

京都大学大学院工学研究科
都市社会工学専攻修士論文
令和3年2月



Master's Thesis
Department of Urban Management
Graduate School of Engineering
Kyoto University
February 2021

市場参加者の有限性を考慮した
ライドシェアリングの市場構造に関する
理論的研究

京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻
都市社会計画学講座 計画マネジメント論分野
竹内佑樹

要 旨

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市場参加者は、サービスを提供する人と利用する人のいずれかを選択して市場に参加できるという市場参加派の有限性のため、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。

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した。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について分析した。その結果、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、規模の経済性に伴って市場参加者数に関する複数均衡解が生じる可能性があることを指摘した。一方で、ドライバーとユーザーが同一の集団から発生しドライバーとしてでもユーザーとしてでも市場に参加できるという性質があるために、ライドシェアリング市場における規模の経済性による均衡への影響が限定的にしかなれない可能性があることを指摘した。

これらの結果より、ライドシェアリングサービスを普及させるためには初期の利用者数が大きいことが重要であることを示した。また、都市の人数が少ない地域においても利用料に補助金を導入することがライドシェアリングサービスの普及に有効であることが分かった。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	本研究の基本的な考え方	3
2.1	従来の研究概要	3
2.2	ライドシェアの分類	4
2.3	交通行動と外部性	4
2.4	市場参加者の有限性	5
第3章	モデルの定式化	7
3.1	前提条件	7
3.2	ライドシェアリング市場のモデル	8
3.3	効用関数の定式化	10
3.4	利用人数の定式化	13
第4章	市場均衡の分析	16
4.1	マッチング数と規模の経済性	16
4.2	市場参加者の有限性	18
第5章	市場環境と市場構造の関係	21
5.1	均衡解	21
5.2	都市の人数と市場構造	23
5.3	移動頻度と市場構造	26
第6章	おわりに	29
	参考文献	30
付録A	Nested Logit モデルを用いた市場均衡の分析	付-1
A.1	個人の行動モデル	付-1
A.2	市場環境と市場構造の関係	付-2
A.2.1	均衡解	付-2
A.2.2	都市の人数と市場構造	付-3
A.2.3	移動頻度と市場構造	付-5

第1章 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利用する者の双方にとってこれまで潜在化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利用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おいて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提供者と利用者が市場に参加するというポジティブフィードバックメカニズムが働く。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。

一方、こういったプラットフォームサービスの登場は、多くの一般市民が送迎サービス提供者として市場に参入する機会を与えている。その結果、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。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利用する人のいずれに属するかを選択することができる。つまり、サービスの提供者と利用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、フィードバックメカニズムによりもたらされるライドシェアリングサービスの均衡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、各種外生変数が市場均衡に及ぼす影響を分析する。

以下、第2章では、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。第3章で

は、ライドシェアリングサービス市場構造を定式する。第4章では、ライドシェアリング市場におけるマッチングに関する規模の経済性と市場参加者の有限性について考察し、市場均衡について分析を行う。第5章では、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。第6章では、本研究のまとめを行い今後の課題を提示する。

第2章 本研究の基本的な考え方

2.1 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)}。しかしながら、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市場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。

これら一連の交通サービスのマッチング市場に関する研究においては、たとえばタクシーの利用者とタクシードライバーのようにサービスの提供者と利用者は全く異なる主体であると仮定される。しかしながら、ライドシェアサービス市場においては、車を保有している主体は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。すなわち、車を保有する主体はサービスの提供者にも利用者にもなることができる。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利用者は共に同一の集団から発生するため、潜在的な当該サービスの利用者数が増加し得る。たとえば、ライドシェアサービスの提供者がより有利な状況になった場合に、ライドシェアサービスの利用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、市場参加者の増加により多くの需要、供給をもたらささらに市場が効率化するといったマッチング市場の特性が、ライドシェアリングサービス市場においては異なる結果をもたらす可能性がある。

2.2 ライドシェアの分類

ライドシェアサービスとは、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一人以上の人々が相乗りして、トリップを行うサービスのことを意味する¹⁰⁾。本研究では、「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トリップを行う」ライドシェアリングサービスを分析の対象とする。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、分析をより単純化するため、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¹⁰⁾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。1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。2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だけ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する。すなわち、自らが移動を行う目的を持った上で他の潜在的な利用者のうち1名を同乗させる、というタイプのライドシェアリングサービスを対象とすることとする。

2.3 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利用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利用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、市場に参加した後に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利用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、サービス利用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。提供者と利用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。第 4.1 節では、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。

2.4 市場参加者の有限性

タクシーやバスに代表される従来の交通サービスの市場に関する研究においては、サービスの提供者と利用者は全く異なる主体であると仮定される。これは、タクシードライバーのようなサービスの提供者となるための資格や技術等の参入障壁が高いため、誰もがサービスの提供者として市場に参加することができないためである。一方で、Uber や Lyft といったライドシェアリングサービスの市場においてはある一定の要件を満たした個人が容易にサービス提供者として参加できるため、車を保有している主体であれば誰でも送迎サービスの提供者になることが可能である。そのため、従来の交通サービスと比較してサービス提供者と利用者の境界は厳密ではなく、それぞれの市場参加者は同一の集団から発生するとみなすことができよう。結果として、サービス提供者と利用者を異なる主体であると仮定し、それぞれの潜在的な参加者が無限であると仮定したタクシースポットの研究⁷⁾と比較して、ライドシェアリングの市場ではサービス提供者としてもしくは利用者として潜在的に参加しうる主体の数は限定的であることになる。潜在的な市場参加者数が少ない場合においては、サービス提供者と利用者との間で新たな市場参加に関する競合関係が発生しうる。本研究では、こういったライドシェアリングサービス市場のもつ特性を、市場参加者の有限性として定義する。

この特徴により、ライドシェアサービスの提供者がより有利な状況になった場合には、ライドシェアサービスの利用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。逆の場合も同様に、サービスの利用者がより有利な場合には、サービスの提供者が車を放棄しサービスを利用し始める可能性もある。

第 2.3 節で述べたように、ライドシェアリング市場においてはサービス取引のための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。この性質により、サービスの提供者も利用者も共に増加する可能性がある。その一方で、市場参加者の有限性により、サービス提供者が有利になることで利用者の人数を減少させる、サービス利用者が有利になることで提供者の人数を減少させるという、ライドシェアリング市場の参加者を提供側と利用側で奪い合う現象が起こる。これらの性質が競合して実現する市場均衡に影響を及ぼすことになるため、タクシー市場などとは異なる均衡特性が得られる可能性がある。

第3章 モデルの定式化

本章では、ライドシェアリング市場のモデルの定式化を行う。第2.1節、第2.2節において既往研究と本研究の立ち位置を述べた。第3.1節では、これらを踏まえて本研究で想定する市場の定義を行う。第3.2節では、第2.3節で述べた送迎サービスの取引に関するマッチングによって発生する外部性を考慮したライドシェアリングの市場のモデルの定式化を行う。第3.4節では、第2.4節で述べた、サービスの提供者と利用者が同一の集団から発生するという市場参加者の有限性を考慮したモデルの作成を行う。

3.1 前提条件

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、送迎サービスを利用する者（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。本研究で想定するライドシェアリングサービスの提供者は自らも移動する意思を持っており、同一目的地に移動する希望を持つ他の主体（サービス利用者）を所有する車に乗車させることによってサービスが成立するとしよう。すなわち本研究では、サービス利用者を乗車させることのみを目的としてサービスを提供するドライバーは考慮しない。このようなタイプのドライバーを考慮した場合は、基本的にタクシー市場を対象とした場合と同一の枠組⁶⁾で分析できるため、本研究においては自らも移動する意思を持つドライバーのみを考慮することとする。

交通手段選択に先だって、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4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、マッチングされた場合に移動を行うことができる。よって、非移動状態 H から移動状態 M に移行する間には、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 と呼ぶこととする。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状態が発生する確率を α_i で表し、平均 α のポアソン分布に従っているとす。この確率は、当該期間中に生じる移動頻度を表している。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、当該主体が非移動状態 H にいる場合のみであると考え。すなわち、期間 T 中に移動頻度 α_i で移動需要が発生した場合、当該主体が非移動状態 H である場合のみ移動を行い効用を得ることができると考える。探索状態 L や移動状態 M で移動の必要性が生じた（移動需要の機会が到着した）場合には、得られる効用は 0 であると考え。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。

