
 \end{aligned}$$

で表される。ここで、

$$\sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta}\right)^2 - 4n_D n_U} > \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta}\right)^2 - 4n_D n_U} \quad (37)$$

$$\begin{aligned}
 &\sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta}\right)^2 - 4n_D n_U} = \\
 &\sqrt{\left(n_D - n_U\right)^2 + 2\left(n_D + n_U\right)\frac{\alpha}{\beta} + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2} \quad (38)
 \end{aligned}$$

が成り立つことを踏まえて、 $l_D(\theta n_U, \theta n_D)$ と $l_D(n_U, n_D)$ の差をとると、

$$\begin{aligned}
 l_D(\theta n_U, \theta n_D) - l_D(n_U, n_D) &> (\theta - 1) \cdot \\
 \left(n_D - n_U + \sqrt{\left(n_D - n_U\right)^2 + 2\left(n_D + n_U\right)\frac{\alpha}{\beta} + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2}\right) \quad (39)
 \end{aligned}$$

式 (39) の右辺について、 $n_D - n_U$ の正負によらず、 $n_D - n_U < \sqrt{\left(n_D - n_U\right)^2 + 2\left(n_D + n_U\right)\frac{\alpha}{\beta} + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2}$ が成り立つため、 $l_D(\theta n_U, \theta n_D) - l_D(n_U, n_D) > 0$ が成り立つ。以上の議論は、探索状態にあるユーザーの数 l_U においても同様に成り立つ。よって、 $\theta > 1$ において、

$$l_D(n_U, n_D) < l_D(\theta n_U, \theta n_D) < \theta l_D(n_U, n_D) \quad (40)$$

$$l_U(n_U, n_D) < l_U(\theta n_U, \theta n_D) < \theta l_U(n_U, n_D) \quad (41)$$

が成り立つ。

以上の結果より、ライドシェアリング市場に参加するドライバーとユーザーの数がともに増加した場合には、マッチング相手を容易に見つけることが可能となり、マッチング数は増加し各主体の機会費用が減少する。このような市場には、機会費用の減少を通じてさらに多くの参加者が集まる。よって、市場には参加するドライバーとユーザーの数が増加すればするほどマッチング数が増加し機会費用が減少するという規模の経済性が存在する。なお、本節では n_D と n_U を外生的に決定された値として扱ったが、これらは市場均衡において内生的に決定される変数である。そのため、都市の人数 N をはじめとする市場環境の違いにより様々な状態に変化する。次節以降では、 n_D と n_U が内生的に決定される場合においても市場に規模の経済性が現れることを確認すると共に、市場環境によるライドシェアリング市場への参加者への影響を数値解析事例をもとに分析する。

(2) 均衡解

数値計算を行うにあたって、各パラメータを $N = 10000$, $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.0005$, $v = 20$, $\gamma = 0.5$, $p = 10$, $k = 1.5$, $c_P = 15$, $\mu = \mu_1 = \mu_2 = 0.1$ とする。(以下、Case1 と呼ぶ。)

市場均衡は式 (8) 及び式 (18)~(27) で決定される。表-1 に、Case1 での均衡解を示す。次節では、これらの均衡解が市場環境パラメータである都市の人数 N 、移動頻度 α 、マッチング技術 β によってどのように変化するかを調べる。その中で、マッチングに関する規模の経済性と、ドライバーとユーザーが同一の集団から発生する性質が市場均衡にどのように影響を与えているかを調べる。

表-1 Case1 の均衡解

—	—	n_P	2310.716
h_U	2049.028	l_U	629.206
h_D	2049.028	l_D	651.306
—	—	n_D	2700.335
—	—	n_G	2310.715
m	204.902	N	10000

5. 市場環境と市場構造の関係

(1) 都市の人数と市場構造

本章では、市場環境を表す各種パラメータが市場均衡に及ぼす影響について分析する。はじめに、都市に住む人数 N が市場に及ぼす影響について分析を行う。Case1 での設定から N が変化した場合について考える。(以下、Case2 と呼ぶ。)

はじめに、ライドシェアリング市場へのドライバーとユーザーの参加人数 n_D , n_U が内生的に決まる場合においてもマッチングに関する規模の経済性の効果が市場に現れることを確認する。図-1 に、都市の人数 N が変化した場合に、均衡状態において都市の人数に対して任意の時刻でマッチングしている数 $\frac{m}{N}$ がどのように変化するかを示す。

N に対して $\frac{m}{N}$ が増加関数であることから、都市の人数が増加するほどライドシェアリング市場への参加人数が増加し、規模の経済性によりマッチング数が増加することがわかる。このことから、 n_D , n_U が内生的に決まる場合においても市場にマッチングに関する規模の経済性による効果が表れていることがわかる。

