

車両に対する自動交渉による駐車場割当手法の提案

徳田 渉^{1,a)} Miguel A. Lopez-Carmona^{2,b)} 金森 亮^{3,c)} 伊藤 孝行^{1,d)}

概要：ドライバーは目的地付近で車両を駐車するため、第一希望の駐車場から順に駐車可能であるかを確認する。ドライバーは駐車場関連の情報提供をもとに駐車場を選択することが可能であるが、数分後に駐車場へ到着した際には駐車場がすでに満車になっている場合があり、うろつき運転が問題となっている。また、世界各国の大都市で駐車場の空きを探すための移動時間の浪費が問題となっており、多くの車両がうろつき運転を行うことにより混雑が発生することが示されている。そこで、駐車場情報と車両情報をもとに駐車場の混雑状況を予測し、駐車場と車両との間で駐車場の利用に対する交渉を行う。交渉により各車両は目的地に最も近い駐車場など、選好に適した駐車場に割り当てられる。また、エージェントを用いたシミュレーションにより、車両の総所要時間の評価を行う。

1. はじめに

本研究では駐車場予約システムの導入を想定し、事前に駐車場管理者とドライバーとの間で駐車場の利用権に対して交渉を行うことにより、利用駐車場を割当てるメカニズムを提案する。

本研究で想定する状況では、ドライバーは目的地へ向かい車両を駐車するための駐車場を探索する。ドライバーは各駐車場の効用に基づいて駐車場を選択し、第一希望の駐車場から順に駐車可能であるかを確認する。しかし、選択した駐車場へ到着した際に、駐車場がすでに満車になっている場合がある。ドライバーが再び別の駐車場を探索しようとする、選択した駐車場へ向かう時間を浪費することになる。世界各国の大都市で駐車場の空きを探すための移動時間の浪費が問題となっており、多くの車両がうろつき運転を行うことにより混雑が発生することが示されている [1]。近年では、ドライバーは事前に駐車場に関する情報を情報提供により入手し、情報をもとに駐車場を選択することが可能となっている [2]。しかし、駐車場のスペースに対する需要が高い場合、複数の車両が同じスペースを奪い合うことになる可能性が高い [3]。先に駐車場を奪われた車両は、別の駐車場を向かうために移動に時間を消費する

こととなり、駐車場に関する情報提供では混雑を緩和を行うことはできない。

そこで本研究では、駐車場の空き状況やドライバーの目的地などの情報をもとに駐車場の混雑状況を予測し、駐車場管理者とドライバーとの間で駐車場の利用に対して交渉を行うことで混雑の緩和を目指す。駐車場管理者とドライバーは、それぞれ駐車場管理エージェントと車両エージェントにより表現される。駐車場管理エージェントは、自身が管理する駐車場で将来混雑が発生すると判断したとき、車両エージェントに対して別の駐車場を目指すよう交渉を行う。車両エージェントは独自の選好を持っており、駐車場管理エージェントの代替案である駐車場に対して自身の効用に基づき評価を行う。交渉により各ドライバーは自身の選好に適した駐車場を割り当てられる。交渉機構の混雑緩和に対する影響を検証するため、シミュレーションを用いて車両の総所要時間に関して評価を行う。

本論文では、2章で駐車場の割当に対する交渉の関連研究について示し、3章でシミュレーションのための設定環境について示し、4章で本研究で提案する自動交渉に基づく駐車場の利用割当メカニズムについて説明する。5章でシミュレーション実験について示し、6章で本研究のまとめと今後の課題について説明する。

2. 先行研究

Di Nocera ら [4] は、ドライバーの希望だけではなく都市のニーズも考慮し、社会的余剰を最大化することを目標としている。本研究と同様にマルチエージェントの技術を用いており、車両と駐車場管理者をそれぞれエージェント

¹ 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology
² University of Alcalá
³ 名古屋大学
Nagoya University
a) tokuda.sho@itolab.nitech.ac.jp
b) miguelangel.lopez@uah.es
c) kanamori.ryo@nagoya-u.jp
d) ito.takayuki@nitech.ac.jp