3.2 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。第 2.2 節で述べたように、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市場参入目的は、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、マッチング後の送迎など移動状態 M にかかる時間は 0 と仮定したため移動状態 M を省略することができ、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。なお、 $0 \leq l_D(t), h_D(t) \leq n_D(t)$ かつ $0 \leq l_U(t), h_U(t) \leq n_U(t)$ である。

$$n_D(t) = l_D(t) + h_D(t) \quad (3.1)$$

$$n_U(t) = l_U(t) + h_U(t) \quad (3.2)$$

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。なお、それぞれのマッチング確率のとれる範囲は $[0, 1]$ である。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。

$$m(t) = \beta l_D(t) l_U(t) \quad (3.3)$$

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。

$$h_D(t + \Delta t) = h_D(t) + m(t) - \alpha h_D(t) \quad (3.4)$$

$$h_U(t + \Delta t) = h_U(t) + m(t) - \alpha h_U(t) \quad (3.5)$$

$$l_D(t + \Delta t) = l_D(t) - m(t) + \alpha h_D(t) \quad (3.6)$$

$$l_U(t + \Delta t) = l_U(t) - m(t) + \alpha h_U(t) \quad (3.7)$$

これら式 (3.3)~(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。

$$m = \beta l_D l_U = \alpha h_U = \alpha h_D \quad (3.8)$$

式 (3.1)，(3.2)，(3.8) 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 の関係が二次方程式として表現された。この二次方程式から得られる 2 つの解のうち，どのような n_D と n_U の組み合わせにおいても，それぞれの定義域を満たす解はただ一つとなる。このことから，非移動状態のドライバーとユーザーの数 h_D ， h_U 及び，探索状態のドライバーとユーザーの数 l_D ， l_U ，マッチング数 m は，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。

$$m = \frac{\alpha}{2} \left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4n_D n_U} \right) \quad (3.9)$$

$$l_D = \frac{1}{2} \left(n_D - n_U - \frac{\alpha}{\beta} + \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4n_D n_U} \right) \quad (3.10)$$

$$l_U = \frac{1}{2} \left(n_U - n_D - \frac{\alpha}{\beta} + \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4n_D n_U} \right) \quad (3.11)$$

$$h = \frac{1}{2} \left(n_U + n_D + \frac{\alpha}{\beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4n_D n_U} \right) \quad (3.12)$$

3.3 効用関数の定式化

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 中には事前に選択した交通手段を変更できない。想定する意思決定過程を図で表現したものを図-3.1 に示す。

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

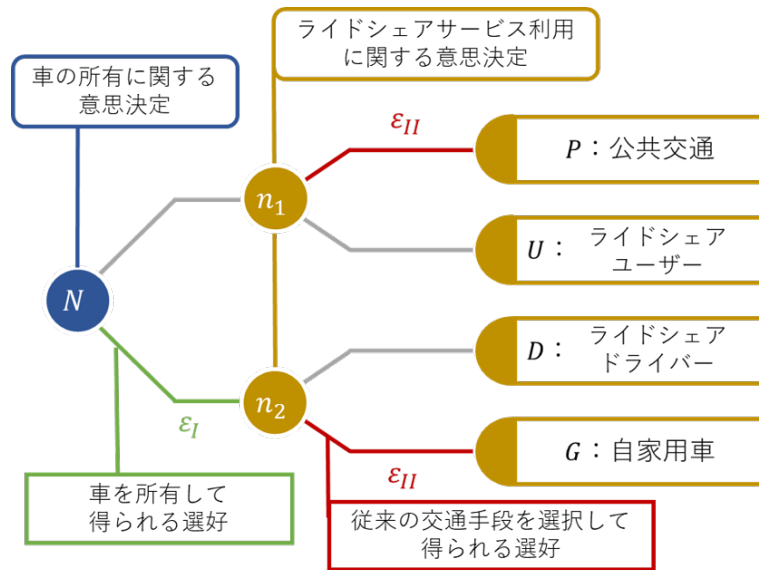


図-3.1 意思決定過程

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。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、このような2段階の意思決定を同時に行って最も望ましいものを選択する。

いま、個人 i が各交通手段 σ を選択し、1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 $\varepsilon_{\sigma,i}$ の和として

$$U_{\sigma,i} = u_{\sigma} + \varepsilon_{\sigma,i} \quad (3.13)$$

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同一の値 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。

$$u_G = v - \frac{k}{\alpha} \quad (3.14)$$

式 (3.14) の右辺第一項 v は1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い。右辺第二項は1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。

$$u_P = v - c_P \quad (3.15)$$

式 (3.15) の右辺第二項は公共交通を使用する際に 1 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さる必要がある。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している探索状態 L に分けられる。

ライドシェアリングユーザーやドライバーも公共交通や自家用車と同様に期間 T 中に移動需要は α で発生する。しかしながら、公共交通や自家用車を利用する場合は常に非移動状態にいるのに対し、ユーザーやドライバーは探索状態にいる可能性がある。探索状態にいる場合にはすでにトリップのために相手の探索を行っている状態であり、新たなトリップを行うことはできない。そのため、探索状態にいる場合に移動需要が発生した場合については、トリップにより発生する効用や費用は 0 であると考えられる。第 3.2 節で示したように、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行する確率は 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 $\frac{1}{\beta l_D}$ 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トリップにより発生する効用や費用を得られると考えられると、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。

$$u_U = \frac{\beta l_D}{\alpha + \beta l_D} \left(v - p - \frac{\gamma}{\beta l_D} \right) \quad (3.16)$$

式 (3.16) 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。なお、マッチング確率 βl_D のとれる範囲は $[0, 1]$ であるため、 u_U のとれる範囲は $[-\frac{\gamma}{\alpha}, \frac{v-p-\gamma}{\alpha+1}]$ である。また、この範囲内で l_D に関して u_U は増加関数である。

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行する確率は 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、1回の移動あたりに得られる効用 u_D は次式で示される。

$$u_D = \frac{\beta l_U}{\alpha + \beta l_U} \left(v + p - \frac{\gamma}{\beta l_U} \right) - \frac{k}{\alpha} \quad (3.17)$$

式 (3.17) 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。なお、マッチング確率 βl_U のとれる範囲は $[0, 1]$ であるため、 u_D のとれる範囲は $[-\frac{\gamma+k}{\alpha}, \frac{v-p-\gamma}{\alpha+1} - \frac{k}{\alpha}]$ である。また、若干の計算により、この範囲内で l_U に関して u_D は増加関数であることを示すことができる。

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。

次に、個人 i ごとに固有な選好を示すパラメータ $\varepsilon_{\sigma,i}$ について考えよう。意思決定 I において、個人 i が車を保有すること (D , G) に対する選好の度合いを表すパラメータを $\varepsilon_{I,i}$ と表す。また、意思決定 II において、個人 i の従来の交通機関 (P , G) に対する選好の度合いを表すパラメータを $\varepsilon_{II,i}$ と表す。 $\varepsilon_{I,i}$ 及び $\varepsilon_{II,i}$ は個人によって異なる値をとり、ある確率分布に従っているとす。これらの仮定により、それぞれの交通手段に対する個人 i の選好 $\varepsilon_{\sigma,i}$ は次式で示される。

$$\varepsilon_{P,i} = \varepsilon_{II,i} \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_{U,i} = 0 \quad (3.19)$$

$$\varepsilon_{D,i} = \varepsilon_{I,i} \quad (3.20)$$

$$\varepsilon_{G,i} = \varepsilon_{I,i} + \varepsilon_{II,i} \quad (3.21)$$

以上の議論により、個人 i が一回の移動を行った場合に各交通手段から得られる効用 $U_{\sigma,i} = u_\sigma + \varepsilon_{\sigma,i}$ を定義した。

3.4 利用人数の定式化

第 3.3 節において、各交通手段を選択した場合に獲得できる効用の定式化を行った。都市に存在する各個人 i は意思決定の際に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。以下では、各交通手段についての効用と利用人数との関係を定義する。

はじめに、意思決定 I において、車を保有しない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。

$$N = n_1 + n_2 \quad (3.22)$$

$$n_1 = n_U + n_P \quad (3.23)$$

$$n_2 = n_D + n_G \quad (3.24)$$

次に、個人 i が各交通手段を選択する条件とその確率について考える。以降では、個人 i が車を保有すること (D , G) に対する選好の度合いを表すパラメータ $\varepsilon_{I,i}$ を区間 $[-y, y]$ の連続一様分布、従来の交通機関 (P , G) に対する選好の度合いを表すパラメータ $\varepsilon_{II,i}$ を区間 $[-x, x]$ の連続一様分布に従うと仮定する。より一般的な確率分布を仮定した場合には、市場に働く外部経済の効果と確率分布の形状による効果との双方が市場均衡に影響を与えるため、より複雑な均衡解の吟味が必要となる。また、分布の範囲の下限が $-\infty$ である場合には、効用を式 (3.16), (3.17) のように有限の範囲をとる関数として定義した場合には、取引相手が 0 人でマッチング確率が 0 となる場合であってもライドシェアリング市場に参加するインセンティブを持つ個人が存在することとなる。このような現象は実際には起こり難いものである。これらの理由から、規模の経済性や市場の有限性といった市場に働く効果に焦点を絞って分析を行うために一様分布を仮定することとする。

まず、意思決定 II における各交通手段選択の条件について考えよう。意思決定 I において車を保有しない意思決定を行った n_1 人の個人は、意思決定 II において公共交通 P かライドシェアユーザー U を選択する。個人 i がライドシェアユーザー U を選択する条件は $U_{U,i} > U_{P,i}$ である。よって、ライドシェアユーザー U を選択する確率 Pr_U は次式で示される。

$$Pr_U[U_{U,i} > U_{P,i}] = Pr[\varepsilon_{II,i} > u_U - u_P + x] \quad (3.25)$$