図-2 には都市の人数 N に対するそれぞれの均衡における任意の時刻でのマッチング数 m 、探索者数 l_U , l_D との関係を示している。また、図-3 では、 N に対して各交通手段を選択する人数の割合がどのように変化するかを示している。

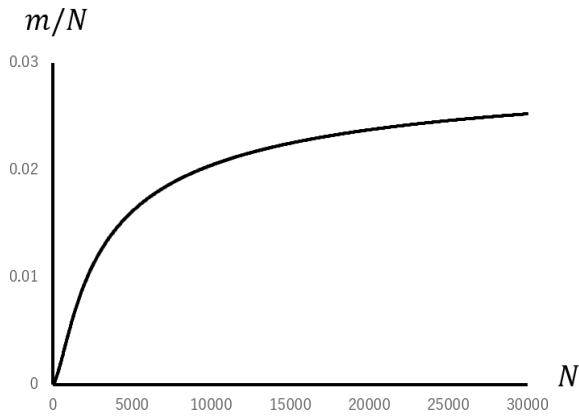


図-1 都市の人数とマッチング割合の関係

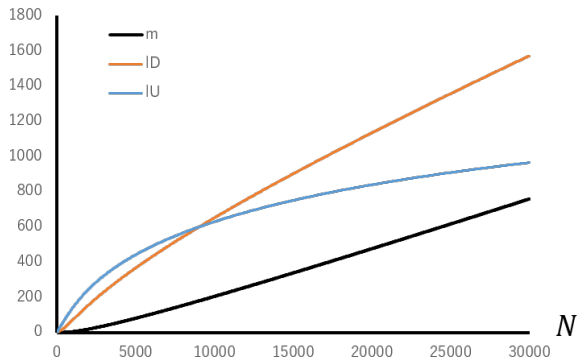


図-2 都市の人数とマッチング数, 探索人数との関係

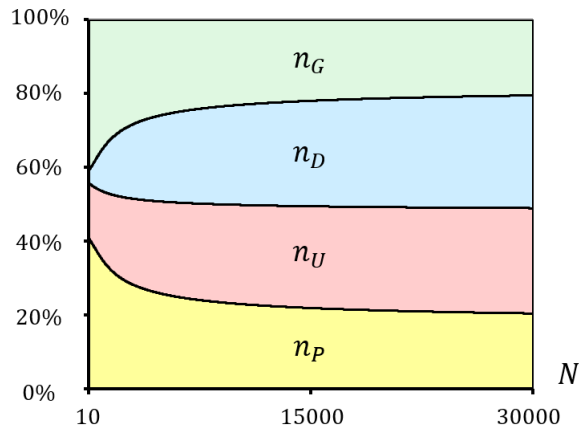


図-3 都市の人数と各交通手段の選択人数の割合の関係

都市の人数が増加することで、マッチングの規模の経済性による機会費用の減少に起因して、ライドシェアリングの利用者が増加する。また、4.(1)で示したように、 n_U と n_D が内生的に決定される場合においてもライドシェアリングを利用する双方の探索者数 l_U と l_D は増加する一方、その傾きは小さくなることが読み取れる。

(2) 移動頻度と市場構造

図-4 には移動頻度 α に対するそれぞれの均衡にお

ける任意の時刻でのマッチング数 m 、探索者数 l_U 、 l_D との関係を示している。また、図-5 には、 α に対して各交通手段を選択する人数の割合がどのように変化するかを示している。