により表現している．多属性効用理論に基づき，駐車場管理エージェントと車両エージェントの効用関数を決定し，エージェント同士で駐車場の割当に関して交渉を行っている．駐車場管理エージェントは複数の駐車場の中から自身の効用に基づいて駐車場を選択し，車両エージェントに対して選択した駐車場へ駐車するように交渉を始める．車両エージェントは，駐車場管理エージェントに提案された駐車場を自身の効用に基づいて評価を行い，承諾または拒否を決定する．Di Nocera らは，ユーザの要求に合わせて自動的に駐車場を選択することができる Web アプリケーションを構築し，交渉により社会的余剰を改善することができることを示した．

また，Chou ら [5] は，駐車場管理者とドライバーのお互いの需要と供給を考慮し，効果的かつ効率的な駐車場の割当を行っている．駐車場の探索，駐車料金の交渉，駐車場の予約，および駐車場から目的地と現在地点から駐車場までの最適な経路の導出のため，エージェントを用いたシステムを構築している．ドライバーが現在地と目的地を入力すると，車両エージェントは駐車料金、現在地から駐車場の距離，および駐車場から目的地の距離、駐車場の予約方針を考慮し，各駐車場管理者エージェントに対して交渉を行い駐車場を導出する．そして，現在地から導出された駐車場までの最短経路が計算され，ドライバーに提示される．

3. 自動交渉に基づく駐車場割当

3.1 ドライバーと駐車場管理者との間の情報共有

駐車場管理者がドライバーに対して交渉を行い，ドライバーが提示された駐車場を自身の選好をもとに評価するためには，提示される駐車場の情報をドライバーが把握できなければならない．また，駐車場の将来の混雑状況を予測するために，駐車場へ向かう全ドライバーの情報が必要となる．本研究では，ドライバーと駐車場の情報はデータセンターにより管理されていると想定する．

ドライバーは独自の目的地，駐車時間，および駐車場の許容範囲という情報を持っており，目的地から自身の選好に従って駐車場を選択し駐車する．駐車場の許容範囲とは，駐車を許容する目的地との間の距離である．各ドライバーは出発地から出発する際に，自分の持っている情報をデータセンターへ送信する．データセンターは車両から受信した情報をもとに最適な駐車場を選択し，車両へ最短経路を計算しドライバーへ提示する．

また，駐車場管理者は 1 カ所の駐車場を管理しており，駐車場の駐車料金と駐車可能台数という情報を持っている．新たに車両が駐車した場合など，駐車場の情報が更新された際には，駐車場管理者は駐車場の情報をデータセンターへ送信する．

データセンターは，収集した各駐車場の情報と各ドライバーの情報を，要求に応じて駐車場管理者やドライバーに

提供する．しかし，ドライバーの駐車場探索時における選好に適した駐車場の検索と駐車場までの最短経路の提供，駐車場の割当に対する交渉時における情報提供以外は，駐車場管理者とドライバーには情報提供は行われぬものとする．

3.2 交渉アルゴリズム

本研究では，将来の駐車場の混雑状況を予測し，駐車場管理者とドライバーとの間で交渉を行うことで，混雑の緩和やドライバーの駐車場探索における浪費時間の削減を目指す．交渉を行う際のドライバー，駐車場管理者，およびデータセンターとの間の連携行動の全体像を図 1 に示す．ドライバーと駐車場管理者は，自分の持っている情報に変更があった場合，データセンターへ更新した情報を送信する．データセンターはドライバーの情報と駐車場管理者が管理する駐車場の情報を分析し，常に駐車場の将来の混雑状況を監視する．データセンターが監視する駐車場について，将来的に混雑してしまうと判断した場合は，データセンターは監視している駐車場の駐車場管理者に対して交渉を開始するように促すと同時に，管理する駐車場を目指しているドライバーの情報と他の駐車場の情報を提供する．データセンターから命令を受けた駐車場管理者は，情報をもとにドライバーに応じて代替の駐車場を決定し，ドライバーへ代替の駐車場を目指すよう提案する．提案を受けたドライバーは，提示された駐車場を自身の効用をもとに評価を行い，交渉に対して承諾または拒否を選択する．