このことから、ライドシェアユーザー U を選択する人数 n_U は次式で表される。

$$n_U = \begin{cases} 0 & (u_U - u_P < -x) \\ n_1 \frac{u_U - u_P + x}{2x} & (-x \leq u_U - u_P \leq x) \\ n_1 & (x < u_U - u_P) \end{cases} \quad (3.26)$$

同様に、公共交通 P を選択する人数 n_P は次式で示される。

$$n_P = \begin{cases} 0 & (u_P - u_U < -x) \\ n_1 \frac{x - u_U + u_P}{2x} & (-x \leq u_P - u_U \leq x) \\ n_1 & (x < u_P - u_U) \end{cases} \quad (3.27)$$

意思決定 I において車を保有する意思決定を行った n_2 人の個人は、意思決定 II においてライドシェアドライバー D か自家用車 G を選択する。ライドシェアドライバー D を選択する人数 n_D は次式で表される。

$$n_D = \begin{cases} 0 & (u_D - u_G < -x) \\ n_2 \frac{u_D - u_G + x}{2x} & (-x \leq u_D - u_G \leq x) \\ n_2 & (x < u_D - u_G) \end{cases} \quad (3.28)$$

同様に、自家用車 G を選択する人数 n_G は次式で示される。

$$n_G = \begin{cases} 0 & (u_G - u_D < -x) \\ n_2 \frac{x - u_D + u_G}{2x} & (-x \leq u_G - u_D \leq x) \\ n_2 & (x < u_G - u_D) \end{cases} \quad (3.29)$$

次に、意思決定 I における各交通手段選択の条件について考えよう。

意思決定 I において車を保有するかどうかの意思決定を行う際には、保有しない場合 (P, U) に得られる効用の最大値 $\max[u_P, u_U]$ と保有する場合 (D, G) に得られる効用の最大値 $\max[u_D, u_G]$ を比較し、より望ましいほうを選択する。よって、車を保有しない選択を行う人数 n_1 は次式で表される。

$$n_1 = \begin{cases} 0 & (\max[u_P, u_U] - \max[u_D, u_G] < -y) \\ \frac{N}{2y}(\max[u_P, u_U] - \max[u_D, u_G] + y) & (-y \leq \max[u_P, u_U] - \max[u_D, u_G] \leq y) \\ N & (y < \max[u_P, u_U] - \max[u_D, u_G]) \end{cases} \quad (3.30)$$

同様に、車を保有する選択を行う人数 n_2 は次式で表される。

$$n_2 = \begin{cases} 0 & (\max[u_D, u_G] - \max[u_U, u_P] < -y) \\ \frac{N}{2y}(\max[u_D, u_G] - \max[u_U, u_P] + y) & (-y \leq \max[u_D, u_G] - \max[u_U, u_P] \leq y) \\ N & (y < \max[u_D, u_G] - \max[u_U, u_P]) \end{cases} \quad (3.31)$$

以上の定式化より、各交通サービスの利用者数 n_U, n_P, n_D, n_G を求めることができる。

第4章 市場均衡の分析

4.1 マッチング数と規模の経済性

第3.2節において、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(3.8)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 が増加すれば、 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ライドシェアリング市場の参加者数が決定される。 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 は第3章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、

$$m(\theta n_U, \theta n_D) = \frac{\alpha \theta}{2} \cdot \left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta \beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta \beta} \right)^2 - 4 n_D n_U} \right) \quad (4.1)$$

と表せる。 一方で、マッチング数 m を θ 倍すると、

$$\theta m(n_U, n_D) = \frac{\alpha \theta}{2} \left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta} \right)^2 - 4 n_D n_U} \right) \quad (4.2)$$

となる。 式(4.1), (4.2)の大きさを比較する。 式(4.1)の括弧の中を

$$a = n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta \beta} - \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta \beta} \right)^2 - 4 n_D n_U} \quad (4.3)$$

と置くと、 $\theta = 1$ で式(4.2)の括弧の中と同式になる。 $b = n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta}$ とすると、 $a = b - \sqrt{b^2 - 4 n_U n_D}$ となる。 ここで、

$$\frac{da}{db} = \frac{\sqrt{b^2 - 4 n_U n_D} - b}{\sqrt{b^2 - 4 n_U n_D}} < 0 \quad (4.4)$$

$$\frac{db}{d\theta} = -\frac{1}{\theta^2} \frac{\alpha}{\beta} < 0 \quad (4.5)$$

となるため、以下の関係が成立する。

$$\frac{da}{d\theta} = \frac{da}{db} \frac{db}{d\theta} > 0 \quad (4.6)$$

これらの結果より、 $\theta > 1$ において、

$$m(n_U, n_D) < \theta m(n_U, n_D) < m(\theta n_U, \theta n_D) \quad (4.7)$$

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 (4.7) より l_D には以下の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} l_D(\theta n_U, \theta n_D) &= \theta n_D - \frac{1}{\alpha} m(\theta n_U, \theta n_D) \\ &< \theta n_D - \frac{1}{\alpha} \theta m(n_U, \theta n_D) \\ &= \theta l_D(n_U, n_D) \end{aligned} \quad (4.8)$$

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 (3.10) より、 $l_D(\theta n_U, \theta n_D)$ は、

$$l_D(\theta n_U, \theta n_D) = \theta n_D - \theta n_U - \frac{\alpha}{\beta} + \theta \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta\beta}\right)^2 - 4n_D n_U} \quad (4.9)$$

で表される。ここで、

$$\sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\theta\beta}\right)^2 - 4n_D n_U} > \sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta}\right)^2 - 4n_D n_U} \quad (4.10)$$

$$\sqrt{\left(n_D + n_U + \frac{\alpha}{\beta}\right)^2 - 4n_D n_U} = \sqrt{(n_D - n_U)^2 + 2(n_D + n_U)\frac{\alpha}{\beta} + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2} \quad (4.11)$$

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、

$$\begin{aligned} &l_D(\theta n_U, \theta n_D) - l_D(n_U, n_D) \\ &> (\theta - 1) \cdot \left(n_D - n_U + \sqrt{(n_D - n_U)^2 + 2(n_D + n_U)\frac{\alpha}{\beta} + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2}\right) \end{aligned} \quad (4.12)$$

式 (4.12) の右辺について、 $n_D - n_U$ の正負によらず、

$$n_D - n_U < \sqrt{(n_D - n_U)^2 + 2(n_D + n_U)\frac{\alpha}{\beta} + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2} \quad (4.13)$$

が成り立つため、

$$l_D(\theta n_U, \theta n_D) - l_D(n_U, n_D) > 0 \quad (4.14)$$

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、

$$l_D(n_U, n_D) < l_D(\theta n_U, \theta n_D) < \theta l_D(n_U, n_D) \quad (4.15)$$

$$l_U(n_U, n_D) < l_U(\theta n_U, \theta n_D) < \theta l_U(n_U, n_D) \quad (4.16)$$

が成り立つ。

式(4.7)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する。さらに、式(4.15)、(4.16)より、探索状態のドライバー数、ユーザー数は増加するため、結果として探索に要する期待時間で表される機会費用は減少する。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し、それがさらなる市場参加者を増やす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。第5.2節では、 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。

4.2 市場参加者の有限性

第2.4節において、ライドシェアリングサービス市場がもつ市場参加者の有限性という特徴により、サービス提供者が相対的に有利になればサービス提供者として新たに市場参加する人数が増加するため、結果としてサービス利用者の人数を減少させること、同様に、サービス利用者が相対的に有利になることにより利用者数が増加すればサービス提供者の人数が減少することといったように、ライドシェアリング市場の参加者を提供側と利用側で奪い合う現象が起こる可能性について述べた。本節では、市場参加者の有限性という特徴が市場均衡にもたらす影響に関する理論的考察を行う。

はじめに、サービスの提供者であるドライバーの効用が変化した場合のユーザーの人数の変化について考える。前節と同様に、ドライバーの効用 u_D が外生的に与えられている状態を仮定し、それぞれの人数や他の選択肢を採用した場合に獲得できる効用水準に対する影響を評価する。ユーザーの利用人数を表す式(3.26)をドライバーの効用 u_D で微分した式を以下に示す。

$$\frac{\partial n_U}{\partial u_D} = \frac{\partial n_1}{\partial u_D} \cdot \frac{u_U - u_P + x}{2x} + \frac{n_1}{2x} \cdot \frac{\partial u_U}{\partial u_D} \quad (4.17)$$

また、 $\frac{\partial n_1}{\partial u_D}$ は式(3.30)より、

$$\frac{\partial n_1}{\partial u_D} = \frac{N}{2y} \left(\frac{\partial \max[u_P, u_U]}{\partial u_D} - \frac{\partial \max[u_D, u_G]}{\partial u_D} \right) \quad (4.18)$$