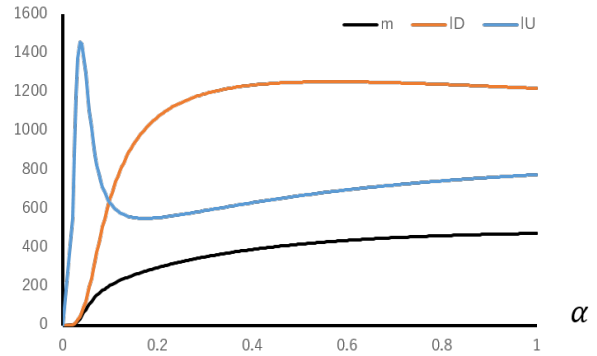


図-4 移動頻度とマッチング数, 探索人数との関係

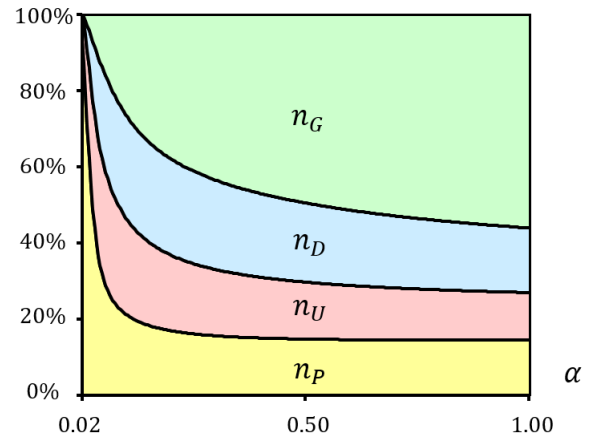


図-5 移動頻度と各交通手段の選択人数の割合の関係

図-4 に示すように、移動頻度が大きくなることでライドシェアリングの市場の参加者がより相手を探索するようになることで、マッチング数 m は増加する。一方で、移動頻度と双方の探索者数の関係は複雑である。図-5 に示すように、移動頻度が小さい場合には、車を所有する固定費用の存在により車を所有しない人が多く、移動頻度が大きくなるにつれて車を所有する人が多くなる。この効果は、ライドシェアリング市場に参加するドライバーとユーザーの人数に影響を与える。移動頻度が小さい場合には車を所有する人が少ないため、ライドシェアリングのドライバーが市場に少なく、ユーザーはマッチング相手の探索に多くの時間を費やす必要がある。移動頻度が増加するにつれて、車を所有する人の増加に伴いドライバーが増加することで、ユーザーのマッチング相手の探索時間は減少する。その結果、ライドシェアリングの規模の経済性によりドライバーとユーザーの参加者数はともに増加する。一方で、さらに移動頻度が増加することで車を所有する人が減少し、ライドシェアリングのユーザーの人数は減少す

る。また、それに伴いライドシェアリングのドライバーも減少する。

この結果より、移動回数が増加しライドシェアリングの市場に規模の経済性が働く市場においても、双方の参加者が都市内の同一の集団に属する人々から発生することでその人数を奪い合う効果が卓越し、市場への参加者数が減少する場合があることがわかる。

(3) マッチング技術と市場構造

図-6 にはマッチング技術 β に対するそれぞれの均衡における任意の時刻でのマッチング数 m 、探索者数 l_U 、 l_D との関係を示している。また、図-7 では、 β に対して各交通手段を選択する人数の割合がどのように変化するかを示している。

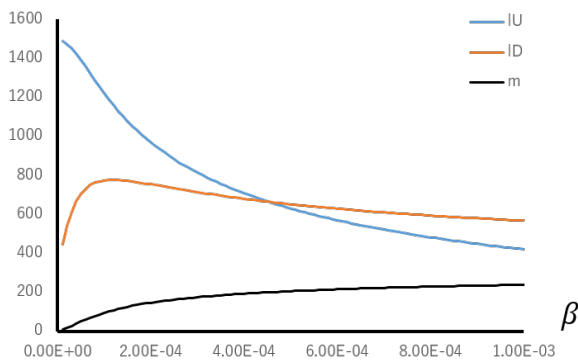


図-6 マッチング技術とマッチング数、探索人数との関係

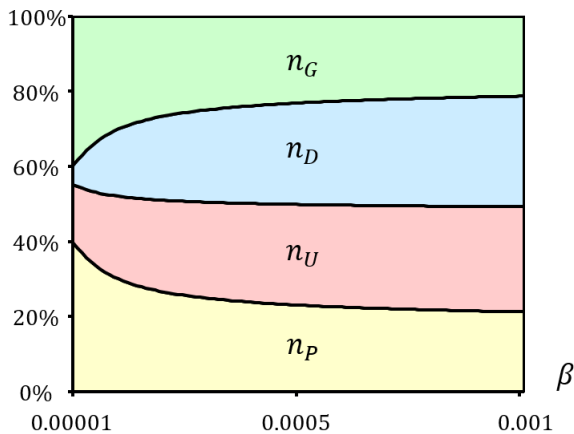


図-7 マッチング技術と各交通手段の選択人数の割合の関係

図-7 に示すように、マッチング技術が高まるにつれて、ライドシェアリング市場への参加者数は増加する。それに伴い、図-6 に示すように、マッチング数は増加することがわかる。マッチング技術が小さい状態から高まるとドライバーの市場への参加者数の増加率が高いことからドライバーの探索者数が増加するが、ある点よりもマッチング技術が高まるとそれ以降では双方の探索者数はともに減少する。