データセンターが将来的に駐車場管理者が管理する駐車場の駐車可能台数がなくなると判断した場合，ドライバーと駐車場管理者との間で駐車場の利用に関して交渉が行われる．データセンターは条件 $s_i - n_i < 0$ を満たしている場合，駐車場管理者が管理している駐車場を目指しているドライバーに対して，駐車場管理者に別の駐車場を目指すよう交渉を行わせる． s_i は駐車場管理者 i が管理している駐車場の駐車可能台数， n_i は駐車場管理者 i が管理する駐

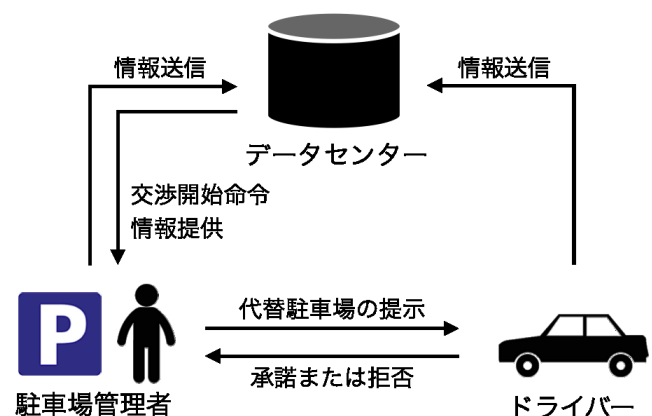


図 1 交渉を行う際のドライバー，駐車場管理者，およびデータセンターとの間の連携

車場を目指しているドライバーの人数を示す。

交渉を行う際に、駐車場管理者は交渉成立時に、交渉対象であるドライバーへ代替の駐車場を提示する必要がある。代替の駐車場を決定する際には、データセンターの交渉対象であるドライバーの情報をもとに、駐車場管理者が代替の駐車場を選択する。ドライバーが一度訪れたことのある駐車場とドライバーが持つ駐車場の許容範囲から外れている駐車場は、代替の駐車場の候補から除外される。そして、候補中で最もドライバーの目的地との距離が近い駐車場が代替として選択される。代替となる駐車場の候補がない場合は交渉は行われない。

交渉時には多項ロジットモデル [6] に基づいて各ドライバーの駐車場に対する効用を考慮する。本来目指していた駐車場と、駐車場管理者によって提示された代替の駐車場を、ドライバーの効用に基づいて評価し、ドライバーが選択しうる確率を導出する。駐車場管理者がドライバーに対して交渉を行った際に、交渉が成立する確率を式 (1) に示す。

$$P_{i,j} = \frac{\exp(U_{k,j})}{\exp(U_{k,j}) + \exp(U_{i,j})} \quad (1)$$

式 (1) の $P_{i,j}$ は駐車場管理者 i が管理する駐車場とドライバー j との交渉が成立する確率を示す。また、 $U_{i,j}$ と $U_{k,j}$ はそれぞれドライバー j の駐車場管理者 i が管理する駐車場に対する効用関数と代替の駐車場として選択された駐車場管理者 k が管理する駐車場に対する効用関数を示す。

ドライバーの駐車場に対する効用は、多属性効用理論 [7] により表現する。ドライバー j の駐車場管理者 i が管理する駐車場に対する効用を、 $U_{i,j} = w_1 u_1^{i,j} + w_2 u_2^{i,j} + \dots + w_n u_n^{i,j}$ のように示す。 w_k は属性 k の重み、 $u_k^{i,j}$ はドライバー j の駐車場管理者 i が管理する駐車場の属性 k に対する効用値を示す。ただし、属性の重みは $\sum_k w_k = 1$ を常に満たす。