式(4.18)について、 $\frac{\partial \max[u_P, u_U]}{\partial u_D}$ は $\frac{\partial u_U}{\partial u_D}$ または0の値をとり、 $\frac{\partial \max[u_D, u_G]}{\partial u_D}$ は1または0の値をとる。よって、サービスの提供者であるドライバーの効用が増加した場合のユーザー

の人数の変化は、式 (4.17) の右辺第 2 項と式 (4.17) の右辺第 1 項にある $\frac{\partial u_U}{\partial u_D}$ による効果と、式 (4.18) 右辺第二項による効果に分けることができる。前者の $\frac{\partial u_U}{\partial u_D}$ については、

$$\frac{\partial u_U}{\partial u_D} = \frac{\partial u_U}{\partial l_D} \left(\frac{\partial l_D}{\partial n_D} \cdot \frac{\partial n_D}{\partial u_D} + \frac{\partial l_D}{\partial n_U} \cdot \frac{\partial n_U}{\partial u_D} \right) \quad (4.19)$$

であり、ドライバーの効用の増加に伴うユーザーとドライバーの市場参加者数の変化、市場参加者数の変化に伴う探索人数の変化、探索人数の変化に伴うユーザーの効用の変化が複合した効果となる。ここには、双方の参加者の変化に伴い現れるマッチングに関する規模の経済性の効果が含まれる。一方で、式 (4.18) 右辺第 2 項は負であるため、ドライバーの効用が増加することでユーザーの人数を減少させる効果があることがわかる。これは、ドライバーの効用が増加し有利になることによって、もともとユーザーであった人がドライバーになるという選択肢をとることによるユーザー数の減少を表している。この効果は、ライドシェアリング市場の参加者を提供側と利用側で奪い合う市場参加者の有限性を表している。

同様に、サービスの利用者であるユーザーの効用が変化した場合のドライバーの人数の変化について考える。ドライバーの利用人数を表す式 (3.27) をユーザーの効用 u_U で微分した式を以下に示す。

$$\frac{\partial n_D}{\partial u_U} = \frac{\partial n_2}{\partial u_U} \cdot \frac{u_D - u_G + x}{2x} + \frac{n_2}{2x} \cdot \frac{\partial u_D}{\partial u_U} \quad (4.20)$$

また、 $\frac{\partial n_2}{\partial u_U}$ は式 (3.31) より、

$$\frac{\partial n_2}{\partial u_U} = \frac{N}{2y} \left(\frac{\partial \max[u_D, u_G]}{\partial u_U} - \frac{\partial \max[u_P, u_U]}{\partial u_U} \right) \quad (4.21)$$

式 (4.21) について、 $\frac{\partial \max[u_D, u_G]}{\partial u_U}$ は $\frac{\partial u_D}{\partial u_U}$ または 0 の値をとり、 $\frac{\partial \max[u_P, u_U]}{\partial u_U}$ は 1 または 0 の値をとる。よって、サービスの利用者であるユーザーの効用が増加した場合のドライバーの人数の変化は、式 (4.20) の右辺第 2 項と式 (4.21) の右辺第 1 項にある $\frac{\partial u_D}{\partial u_U}$ による効果と、式 (4.21) 右辺第 2 項による効果に分けることができる。前者の $\frac{\partial u_D}{\partial u_U}$ については、 $\frac{\partial u_U}{\partial u_D}$ と同様に、双方の参加者の変化に伴い現れるマッチングに関する規模の経済性の効果が現れる。一方で、式 (4.20) 右辺第 2 項には、ユーザーの効用が増加し有利になることで、もともとドライバーであった人が新たにユーザーとして市場参加することによりドライバー数が減少するという市場参加者の有限性による効果が現れる。

以上の結果より、サービス提供者が有利になることにより利用者の人数を減少させる、サービス利用者が有利になることにより提供者の人数を減少させるという、ライドシェアリング市場の参加者を提供側と利用側で奪い合う現象が起こることが分かった。ライドシェアリングサービス市場においては、マッチングによる規模の経済性による市場の効率化による効果と、市場参加者の有限性により規模の経済性による効果がおさえられる効果という 2 つの効果が相互に影響し合う。したがって、実現する均衡解は市場環境の違いに応じ

て様々な状態に変化する。第 5.1 節では、市場の有限性がない場合、即ち、車を保有するかどうかの意思決定が外生的な要因にのみで決定され、車を保有する主体としない主体が分かれている場合の市場均衡の結果を数値解析事例比較を行う。そして、市場参加者の有限性が市場に与えている影響について分析を行う。

第5章 市場環境と市場構造の関係

第4.1節においてマッチングに関する規模の経済性について、第4.2節において市場参加者の有限性についての理論的な考察を行った。これらの分析においては市場均衡によって内生的に決定される値を外生的であると仮定して分析を行った。これらが内生的に決定される市場均衡においてはこれらの性質が複合した形で市場に現れるため、解析的に分析することは難しい。そこで本章では数値解析を用いてこれらの性質がどのように市場に現れているかを分析する。第5.1節では市場参加者の有限性についての分析を行い、第5.2節においてはマッチングに関する規模の経済性について分析を行う。また、これらの性質が存在する市場において、市場環境の変化によって市場均衡がどのように変化するかの分析を行う。

5.1 均衡解

数値計算を行うにあたって、各パラメータを $N = 10000$, $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.0005$, $v = 40.0$, $\gamma = 1.5$, $p = 20.0$, $k = 3.0$, $c_P = 30.0$, $x = 15.0$, $y = 15.0$ とする。(以下、Case 1 と呼ぶ。)

表-5.1 Case 1 の均衡解

	n_σ	u_σ		h	l_σ	m
公共交通 P	2153.259	10.00				
ユーザー U	2831.743	12.08		2190.979	640.764	219.098
ドライバー D	2874.844	12.16		2190.979	683.865	219.098
自家用車 G	2140.153	10.00				

表-5.1 に、Case 1 での均衡解を示す。また、図-5.1 に Case 1 での選好に対する各交通手段選択の分布を示す。

図-5.1 は Case 1 での式 (3.26)~式 (3.31) の関係を図で表したものである。横軸は従来の交通機関に対する選好 $\varepsilon_{II,i}$ の分布を示しており、縦軸は個人 i が車を保有すること対す

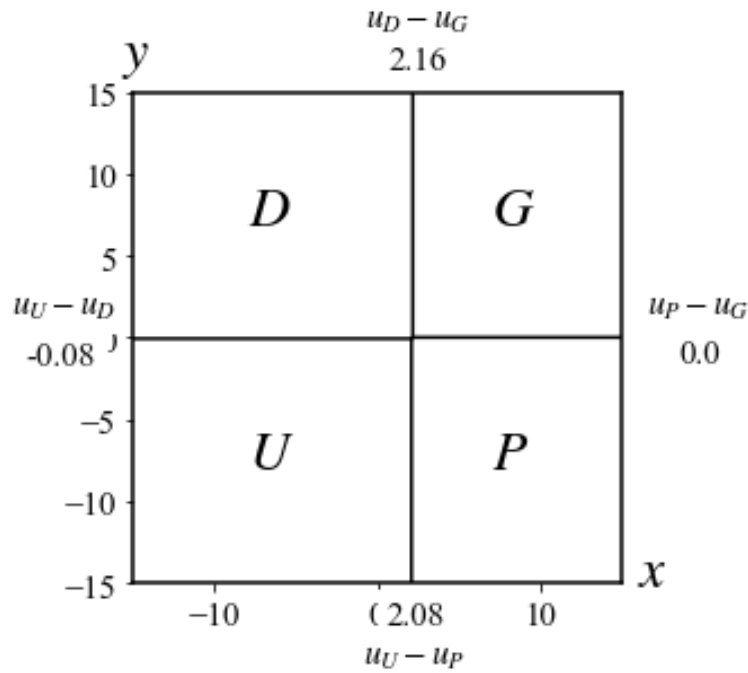


図-5.1 選好に対する各交通手段選択の分布 (Case 1)

る選好 $\varepsilon_{I,i}$ の分布を表している。各交通手段の範囲の境界線上では、接している交通手段から得られる効用が等しいことを表している。そして、各交通手段の範囲の面積がその交通手段の利用人数に対応している。

第 4.2 節で述べたように、ライドシェアリングサービス市場においては市場参加者数が有限であるため、均衡において規模の経済性による効果が必ずしも卓越する保証はない。市場参加者の有限性が均衡に及ぼす影響について分析するために、仮想的に自動車保有に関する選択肢がない状況を想定した分析を行って、Case 1 と比較する。具体的には、自動車を保有している層と保有していない層が異なる集団である場合を想定して、各層の選択肢はそれぞれ、自家用車かライドシェアドライバーか、公共交通かライドシェアユーザーかの 2 択であるとした場合 (Case 2) を想定する。都市内の個人数 N は両ケースで同一に設定し、Case 2 における自動車保有層の人数を変化させて得られる均衡を分析する。

図-5.2 に、横軸に自動車保有人数 n_2 をとった結果を示す。図中赤線は Case 2 の均衡におけるマッチング数を、青線は Case 1 で実現するマッチング数を示している。

