

# イベント参加者のためのライドシェアサービスの支払い料金配分設計案\*

## Design of Fare Distributions for Ride-Sharing Services for Event Participants

堀川 健一郎  
Kenichiro HORIKAWA

南 翔太  
Shota MINAMI

佐藤 啓太  
Keita SATO

渡邊 英里  
Eri WATANABE

吉田 岳人  
Taketo YOSHIDA

矢野 正基  
Masaki YANO

繁野 麻衣子  
Maiko SHIGENO

This paper addresses problems of equitable fare distribution in taxi ride-sharing. In recent years, ride-sharing has been gathering attention because it relieves traffic congestion and reduces environmental load. In taxi ride-sharing, what a customer perceives to be an equitable fare distribution is heavily influenced by their sense of values. For successful ride-sharing, we should design a fare distribution method that is widely acceptable from the viewpoints of “practical rationality”, “theoretical rationality”, and “the sense of values of the customer”. We compared six methods of fare distribution, including the proportional fare distribution method. We analyzed the six distribution methods on the basis of cooperative game theory. From the computational results based on real data, we found proportional distribution of the fare to be the superior method.

*Key words :*

*Fare distribution, Cooperation game, Ride sharing*

### 1. はじめに

近年、総務省が経済新成長戦略の一環として、「シェアリング・エコノミー」の推進を掲げていることに挙げられるように、「所有」から「利用」への波が押し寄せている。その「所有」から「利用」へのシフトに合わせた新たな交通サービスの1つとして、タクシーのライドシェア（相乗り）が注目されている。タクシーのライドシェアは、現在、過疎地などで限定的にしか認められていないが、外国人観光客の増加や東京オリンピック・パラリンピックを念頭に、普及に向けた検討が進められている。

ライドシェアの活用の1つとして、イベント開催に

おける参加者の送迎が考えられる。同一のイベントに参加する顧客がライドシェアすることで、イベント前から時間と空間を共有できるため、一般的な見ず知らず同士のライドシェアよりも顧客にとっては乗車料金のほかにもシェアすることによる価値があると思われる。しかし、実際にタクシーのライドシェアを実現するためには、登録顧客の中で適切な人をマッチングして、最適なルートで顧客を目的地に運ぶ必要がある。さらに、実現においては、登録顧客のマッチングだけでなく、顧客の支払い料金についても検討する必要がある。料金の支払いは、顧客のライドシェアサービスに対する価値観とも大きく関わるため、その妥当性について多角的に検討しなければならない。

\*サービス学会 第6回 国内大会（2018年）発表前刷より転載

本研究では共通の目的がある顧客に対するタクシーのライドシェアを想定し、支払い料金の配分方法について検討する。ライドシェアする顧客の組やルートは移動距離の点から最適なものを選択し、そのルートでタクシー移動したときの料金を配分する。配分方法には、「簡便性」や「理解容易性」などの「実用的合理性」と「論理的整合性」や「解釈妥当性」などの「理論的合理性」という二つの性質が要求される(岡田1991)。そこで、本研究では、ゲーム理論の協力ゲーム理論に基づいて「理論的合理性」について検討するとともに、あるイベントに参加するためにタクシーのライドシェアサービスを実際に使った顧客へのアンケート調査から明らかになった料金配分についての顧客の価値観との比較を行う。4地域を対象にした実データに基づいて、「実用的合理性」、「理論的合理性」、「顧客の価値観との相違」という三つの観点から6通りの配分方法について比較検討するとともに、今後普及するライドシェアサービスで実装可能な料金配分方法を提案することを本研究の目的とする。

## 2. ライドシェアにおける費用配分に関する先行研究

ライドシェアへの注目に伴い、ライドシェアに関する研究が盛んに行われている(Agatz et al. (2012), Furuhata et al. (2013) など)。ライドシェアに関する研究においては、乗客のマッチングやルートの最適化問題に注目が集まっており、移動距離、移動時間や利用顧客数の観点から顧客とドライバーの最適なマッチングを求め、ルートを決める手法が研究されている。マッチングやルート作成において、Cao et al. (2015)のように、費用の観点を導入して議論しているものもある。一方で、乗客の支払う乗車料金配分の問題は、乗客のマッチングやルートの最適化問題と比べ、研究が少ない(Furuhata et al. (2013), Gopalakrishnan et al. (2016))。しかし、乗客の支払う費用は、ライドシェアサービスの価値観に大きく影響することから、費用配分方法は慎重に検討する必要がある。