原則として交渉は同じドライバーに対して行われない。つまり、一度ドライバーに拒否された駐車場管理者は、再び同じドライバーに交渉を行うことはない。

4. シミュレーション

4.1 想定するエージェント

本研究では、マルチエージェント技術を用いたシミュレーションにより、交渉機構による混雑緩和に対する効果を評価する。駐車場管理者がドライバーに対して駐車場の割当に関する交渉を行い、ドライバーが交渉対象となる駐車場を評価し行動するという一連の行動を、各エージェントが自律的に代替して行動する。ドライバーと駐車場管理者をそれぞれ車両エージェントと駐車場エージェントとする。また、駐車場の空き状況やドライバーの目的地などの情報をもとに交渉を行うため、ドライバーと駐車場管理者の間で情報の共有が必要となる。本研究においては、ドライバーと駐車場管理者の間の情報共有はデータセンターが

行っていると仮定する。そこで、データセンターを情報管理エージェントとする。それぞれのエージェントの詳細な行動や役割を以下に示す。

【車両エージェント】

車両エージェントは、独自に出発地、目的地、駐車場の許容範囲、および駐車時間を持つ。車両エージェントは自身の出発地から、事前に選択した駐車場を目指し、一定時間駐車を行い、目的地へ到達することを目指す。本研究では、事前に選択する駐車場として、車両エージェントに目的地から最も近い駐車場を割り当てる。ドライバーが駐車場へ到達した際に、目的の駐車場が混雑していた場合、ドライバーは駐車場付近で待機する行動、または別の駐車場へ向かう行動を行うと想定する。

ドライバーが駐車場付近で待機する場合、駐車場に空きが発生するまで車両エージェントは駐車場付近で停止する。他の車両エージェントが駐車し終わり駐車場に空きが発生した場合、車両エージェントは即座に駐車を行う。

ドライバーが別の駐車場へ向かう場合、目的の駐車場の代替としてドライバーの目的地から最も距離が近く、空きが存在する駐車場が車両エージェントへ割り当てられる。また、代替の駐車場の割当を行う際に、割当対象となる車両エージェントが一度訪れた駐車場は割当の候補から除外される。目的の駐車場を変更した車両エージェントは、現在地から駐車場までの経路と駐車場から目的地までの経路をそれぞれ探索する。経路探索は経路の所要時間をコストとして設定した上で行われ、最短経路が導出される。

駐車場エージェントから交渉を受け、代替となる駐車場を提示された場合は、自身の効用をもとに駐車場を評価し承諾または拒否を行う。評価を行う際には式 (1) を用いる。車両エージェントが承諾を行う場合は、現在地から代替の駐車場までの経路と代替の駐車場から目的地までの経路をそれぞれ探索する。ドライバーが混雑を発見し別の駐車場を探索する場合と同じように、経路コストは経路の所要時間であり、最短経路を導出する。車両エージェントが拒否を行う場合は、本来の目的地を目指し続ける。

車両エージェントは出発時に、情報管理エージェントに自分の情報を送信する。また、別の駐車場へ向かう際と交渉を承諾した際には、車両エージェントは自分が目指す駐車場を情報管理エージェントに知らせる。

【駐車場エージェント】

駐車場エージェントは、独自に駐車料金と駐車台数を持つ。駐車場エージェントは1カ所の駐車場の情報を管理しており、車両エージェントが到着した際に駐車可能台数を更新し、駐車している車両エージェントの駐車時間の記録を行う。駐車場エージェントが管理する駐車場の駐車可能台数が0である場合、車両エージェントが駐車場へ駐車す

ることを禁止する。

情報管理エージェントにより、将来的に駐車場エージェントが管理する駐車場が混雑すると予測された場合、情報管理エージェントの車両エージェントに関する情報をもとに、自身が管理する駐車場を目指している全車両エージェントに対して、別の駐車場を目指すよう交渉を行う。交渉対象を決定する際に、駐車場の許容範囲が目的地と駐車場の距離より小さい車両エージェントは、交渉対象として扱わない。また、駐車場エージェントは各車両エージェントの情報を応じて、代替の駐車場を決定する。本研究では、駐車場エージェントは自分が管理する駐車場以外の駐車場の中で、車両エージェントの目的地と最も距離が近い駐車場を代替の駐車場として決定する。