図-5.2 より、自動車保有層と非保有層の数が接近している場合 (図中 n_2 が 4,000~5,000 の範囲) には、Case 1 において実現するマッチング数が Case 2 に比べて少なくなる場合が存在することがわかる。これは Case 1 においてドライバー (もしくはユーザー) として新規に市場に参加する個人が限定されるためであり、ライドシェアリングサービス市場において市場参加者が限られる市場参加者の有限性により規模の経済性が働きにくくなっている状況が見て取れる。

次節以降では、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

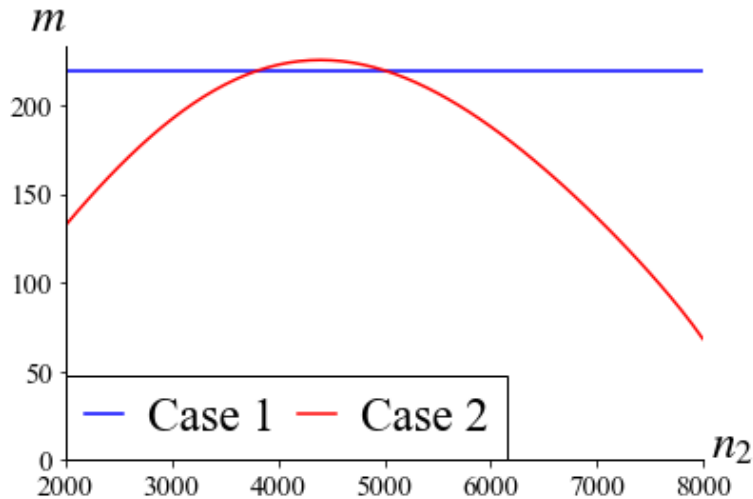


図-5.2 車の保有人数とマッチング数の関係

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、市場参加者の有限性が市場均衡にどのように影響を与えているかを分析する。

5.2 都市の人数と市場構造

次に、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。

マッチングの規模の経済性が存在するライドシェアリングの市場においては、サービスの需要や供給が増加すればさらに多くのドライバーやユーザーが市場に参加するというポジティブなフィードバックメカニズムが働く。その結果として、市場には複数の均衡解が生じる可能性がある。そして、複数の均衡解が存在する場合には、どの均衡解に達するかはその初期状態によって決定される。

本節では、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。Case 1 での設定から都市の人数 N が変化した場合に得られる均衡解について議論する。また、それらの均衡解がライドシェアリング市場の初期状態によってどのように変化するかについても分析を行う。以下では、ライドシェアリング市場に参加している人数の初期状態が十分に大きい場合 ($n_{U0} = n_{D0} = \frac{N}{4}$) を Case 3、初期状態が十分に小さい場合 ($n_{U0} = n_{D0} = \frac{N}{1000}$) を Case 4 とよぶ。

はじめに、Case 3 において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-5.3 に、都市の人数 N が変化した際に、均衡状態における都市の人数 N とマッチング数 $\frac{m}{N}$ との関係を示す。

都市の人数 N が小さい場合には、マッチング数 m は 0 となる。これは、市場規模が小さいためにマッチングの規模の経済性が十分に働かず、ライドシェアリングの市場が形成されないためである。ある程度市場規模が大きくなると、都市の人数 N に対して $\frac{m}{N}$ が増

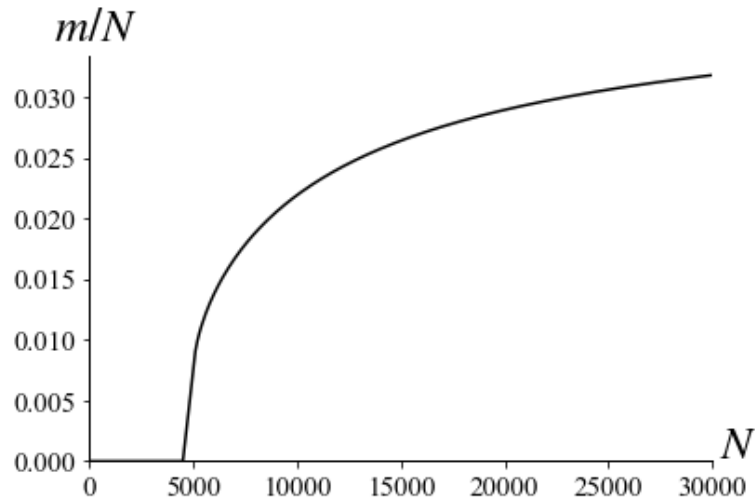


図-5.3 都市の人数とマッチング割合の関係 (Case 3)

加関数となっていることが読み取れる。このことから、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。これらの結果が示すように、ライドシェアリング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-5.4 には都市の人数 N に対するそれぞれの均衡におけるマッチング数 m 、探索者数 l_U 、 l_D との関係を示している。また、図-5.5 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。

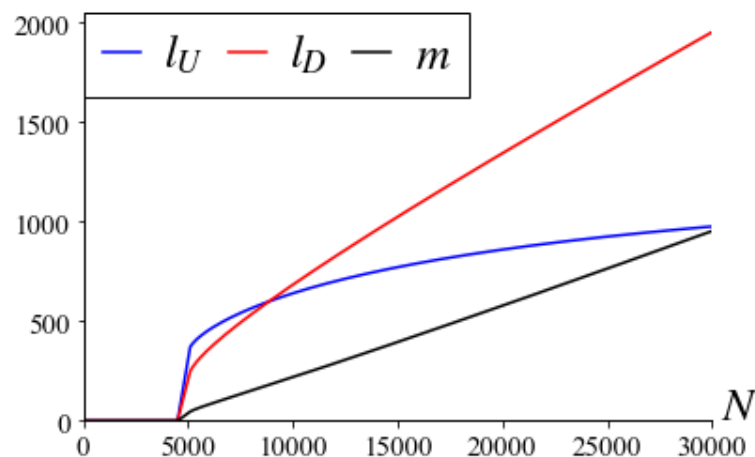


図-5.4 都市の人数とマッチング数、探索人数との関係 (Case 3)

都市の人数 N が小さい場合には、ライドシェアリング市場の参加者は減少し、誰も参加しないという均衡解が得られる。これは、潜在的な市場参加者が少ないことに起因する。マッチングの規模の経済性が十分に働かないことで、機会費用が大きいままであるため市場参加者が減り、それによりさらに機会費用が大きくなるという負の循環が生まれ、最終的には利用者がいなくなるという均衡解に達する。

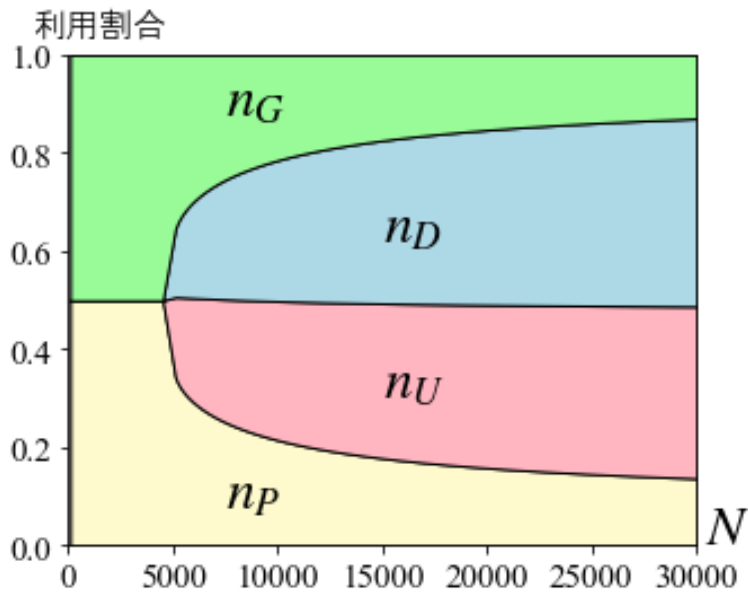


図-5.5 都市の人数と各交通手段の選択人数の割合の関係 (Case 3)

一方で、ある程度の都市の規模に達することで、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、第4.1節で示したように、 N が増加するにつれて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、その増加割合は逡減することが読み取れる。

次に、Case 4において、 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たものを図-5.6に示す。図-5.6に示すように、初期の利用者数が十分に