乗車料金配分の方法として、Agatz et al. (2011)は、走行距離に比例する配分方法を取り扱っており、

Geisberger et al. (2010)は、走行ルートの共通部分を乗合顧客間で均等に割り当てる方法を取り扱っている。Wolfson and Lin (2017)は最適なルートと公平なルートの差額を再配分する方法を提案している。また、ライドシェアリングに限らずに広く配送における費用配分も議論されている(Guajardo and Ronnqvist (2016))。日本においては、ライドシェアサービスの導入期にあることから、より顧客の価値観にあった費用配分方法を用いることがサービス普及の鍵となるといえる。顧客の価値観については、国によって異なることから、日本における利用者の価値観を明らかにすることが求められる。そこで、本研究では、日本でのライドシェアサービスの利用者から得たアンケートを基に顧客の価値観を明らかにするとともに、その価値観に基づいた費用配分法の評価を行う。

## 3. 想定するモデルと費用配分法

本研究では、共通の目的地をもつ顧客に対するライドシェアを想定する。登録顧客の中のシェアする人のマッチングとタクシーの走行ルートは、吉田ら(2017)などの方法で決定しているとし、各タクシーの支払い料金の配分を考える。タクシーに乗車した人がそのタクシーの料金を負担すると設定する。また、1台のタクシーへの乗車地点は3カ所として、乗車地1箇所につき、1人が乗車することを想定する。

本研究において使用する変数を設定する。乗車する順番を添え字  $i$  ( $=1,2,3$ ) を用いて表し、乗客  $i$  が直接目的地に向かった時の距離を  $d_i$ 、そのときの料金を  $c_i$  とする。さらに、乗客  $i$  を乗せた後、乗客  $j$  を乗せて目的地に向かった時の距離を  $d_{ij}$ 、料金を  $c_{ij}$  (ただし、 $i < j$ )、全ての乗車地点を経由して目的地に向かう際の距離を  $d_{123}$ 、料金を  $c_{123}$  とする。

### 3.1 簡便的費用配分法

#### 3.1.1 節約額均等配分法

節約額均等配分法は、相乗りすることで節約できる金額  $c_1+c_2+c_3-c_{123}$  を均等に配分する方法である。節約額均等配分法に基づく配分においては、乗客  $i$  の支払い料金は  $c_i - \frac{1}{3}(c_1+c_2+c_3-c_{123})$ 、で与えられる。

### 3.1.2 費用均等配分法

費用均等配分法は、費用分担を均等化する配分方法である。費用均等配分法に基づく配分においては、各乗客の支払い料金は  $\frac{1}{3} c_{123}$  で与えられる。

### 3.1.3 費用比例配分法

費用比例配分法は、乗客  $i$  の目的地までの距離に比例させて費用を分担する方法である。費用比例配分法に基づく配分においては、乗客  $i$  の支払い料金は、 $\frac{d_i}{d_1+d_2+d_3} c_{123}$  で与えられる。

## 3.2 ゲーム理論的費用配分法

ゲーム理論における協力ゲームの観点から、費用配分を紹介する。 $n$  人のプレイヤーの集合を  $N$  とする。ただし、各プレイヤーに割り振られている数字は、タクシーに乗車する順番を示す。本研究では、 $n = 3$  に設定している。 $N$  の部分集合を提携とよぶ。非空な提携  $S (\subseteq N)$  が獲得する利得を  $v(S)$  とする。特に、本研究においては、利得  $v$  は相乗りによる節約額を意味することから、 $(N, v)$  を節約額配分ゲームと呼ぶ。

プレイヤー全員が協力して相乗りを行う場合、優加法性が成り立つ必要がある。優加法性とは、相異なる二つの提携が一緒になって相乗りした方が、より節約できることを示している。