駐車場エージェントは自身が管理する駐車場の情報を更新した際に、情報管理エージェントに情報を送信する。各駐車場エージェントは車両エージェントが到着した際に自分の駐車可能台数を更新する。また、駐車している車両エージェントの駐車時間の記録を行う。

【情報管理エージェント】

情報管理エージェントは、車両エージェントと駐車場エージェントの情報の収集、提供、および管理を行う。

情報管理エージェントは駐車場エージェントが将来混雑するかどうかを常に監視する。将来の混雑を評価する際には、3.2節で説明したように、条件 $s_i - n_i < 0$ を満たしているかを確認する。もし条件を満たしていれば、駐車場エージェントに対して交渉を行うように促し、現在駐車場へ向かっている車両エージェントの情報を提供する。

4.2 シミュレータ

各エージェントの動態を再現するためのシミュレーターとして SUMO を用いる。SUMO (Simulation of Urban MObility) [8] は、2001 年からドイツ航空宇宙センターにより開発が行われ、オープンソースとして公開されているミクロ交通シミュレータである。SUMO では、走行車両、交通機関、および歩行者はそれぞれ 1 つのオブジェクトとしてモデル化される。各オブジェクトの離散的な動態を連続空間上に表現することが可能であり、各オブジェクトが引き起こす相互作用に影響する交通状況を予測または推定することができる。

また、SUMO は C++ により実装されているため、高速な処理能力を備えており、交通状況の予測または推定の結果をリアルタイムに可視化することができる。さらに、TraCI という TCP/IP 通信を利用した Python のライブラリを用いて、シミュレーション実行中に、サーバである SUMO に対して命令を与えることができる。命令を受けたサーバは、シミュレーション内の任意のオブジェクトに対して変更を行う。

SUMO で用いるネットワークを独自のフォーマットで作成するため、オープンな地図プラットフォームである OpenStreetMap などからのネットワークデータの変換が可能である。

車両の動態を表現するモデルとして、Krauß [9] が提案した車両追従モデルを用いている。車両追従モデルは、任意の車両に対して、現在のシミュレーションステップの車両の速度や先行車両の速度と車間距離をもとに、対象の車両の次のステップの速度を決定するモデルである。

信号制御の施策、独自のアルゴリズムを用いた車両に対する経路割当、または日ごとの交通状況の評価などに SUMO を用いることができる。

5. 交渉機構の評価実験

5.1 実験設定

実験では交渉による車両の駐車場探索時間の変化について評価を行うため、交渉を導入した場合と導入しない場合における車両の総所要時間について比較を行う。

本実験で使用するネットワークを図 2 に示す。図 2 は OpenStreetMap から得られた名古屋市の都心部の地図データをもとに、SUMO によって構成されたネットワークである。ネットワーク中には駐車場が 12 カ所あり、それぞれの駐車場に対して駐車場エージェントが作成され割り当てられる。また、計 450 台の車両エージェントを 10 秒に 1 台の間隔で作成しネットワークに投入する。

各車両エージェントの出発地と目的地は、図 2 の起終点から同じ各出発地と目的地の組合せを持つ車両エージェントが 10 台となるようにランダムに選択される。また、車両エージェントに対して、以下の情報を割り当てる。