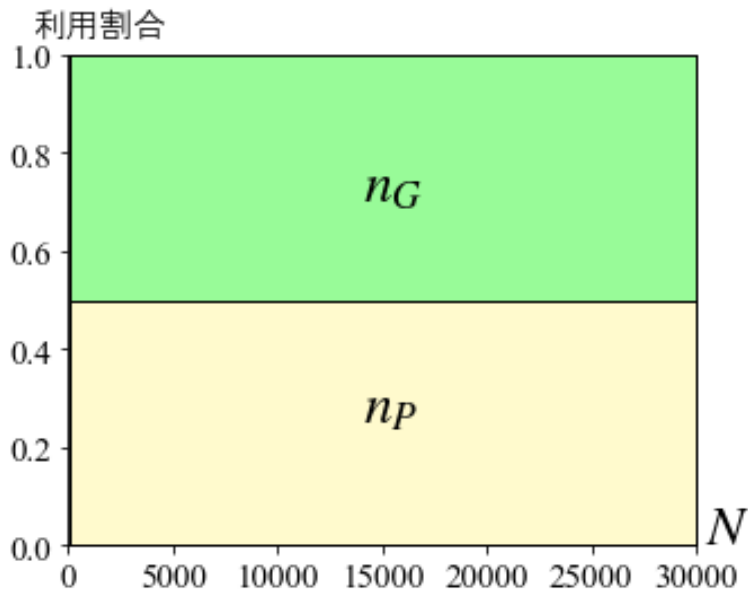


図-5.6 都市の人数と各交通手段の選択人数の割合の関係 (Case 4)

小さい場合には、ライドシェアリング市場に参加人数は0となる。これは、初期状態における双方の人数が小さいために、マッチングの規模の経済性が十分に働かず、機会費用が

大きいままであるため市場参加者が減り、それによりさらに機会費用が大きくなるという負の循環が生じるからである。

このように、マッチングの規模の経済性の影響により、市場には複数の均衡解が存在する可能性があることが分かる。

5.3 移動頻度と市場構造

本節では、移動頻度 α が市場に及ぼす影響について分析を行う。Case 1 での設定から人々の移動頻度 α が変化した場合に得られる均衡解について議論する。車を所有する場合には、期間中に固定費用 k を負担する必要がある。移動頻度が大きくなるにつれ、一回のトリップ当たりにかかるの車の固定費用は減少する。そのため、移動頻度が大きくなればなるほど車を所有することが有利になる。このような変化により、各交通手段の選択人数の割合の分布は様々な形態をとる。以下では、ライドシェアリング市場に参加している人数の初期状態が十分に大きい場合 ($n_{U0} = n_{D0} = \frac{N}{4}$) での変化について分析を行う。(以下、Case 5 と呼ぶ。)

図-5.7 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-5.8 では、 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。

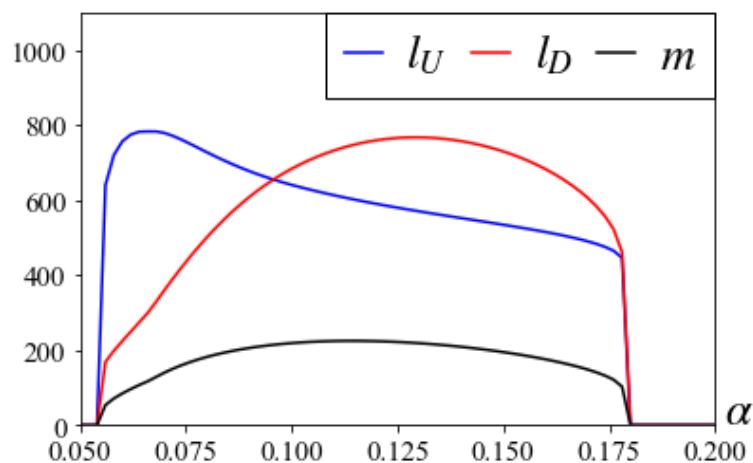


図-5.7 移動頻度とマッチング数、探索人数との関係 (Case 5)

移動頻度が極端に小さい場合には、一回のトリップ当たりにかかるの車の固定費用が非常に大きいため、車を所有する個人は存在しない。そのような場合には、ライドシェアリング市場におけるドライバーの参加者も存在しないため、ユーザーとして市場に参加する者もない。そのため、すべての人々が公共交通を利用する。移動頻度がある程度の大きさになると車を所有する個人が現れるため、ライドシェアリング市場にドライバーとして参加する個人も現れる。その結果として、ライドシェアリング市場は形成されるが、ドライ

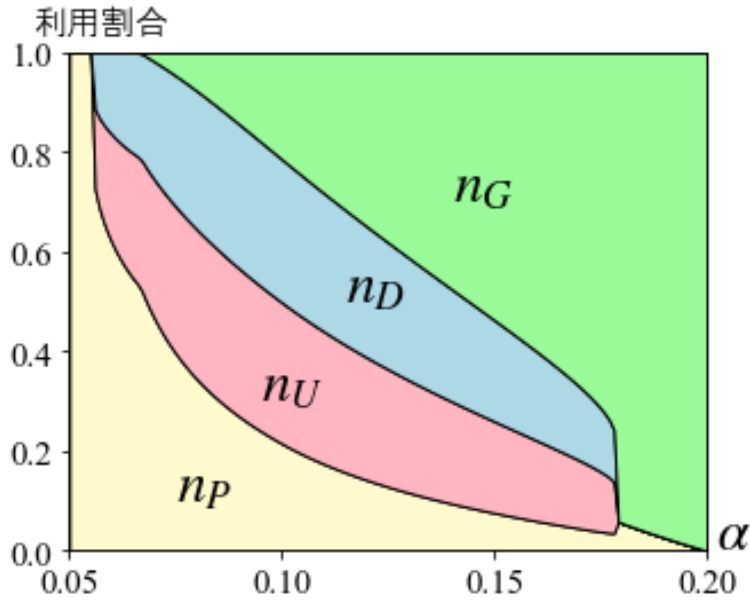


図-5.8 移動頻度と各交通手段の選択人数の割合の関係 (Case 5)

パーよりもユーザーの人数のほうが多いため、ユーザーの探索人数が多い状態になる。また、ユーザーとドライバーの市場参加者数が接近するにつれて、マッチング数が増加する。さらに移動頻度が大きくなり車の所有が有利になると、ユーザーよりもドライバーの探索人数のほうが多い状態となる。また、ドライバーの数に比較してユーザーの数が少なくなるため、マッチング数は減少する。移動頻度が極端に大きい場合には、一回のトリップ当たりにかかるの車の固定費用が非常に小さく、全ての個人が車を所有する。そのような場合には、ライドシェアリング市場におけるユーザーとしての参加者も存在しないため、ドライバーも市場に現れない。そのため、すべての人々が自家用車を利用して移動を行う。

このように、移動頻度が小さすぎる環境や大きすぎる環境では、ライドシェアリングの市場が形成されない可能性があることが分かった。

同様に、Case 1での設定から都市の人数が小さい場合 ($N = 4000$) において人々の移動頻度 α が変化した場合に得られる均衡解について議論する。(以下、Case 6 と呼ぶ。) 図-5.9 では、 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。

このように、都市の人数が小さい場合においては、ライドシェアリングの市場は形成されないことが分かる。そこで、このような都市に住む人数が少ない地域においてもライドシェアリングの市場を形成するための施策として、ライドシェアリングの双方の利用者がサービスを利用することで補助金を得られる場合を考えよう。双方の利用者がマッチングをし、一回のトリップごとに補助金 q を得られるとするとユーザーとドライバーの効用関数である式 (3.16), (3.17) は次式に書き換えられる。

$$u_U = \frac{\beta l_D}{\alpha + \beta l_D} \left(v - p + q - \frac{\gamma}{\beta l_D} \right) \quad (5.1)$$

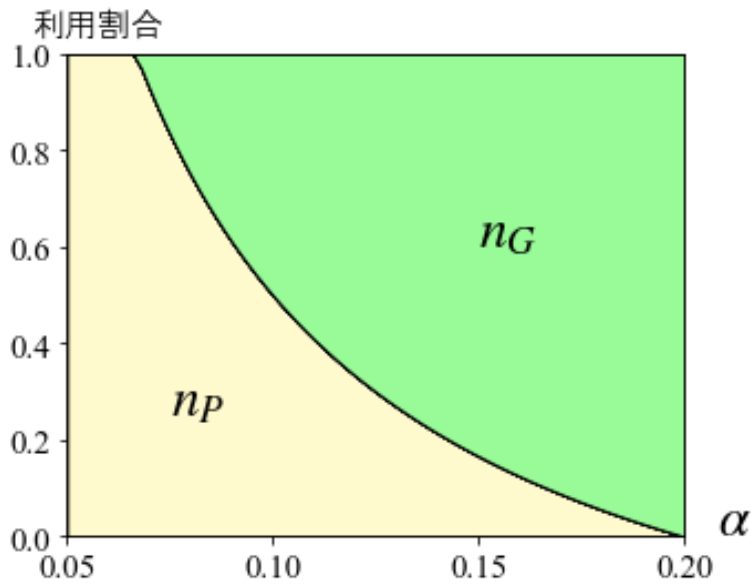


図-5.9 移動頻度と各交通手段の選択人数の割合の関係 (Case 6)

$$u_D = \frac{\beta l_U}{\alpha + \beta l_U} \left(v + p + q - \frac{\gamma}{\beta l_U} \right) - \frac{k}{\alpha} \quad (5.2)$$

そして、Case 6において、 $q = 10$ の補助金を与えた場合における、市場均衡での α に対して各交通手段を選択する人数の割合の変化を図-5.10に示す。(以下、Case 7と呼ぶ。)