定義 1  $S \cap T = \emptyset$  である任意の提携  $S, T (\subseteq N)$  に対して  $v(S \cup T) \geq v(S) + v(T)$  を満たす特性関数  $v$  は、優加法性を満たすという。

また、各プレイヤーの利得を  $x_i$  とし、ベクトル  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  を利得ベクトルと呼ぶ。利得ベクトルが各プレイヤーの配分であるためには、以下の二つの条件を満たす必要がある。

定義 2 以下の条件を満たす  $x$  を配分と呼ぶ。

- (1)  $\sum_{i \in N} x_i = v(N)$ ,
- (2)  $x_i \geq v(\{i\}), \forall i \in N$

利得の配分方法について、コアという安定性を満たす利得ベクトルの集合が提案されている。安定性とは、いかなるプレイヤーと協力してもより多くの利得を得ることができないという意味であり、プレイヤー

全員が配分に対して異議を唱えない配分である (岸本 2015)。

定義 3 優加法性を満たすという条件下において、次の条件を満たす配分  $x$  の集合をコアと呼ぶ。

$$\text{非空な任意の } S (\subseteq N) \text{ に対して, } \sum_{i \in S} x_i \geq v(S).$$

コアは、存在しない場合や複数存在する場合があるという問題点がある。コアが存在しない場合には、コアによる配分は得られず、コアが複数存在する場合には、コアを用いるのみでは、配分問題の解決には不十分である。

### 3.2.1 仁による節約額配分法

コアの考え方を活用し、配分が一つに定まる解として仁がある。任意の提携  $S (\subseteq N)$  と配分  $x$  に対する提携  $S$  の不満  $e(S, x)$  を  $e(S, x) = v(S) - \sum_{i \in S} x_i$  として定義する。 $e(S, x)$  は提携  $S$  が持つ不満の量として解釈することができ、 $e(S, x) \leq 0$  が成り立つとき、配分  $x$  は提携  $S$  が不満を抱かない配分を意味する。定義 3 から任意の提携  $S$  で  $e(S, x) \leq 0$  のとき配分  $x$  はコアに属する。任意の配分  $x$  に関して、全体提携と空集合を除く各提携  $S$  の不満を降順に並べたベクトルを不満ベクトル  $\theta(x)$  とする。不満ベクトルに基づき、仁は以下のように定義される。

定義 4 任意の配分  $y$  に対して、辞書式順序で  $\theta(x) \leq \theta(y)$  を満たす配分  $x$  を仁という。

仁は全ての配分の中で定義に基づく不満の意味において、最大の不満を最小にする配分である。また、仁となる配分は、コアが非空である場合には、コアに含まれ、コアが複数存在する場合でも、必ず一つに定まるという望ましい性質をもつ。

### 3.2.2 シャープレイ値による節約額配分法

ゲーム理論の協力ゲームにおける代表的な配分方法の一つにシャープレイ値がある。シャープレイ値は、提携に対するプレイヤーの貢献度に基づいた配分を与える。任意のプレイヤー  $i (\in N)$  と提携  $S (\subseteq N \setminus \{i\})$  に対して、 $v(S \cup \{i\}) - v(S)$  をプレイヤー  $i$  の限界貢献

度という。限界貢献度は、プレイヤー  $i$  が提携に加わることによる得られる追加的な利得を意味する。シャーププレイ値は、限界貢献度の期待値として表され、以下のように定義される。

定義5 任意の提携  $S (\subseteq N)$  に対する  $S$  の要素数  $|S|$  を  $s$  とする。このとき、プレイヤー  $i$  のシャーププレイ値  $\phi_i(v)$  は次のように与えられる。

$$\phi_i(v) = \sum_{s \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{s!(n-s-1)!}{n!} (v(S \cup \{i\}) - v(S))$$

シャーププレイ値は、配分であることが保証されていないものの、優加法性を満たす場合には、配分となることが知られている。また、シャーププレイ値は以下の望ましい四つの性質を満たすことも知られている（船木 2004）。