- 駐車場の許容範囲：200m, 400m, および 600m

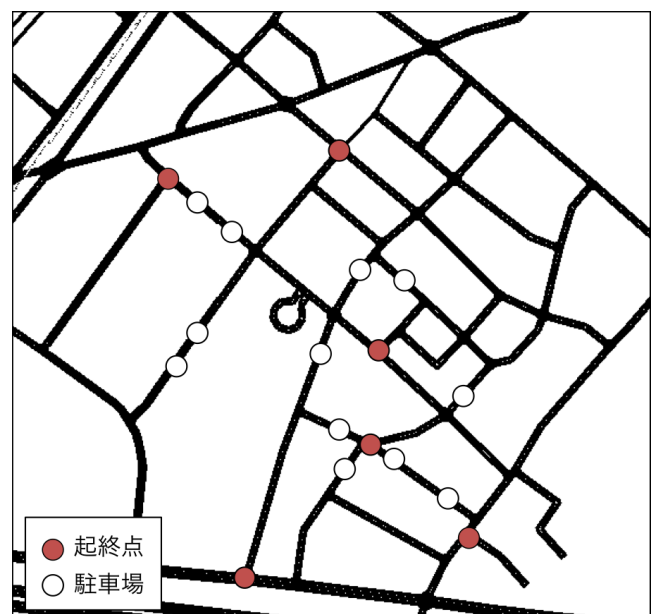


図 2 本実験で使用するネットワーク

表 1 車両エージェントの駐車場に対する効用関数のパラメータ [10]

説明変数	パラメータ	t 値
徒歩距離 (m)	-0.01875	-18.99
駐車料金 (円/時)	-0.02104	-21.75
満空情報 (空き = 1)	5.52917	17.93
空き台数 (台)	0.08191	5.81
待ち時間 (分)	-0.34511	-13.25

- 駐車時間: 10 分, 30 分, および 60 分

各車両エージェントの駐車場の許容範囲と駐車時間はそれぞれランダムで選択される。車両エージェントが駐車場に到達した際にすでに駐車場に空きが存在しないと判断した場合、車両エージェントは等確率で駐車場の前で待機する、または別の駐車場を目指す行動をとるとする。

また、各駐車場エージェントが管理する駐車場に対して、以下の情報を割り当てる。

- 駐車料金: 300 円/時, 400 円/時, または 500 円/時
- 駐車台数: 5 台または 10 台

各駐車場エージェントの駐車料金と駐車台数は、それぞれランダムで選択される。車両エージェントと駐車場エージェントはともに、各情報の組を持つエージェントが同数になるよう作成される。

さらに、任意の駐車場に対して各車両エージェントが持つ効用関数を式 (2) のように設定する。

$$U_{i,j} = w_1 u_1^{i,j} + w_2 u_2^{i,j} + w_3 u_3^{i,j} + w_4 u_4^{i,j} + w_5 u_5^{i,j} \quad (2)$$

式 (2) の $u_n^{i,j}$ ($n = 1, 2, 3, 4, 5$) は車両エージェント j が持つ、駐車場エージェント i が管理する駐車場に対する効用関数の説明変数である。 $u_1^{i,j}$ は駐車場エージェント i が管理する駐車場と車両エージェント j の目的地との間の距離、 $u_2^{i,j}$ は駐車場エージェント i が管理する駐車場の駐車料金、 $u_3^{i,j}$ は駐車場エージェント i が管理する駐車場の満空情報 (駐車場に空きがある場合は 1, 空きがない場合は 0)、 $u_4^{i,j}$ は駐車場エージェント i が管理する駐車場の空き台数、 $u_5^{i,j}$ は駐車場エージェント i が管理する駐車場の待ち時間を示す。また、 w_n ($n = 1, 2, 3, 4, 5$) はパラメータであり、本実験では表 1 [10] のように、 $w_1 = -0.01875$, $w_2 = -0.02104$, $w_3 = 5.52917$, $w_4 = 0.08191$, および $w_5 = -0.34511$ とする。

5.2 実験結果

本実験では、車両と駐車場の間の交渉の有無により場合分けを行い、各場合について 50 回シミュレーションを行い、各車両の所要時間の合計値の平均値と標準偏差についてそれぞれの結果を比較する。交渉の有無に関する比較結果を図 3 に示す。図 3 の縦軸は総所要時間を示し、グラフの左側は交渉を行った場合の結果、右側は交渉を行わなかった場合の結果を表す。また、両結果の平均値と分散値を表 2 に示す。表 2 の Case が交渉の導入の有無、平均値