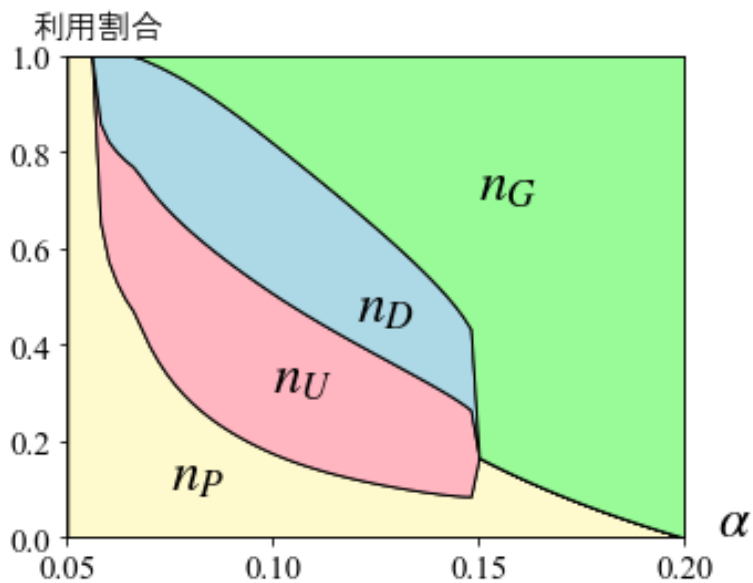


図-5.10 移動頻度と各交通手段の選択人数の割合の関係 (Case 7)

これらの結果より、都市の人数が少ない地域においても補助金を与える施策によりライドシェアリングを市場が形成できることが分かった。

第6章 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。規模の経済性に伴って市場参加者数に関する複数均衡解が生じる可能性がある。一方で、ドライバーとユーザーが同一の集団から発生しドライバーとしてでもユーザーとしてでも市場に参加できるという性質があるために、ライドシェアリング市場における規模の経済性による均衡への影響が限定的にしか現れない可能性があることを指摘した。そして、これらの結果より、ライドシェアリングサービスを普及させるためには初期の利用者数が大きいことが重要であることが分かった。また、都市の人数が少ない地域においても利用料に補助金を導入することがライドシェアリングサービスの普及に有効であることが分かった。

本研究は今後様々な発展が可能である。第一に、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に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。

第二に、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.

謝 辞

本研究の作成にあたって、多くの方々にご指導・ご協力を頂きました。ここに心より感謝の意を表します。京都大学大学院工学研究科の須崎純一教授には、短い時間ではありましたが研究の核心を突いたご指摘・ご助言を頂き本研究の意義や目的を改めて深く理解することができました。また、常に研究室の生徒のことを気にかけてくださり、励ましの言葉もいただきました。ここに心より深く感謝申し上げます。京都大学大学院工学研究科の松島格也准教授には、研究で行き詰まりお忙しい中何度も質問させて頂きました。その際に様々な手法や考え方をご指導いただき、交通市場やミクロ経済学に関して深く理解することができました。また、研究だけにとどまらず社会人としての振る舞い、素養に関しても時には優しく、時には厳しく多くの有益な御指導を頂きました。海外インターンをはじめ、海外で挑戦する機会も多く与えていただき、大きく成長できたと感じています。厚くお礼申し上げます。神戸大学大学院工学研究科の瀬木俊輔准教授には毎回の研究ゼミにおいて、自分では気づき得ない鋭い御指摘、適切な御助言を頂き、研究を進めていく上で大きな助けとなりました。ここに深く感謝いたします。京都大学名誉教授の小林潔司先生におきましては、学部時代に研究について自分では気づき得ない多くの鋭いご指摘やアドバイスをいただきました。修士論文の作成にあたってもそれらのご指摘を活かしてより良いものを作成できたと感じています。心より御礼申し上げます。京都大学防災研究所の横松宗太准教授には、大変ご多忙のところ修士論文公聴会、審査会の副査を快く引き受けていただきました。深く御礼申し上げます。秘書の細見さやか氏、中尾智子氏には日頃から多くの事務上のお手伝いのみならず、精神面のサポートまで、様々な場面において御支援を受けました。ここに深く感謝申し上げます。最後になりましたが、計画マネジメント論研究室の諸兄・諸先輩には、日頃から親身に相談に乗って頂き適切なアドバイス、温かい励ましの言葉を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

付録 A Nested Logit モデルを用いた市場均衡の分析

第 3.2 節により、ライドシェアリングの市場を行い、第 3.3 節により、各交通手段から得られる効用の定式化を行った。第 3.4 節においては、個人の選好の分布を一様分布と仮定し、各交通手段の利用人数と効用の関係を定式化した。

本章では、各交通手段の利用人数と効用の関係を定式化する際に、Nested Logit モデルを用いた場合について考える。Nested Logit モデルを用いた場合についても一様分布を用いた場合と同様の分析が可能であるが、その分布形の違いにより得られる市場均衡の結果は違いが生じる場合がある。本章ではその違いについて記述する。

A.1 個人の行動モデル

第 3.3 節により、各交通手段から得られる効用および選好の定式化を行った。ここで、個人の選好が $\varepsilon_{\sigma,i}$ 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しよう。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。

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

$$S_2 = \frac{1}{\mu_2} \ln (\exp [\mu_2 u_D] + \exp [\mu_2 u_G]) \quad (\text{A.2})$$

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。

$$n_1 = N \frac{\exp[\mu S_1]}{\exp[\mu S_1] + \exp[\mu S_2]} \quad (\text{A.3})$$

$$n_2 = N \frac{\exp[\mu S_2]}{\exp[\mu S_1] + \exp[\mu S_2]} \quad (\text{A.4})$$

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。

$$n_P = n_1 \frac{\exp[\mu_1 u_P]}{\exp[\mu_1 u_P] + \exp[\mu_1 u_U]} \quad (\text{A.5})$$

$$n_U = n_1 \frac{\exp[\mu_1 u_U]}{\exp[\mu_1 u_P] + \exp[\mu_1 u_U]} \quad (\text{A.6})$$

$$n_D = n_2 \frac{\exp[\mu_2 u_D]}{\exp[\mu_2 u_D] + \exp[\mu_2 u_G]} \quad (\text{A.7})$$

$$n_G = n_2 \frac{\exp[\mu_2 u_G]}{\exp[\mu_2 u_D] + \exp[\mu_2 u_G]} \quad (\text{A.8})$$

ライドシェアリングの市場均衡は式 (3.8) 及び式 (A.1)～(A.8) で決定される。

A.2 市場環境と市場構造の関係

A.2.1 均衡解

数値計算を行うにあたって、各パラメータを $N = 10000$, $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.0005$, $v = 40.0$, $\gamma = 1.5$, $p = 20.0$, $k = 3.0$, $c_P = 30.0$, $\mu = \mu_1 = \mu_2 = 0.15$ とする。(以下、Case A と呼ぶ。)

式 (3.8), (3.14), (3.17) 及び、式 (A.1)～(A.8) で決定される。表 A.1 に、Nested Logit モデルを用いた場合の均衡解を示す。また、図 A.1 に選好に対する各交通手段選択の分布を示す。

表 A.1 Case A の均衡解

	n_σ	u_σ
公共交通 P	2086.747	10.00
ユーザー U	2889.483	12.17
ドライバー D	2937.024	12.28
自家用車 G	2086.747	10.00

	h	l_σ	m
ユーザー U	2243.048	646.434	224.305
ドライバー D	2243.048	693.976	224.305

第 A.2.2 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 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、市場参加者の有限性が市場均衡にどのように影響を与えているかを分析する。

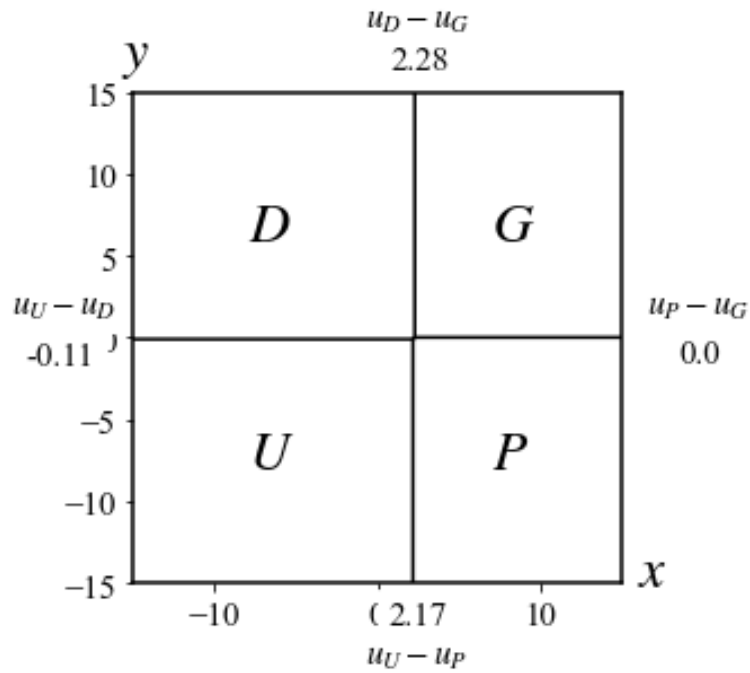


図-A.1 選好に対する各交通手段選択の分布 (Case A)