- (1) 全体合理性： $\sum_{i \in N} \phi_i(v) = v(N)$
- (2) ナルプレイヤー公理：ナルプレイヤー（貢献度が0のプレイヤー） $i$  に対して、 $\phi_i(v) = 0$
- (3) 対称性公理：同じ提携値を与える対称なプレイヤー  $i$  と  $j$  に対して、 $\phi_i(v) = \phi_j(v)$
- (4) 加法性定理：任意のゲーム  $(N, v)(N, w)$  に対して、

$$\phi_i(v+w) = \phi_i(v) + \phi_i(w), \quad \forall i \in N$$

性質 (1) は、シャーププレイ値の与える解が配分となるための必要条件である。性質 (2) は、全く貢献していない貢献度が0のプレイヤーのシャーププレイ値は、0であるということを示している。性質 (3) は、同じように貢献しているプレイヤーのシャーププレイ値は、一致するということを示している。性質 (4) は、ある状況を分解し、その分解した状況に対するシャーププレイ値を求め足し合わせると、元の状況のシャーププレイ値に一致するという性質である（船木 2014）。

### 3.2.3 DEA ゲームによる費用配分

DEA ゲームとは、Nakabayashi, Tone (2003) によって考案された Data Envelopment Analysis (DEA) とゲーム理論における協力ゲームを組み合わせたアプローチであり、多基準型評価に基づく配分問題に対する解決策である。5章において言及する料金配分に関する顧客のアンケート結果より、利用者は、目的地まで

の距離が遠い人ほど高い料金が望ましく、遠回りをした距離が長い人ほど高い利得配分を得るべきであると考えていることが明らかになった。そのため、料金の決定には、「目的地までの距離」と「遠回りをした距離」の2項目を考慮する必要がある。しかし、一般に複数の評価項目に基づいて配分を決定する場合、評価項目間のウエイトを定める必要がある。ウエイトの取り方によって、評価値は大きく異なるため、評価項目間のウエイトの選択は評価値の決定に大きく影響を及ぼす。一方で、プレイヤーによって価値観や考え方は大きく異なり、プレイヤー全員が納得するウエイトを唯一つに決定することは極めて困難である。DEA ゲームは、そのような「固定ウエイト」から脱却して、DEA における「可変ウエイト」の考え方に基づいた客観的な価値基準の存在を前提としないアプローチである（中林, 刀根 2004）。それぞれのプレイヤーがそれぞれの利己的なウエイトを尊重し、ウエイトを選択する点が、DEA ゲームの特徴である。

評価項目値が低い方が望ましい  $m$  個の項目と高い方が望ましい  $s$  個の項目があるとき、 $n$  人のプレイヤーの費用配分率を決定する。低い方が望ましい評価項目のプレイヤー  $j$  の項目値を  $p_{ij}$  ( $i=1, \dots, m$ )、高い方が望ましい評価項目の項目値を  $q_{ij}$  ( $i=1, \dots, s$ ) とする。また、 $v_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) を  $p_i$ 、 $u_i$  ( $i=1, \dots, s$ ) を  $q_i$  に対するウエイトとしたとき、任意の提携  $S (\subseteq N)$  に関する DEA ゲームにおける特性関数値  $f(S)$  は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} f(S) = & \min \sum_{i=1}^m v_i \sum_{j \in S} p_{ij} - \sum_{i=1}^s u_i \sum_{j \in S} q_{ij} \\ \text{s.t.} & \sum_{i=1}^m v_i \left( \sum_{k=1}^n p_{ik} \right) - \sum_{i=1}^s u_i \left( \sum_{k=1}^n q_{ik} \right) = 1 \\ & \sum_{i=1}^m v_i p_{ik} - \sum_{i=1}^s u_i q_{ik} \geq 0 \quad (k=1, \dots, n) \\ & L_{ij} \leq \frac{v_i}{u_j} \leq U_{ij} \quad (i=1, \dots, m; j=1, \dots, s) \\ & v_i \geq 0 \quad (i=1, \dots, m) \\ & u_i \geq 0 \quad (i=1, \dots, s) \end{aligned}$$

式 (1) は、領域限定法による定式化である。領域限定法とは、評価項目のウエイトが0になることを防ぎ、ウエイト間に大きな偏りが生じないように制限する方法である。本研究においては、 $L_{ij}$  と  $U_{ij}$  の決定について