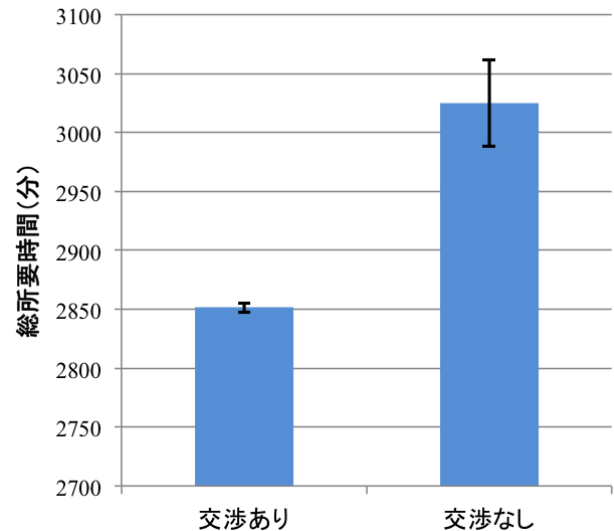


図 3 交渉の有無による車両の総所要時間の平均値と標準偏差の比較

表 2 交渉の有無による車両の総所要時間の平均値と標準偏差

Case	平均 (分)	標準偏差 (分)
交渉あり	2851.43	3.95
交渉なし	3025.06	36.66

が総所要時間の平均値、標準偏差が総所要時間の標準偏差を示す。比較の結果、両結果の総所要時間の平均値の差は約 170 分であった。また、総所要時間の標準偏差の差は約 30 分であった。実験結果から、各駐車場管理者が交渉を行うことにより、総所要時間を削減できるとわかった。また、交渉を導入しない場合と比較して、交渉を導入した場合は標準偏差が小さくなり、交渉導入による総所要時間の削減効果にばらつきが少ないことがわかった。よって、安定的に各車両の駐車場探索時間の削減を実現できることがわかった。

次に、シミュレーションごとの各車両の総所要時間の平均値について分析する。各車両の総所要時間の平均値のヒストグラムを図 4 に示す。図 4 のヒストグラムの階級が交渉機構の導入の有無による総所要時間の平均値の差であり、縦軸は階級ごとの車両台数、横軸はヒストグラムの階級を示す。また、図 4 のヒストグラムにおける階級と階級ごとの車両台数について、表 3 に示す。表 3 の総所要時間の差が図 4 のヒストグラムの階級、車両台数が階級ごとの車両台数を示す。各車両の総所要時間のヒストグラムの分析の結果、総所要時間が減少した車両が 262 台、総所要時間が増加した車両が 188 台であった。よって、交渉を導入することにより、総所要時間が減少する車両が増加することがわかった。

実験結果から、交渉による駐車場の利用割当メカニズムの導入により、駐車場の利用割当を効率良く行うことができるとわかった。また、各車両が駐車場を探索する時間の削減することが可能であり、交通全体の混雑を解消するこ

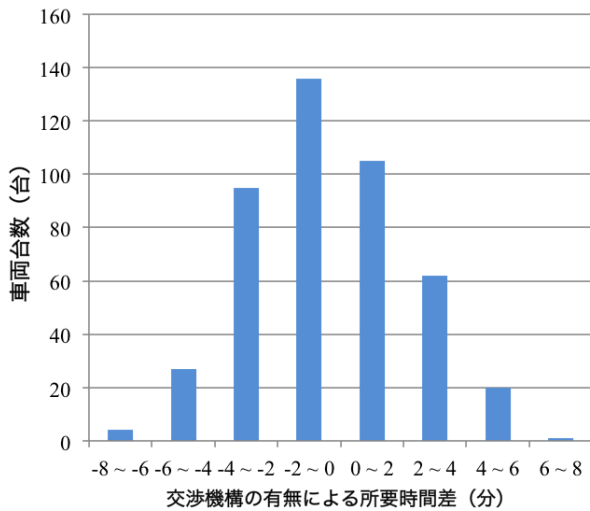


図 4 交渉の有無による車両の総所要時間差の分布

表 3 交渉の有無による車両の総所要時間の差と車両台数

総所要時間の差 (分)	車両台数 (台)
-8 ~ -6	4
-6 ~ -4	27
-4 ~ -2	95
-2 ~ 0	136
0 ~ 2	105
2 ~ 4	62
4 ~ 6	20
6 ~ 8	1