A.2.2 都市の人数と市場構造

本節では、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。Case A での設定から N が変化した場合について考える。(以下、Case B 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-A.2 に、都市の人数 N が変化した際に、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。

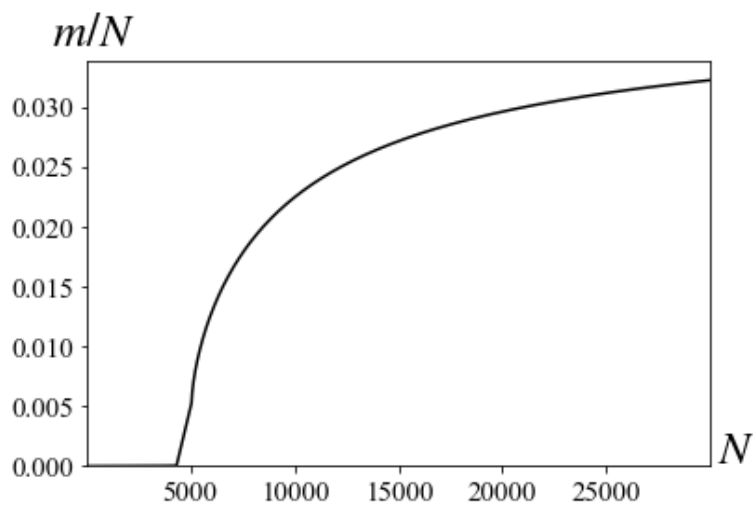


図-A.2 都市の人数とマッチング割合の関係

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-A.3 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-A.4 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。

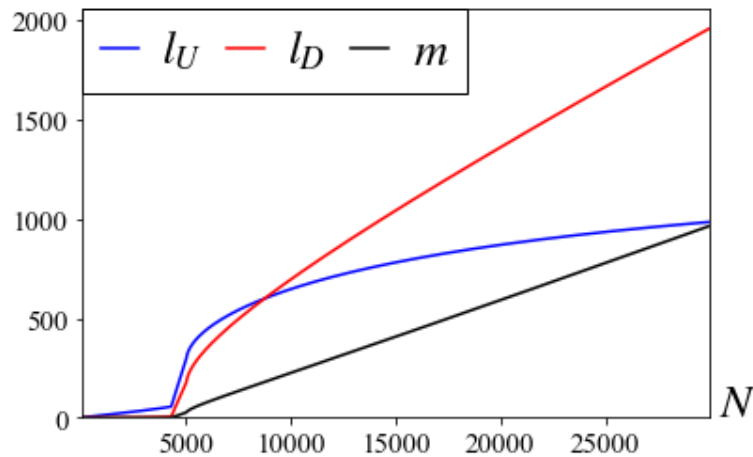


図-A.3 都市の人数とマッチング数、探索人数との関係

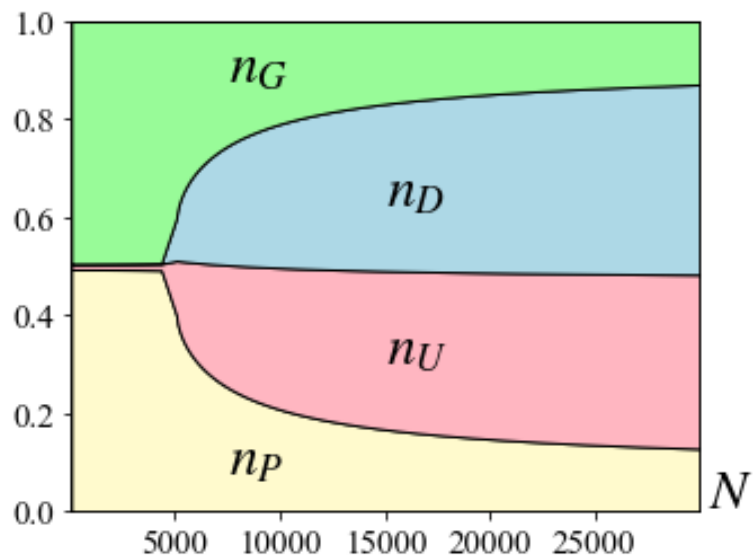


図-A.4 都市の人数と各交通手段の選択人数の割合の関係

図-5.5 に示した一様分布の際の結果 (Case 4) と同様に、Case B においてもマッチングの規模の経済性の効果が市場に働くことで市場規模が大きい場合には市場が形成されることが分かった。一方で、図-5.5 と 図-A.4 比較した場合の違いは、市場規模が小さい場合に現れる。Case 4 の場合には、ライドシェアリング市場には誰も参加者が現れなかつ

たのに対して、Case Bにおいてはごくわずかではあるが市場参加者が現れている。

A.2.3 移動頻度と市場構造

図-A.5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-A.6では、 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。

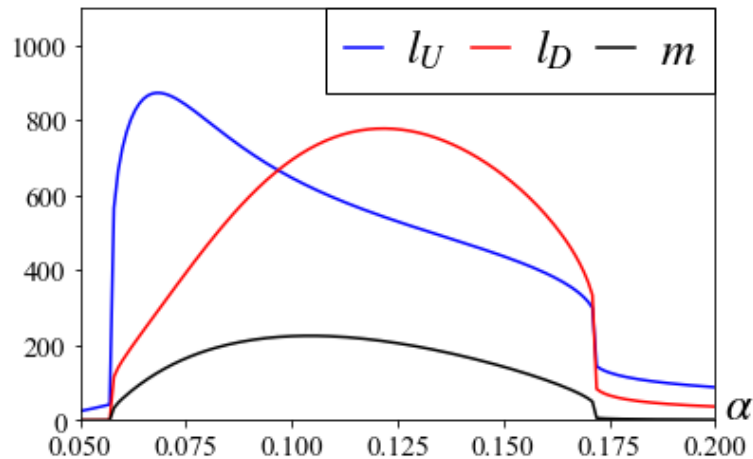


図-A.5 移動頻度とマッチング数、探索人数との関係

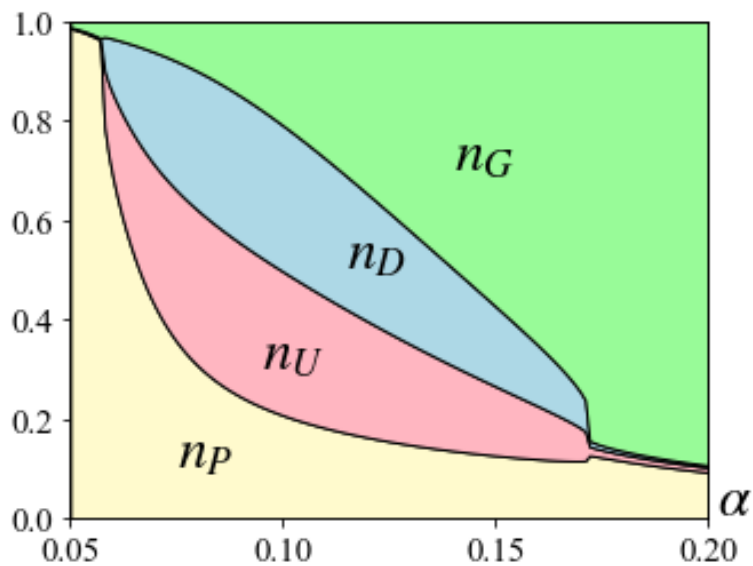


図-A.6 移動頻度と各交通手段の選択人数の割合の関係

図-5.7に示した一様分布の際の結果（Case 5）と同様に、Case Cにおいても似たような結果が現れることが分かった。一方で、移動頻度が大きすぎる、または小さすぎる場合において、Case 5ではライドシェアリング市場には誰も参加者が現れなかったのに対して、Case Cにおいてはごくわずかではあるが市場参加者が現れている。

これらの結果は、一様分布を仮定した場合と同様の傾向を示している一方で、ライドシェアリング市場の双方の参加者がいないという端点解が発生していないことが読み取れる。このような違いが起こる理由は、ドライバーとユーザーの効用関数のとれる値が有限であることに對し、Nested Logit モデルの選好の分布で用いた一般化極値分布の範囲が無限であることに原因がある。このような効用関数と選好を仮定した場合には、ドライバーが一人も市場に参加していないにもかかわらずそのデメリットを上回る選好をもつ個人の存在により、市場に参加者があらわれる。逆の場合もまた同様である。その結果、市場には双方の参加者があらわれマッチングが実現する。しかしながら、マッチング相手が誰もいないにもかかわらず市場に参加するという行動が現実には起こるとは考え難い。このような理由から、本研究では分布範囲が有限である一様分布を用いて各種の分析を行っている。