6. おわりに

本研究では、同質なサービスが取引されるライドシェアリング市場において、多数の利用者が集まれば集まるほどマッチングが効率化し、マッチングするまでにかかる機会費用が減少するという規模の経済性が存在することを示した。一方で、ドライバーとユーザーが同一の集団から発生するという性質により、規模の経済性が存在する市場において移動頻度が増加しより多くの移動をするようになってもライドシェアリング市場への参加者数が増加しない場合が存在することを示した。

本研究は今後様々な発展が可能である。第一に、ライドシェアリング利用者数の初期状態の違いにより市場には複数の均衡解が存在する可能性がある。ライドシェアリング利用者は初期において相手の利用者が減少した場合には自身の機会費用が大きく増加するため、ライドシェアリング市場から撤退する場合がある。このような効果が市場に現れれば、ライドシェアリング利用者は0になるという均衡解が存在する可能性がある。

第二に、収入を得ることを目的にライドシェアリング市場に参入する人々の行動をモデル化する必要がある。本研究では、自身の移動需要が発生した場合のみライドシェアリングサービスを利用するという仮定を置いているが、移動需要が発生していなくても仕事としてライドシェアリング市場に参入し送迎サービスを行う人々も存在する。このような人々を考慮した場合には、自家用車を所有する人々が増加する可能性がある。

最後に、ライドシェアリングプラットフォームの運営者の行動をモデル化する必要がある。本研究では、運営者の行動をモデル化しておらず、ユーザーが支払う料金はすべてドライバーが受け取ると仮定している。しかしながら、これらの料金設定は運営者が設定している場合が多くみられる。運営者が利潤最大化のためにこれらの設定を行うことで、市場に厚生損失が生じる可能性がある。

参考文献

- 1) Furuhata, M., Dessouky, M., Ordóñez, F., Brunet, M., Wang, X. and Koenig, S. : Ridesharing: The state-of-the-art and future directions, *Transportation Research Part B*, Vol.57, pp.28-46, 2013.
- 2) 小林潔司, 喜多秀行, 多々納裕一, 送迎・相乗りのためのランダム・マッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No.536/IV-31, pp. 49-58, 1996.
- 3) Liteng, Zha., Yafeng, Yin., Hai, Yang. : Economic analysis of ride-sourcing markets, *Transportation Research Part C*, Vol.71, pp.249-266, 2016.
- 4) 四辻 裕文, 丸山 満帆: 一対一両側マッチングに基づく短距離ライドシェアに関するシステム分析～情報誘導に

- よるシステム持続可能性に着目して～, 交通工学論文集, 第2巻, 第2号(特集号A), pp. 134-143, 2016.
- 5) 佐々木邦明, 二五啓司, 山本理浩, 四辻裕文: 低密度居住地域における交通制約者の移動手段としてのライドシェアの可能性, 社会技術研究論文集, Vol.10, pp. 54-64, 2013.
 - 6) 松島格也, 小林潔司: タクシー・サービスのスポット市場均衡に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.591-600, 1999.
 - 7) 松島格也, 小林潔司, 坂口潤一: タクシー・スポット市場の空間均衡と社会的便益, 土木計画学研究・論文集, No. 18(4), pp. 681-690, 2001.
 - 8) 松島格也, 小林潔司, 坂口潤一: タクシースポット市場の差別化と社会的厚生, 土木学会論文集, No.723/IV-58, pp. 41-53, 2003.
 - 9) 松島格也, 竹内佑樹, 瀬木俊輔, 小林潔司: 取引費用を考慮したカーシェアリングの市場構造に関する理論的研究, 土木計画学研究・論文集, No.75, pp.415-423, 2020.
 - 10) Saif, Benjaafar., Harald, Bernhard., Costas. Courcoubetis. : Drivers, Riders and Service Providers: The Impact of the Sharing Economy on Mobility,
 - 11) Daniel, Hörcher., Daniel, J. Graham. : MaaS economics: Should we fight car ownership with subscriptions to alternative modes?, *Economics of Transportation*, Vol. 22, 2020.

(Received October 2, 2020)

THEORETICAL ANALYSIS ABOUT MARKET STRUCTURE OF RIDE SHARING SERVICE

Yuki TAKEUCHI, and Kakuya MATSUSHIMA

In the ride-sharing market, it is necessary to match transportation service providers and users in order to transact services. In such a service market, positive feedback mechanism functions thanks to scale economy of matching. In addition, it has a different aspect from the conventional transportation market equilibrium because it is possible to select whether to provide or demand the service. In this paper, an equilibrium model to show the characteristics of ride-sharing market is presented to investigate agglomeration mechanisms and market equilibria. In addition, effects of change in market circumstances on the equilibrium is investigated.