とができるようになった。

6. おわりに

ドライバーが駐車場の空きを探索する行動により混雑が発生しており、近年では駐車場の空き情報を手に入れることができるようになってきているが、駐車場への需要が高い場合はドライバー同士で駐車場の空きを奪い合う可能性が高い。

本研究では、駐車場と車両間の交渉に基づく駐車場の利用割当メカニズムを提案し、駐車場に対して駐車場管理者が交渉を行うことにより、駐車場の空きスペースを無駄なく利用することを目的とした。ドライバーと駐車場の情報をもとにデータセンターが、将来的な駐車場の混雑状況を分析し監視する。駐車場が将来混雑すると判断された際には、データセンターが駐車場管理者に対して、駐車場を目指すドライバーに対して別の駐車場を目指すよう交渉を行う。命令を受けた駐車場管理者はドライバーに代替の駐車場を提案し、ドライバーは自身の選好をもとに代替の駐車場を評価し交渉を受けるかどうか判断する。

シミュレーションにより自動交渉による駐車場の利用割当機構の導入効果を検証するため、各車両の総所要時間について評価を行った結果、交渉により駐車場の利用割当を

効率良く行うことが可能であるとわかった。

本研究では、単純に駐車場を目指す車両台数と駐車場の空き台数によって将来の混雑を予測したが、ドライバーが駐車場へ到着する時間や、ドライバーの駐車時間を考慮することが今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、NICTの「ソーシャル・ビッグデータ活用・基盤技術の研究開発」プログラムと、JST RISTEXの「ITが可能にする新しい社会サービスのデザイン」プログラムにより助成を受けている。

参考文献

- [1] Polycarpou, E., Lambrinos, L., and Protopapadakis, E.: *Smart parking solutions for urban areas*, International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM), pp.1-6 (2013).
- [2] Meir, R., Chen, Y., and Feldman, M.: *Efficient parking allocation as online bipartite matching with posted prices*, In Proceedings of the 2013 International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS), pp.303-310 (2013).
- [3] Srikanth, S.V., Paramod P.J., Dileep K.P., Tapas, S., Patil, M.U., and Sarat, C.B.N.: *Design and implementation of a prototype smart parking (SPARK) system using wireless sensor networks*, International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, pp.401-406 (2009).
- [4] Di Nocera, D., Di Napoli, C., and Rossi, S.: *A Social-Aware Smart Parking Application*, In Proceedings of the 15th Workshop "From Objects to Agents", vol.1260 (2014).
- [5] Chou, S., Lin, W., and Li, C.: *Dynamic parking negotiation and guidance using an Agent-based platform*, Expert Systems with Applications: An International Journal, vol.35, no.3, pp.805-817 (2008).
- [6] Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R.: *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts (1985).
- [7] Ulvila, J.W., Gaffney, J.E., and Chinnis Jr, J.O.: *Software metrics decision support system*, In Proceedings of the 5th international symposium on software metrics, pp.184-192 (1998).
- [8] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., and Bieker, L.: *Recent development and applications of SUMO - Simulation of Urban MObility*, International Journal On Advances in Systems and Measurements 5(3&4), pp.128-138 (2012).
- [9] Krauß, S.: *Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics*, Ph.D. thesis, (1998).
- [10] 朝倉康夫, 柏谷増男, 坂本志郎: ネットワーク上での駐車場選択シミュレーションモデル, 土木計画学研究・論文集, no.12, pp.621-631 (1995).