て、刀根 (1993) に述べられている次の値を採用する。

$$L_{ij} = \frac{\bar{p}_i}{\bar{q}_j} \cdot \frac{1}{M}, \quad U_{ij} = \frac{\bar{p}_i}{\bar{q}_j} \cdot M$$

ただし、 $\bar{p}_i, \bar{q}_j$  は各評価項目値の平均値であり、定められた  $M (>1)$  に基づいて、 $L_{ij}$  と  $U_{ij}$  を決定する。この  $L_{ij}$  と  $U_{ij}$  の決定に関する方法は、上田、中村 (2003) や高野、高橋、佐藤 (1995) などの研究においても利用されている。

この最小化問題によって得られた特性関数値  $f(S)$  は、提携  $S (\subseteq N)$  の主張する費用配分率を意味し、最適解  $v^*, u^*$  は提携  $S$  の主張するウエイトを意味する。つまり、任意の提携  $S (\subseteq N)$  について特性関数値を求めることは、各提携が費用配分率の最小化に対するウエイトの決定の合意を行うことを意味している。DEA ゲームでは、任意の提携  $S (\subseteq N)$  に対して (1) 式で得られた特性関数  $f$  に対して、シャープレイ値を計算し、各プレイヤーの費用配分率を決定する。

タクシー相乗り料金配分に関しては、アンケート結果より、目的地までの距離に基づいた評価値が低いほど、また、遠回りをした距離に基づいた評価値が高いほど料金配分が少なくなることが望ましいことがわかった。そこで、本研究では、低いほうが望ましい評価値  $p_{i1}$  に乗客  $i$  の目的地までの距離を、高いほうが望ましい評価値  $q_{i1}$  に遠回りをした距離を用いる。遠回りをした距離  $q_{i1}$  については、次のように定義する。

定義6 乗客  $i$  の遠回りをした距離  $q_{i1}$  を次のように定義する、

$$\begin{aligned} q_{11} &= d_{123} - d_1 \\ q_{12} &= d_{23} - d_2 \\ q_{13} &= 0 \end{aligned}$$

遠回りをした距離  $q_{i1}$  は、乗客  $i$  が単独で目的地まで向かった場合と比較して、どれほど乗車距離が長くなるかを表している。

#### 4. 節約額配分ゲームにおけるコアの存在条件

本研究において想定する乗客数は3人であるため、

各提携における節約額配分ゲーム  $(N, v)$  の特性関数は次のように表される。

$$\begin{aligned} v(\{i\}) &= 0 & (i = 1, 2, 3) \\ v(\{i, j\}) &= c_i + c_j - c_{ij} & (i, j = 1, 2, 3) \\ v(N) &= c_1 + c_2 + c_3 - c_{123} \end{aligned}$$

このように、全ての単独提携の利得がゼロであるゲームはゼロ正規化ゲームと呼ばれるが、一般に、優加法性を満たすゼロ正規化3人ゲームについては、コアが存在するための必要十分条件が知られている (横尾、岩崎、櫻井 2013)。

定理1 優加法性を満たすゼロ正規化3人ゲーム  $(N, v)$  において、コアが存在するための必要十分条件は、次の条件である。

$$v(\{1, 2\}) + v(\{1, 3\}) + v(\{2, 3\}) \leq 2v(N).$$

つまり、節約額配分ゲーム  $(N, v)$  において、3人乗車時の節約額が2人乗車時に比べて十分に大きい場合、コアが存在する。

### 5. タクシーのライドシェアにおける顧客の価値観

本章では、実証実験によって明らかになったタクシーライドシェアにおける顧客の価値観について述べる。2017年9月27日と同年10月3日、株式会社デンソーによりタクシーライドシェアの実証実験が行われた。実証実験は、神奈川県横浜市戸塚区における子育てイベント「地域子育て情報交換会」の参加者である子育て世代の母親とその子供を対象とした。相乗りする顧客の組やルートは移動距離の点から最適なものを選択し、料金は、イベント参加費と送迎費込み一律料金として設定された。実験の実施後、参加者である母親16人を対象にアンケートが実施され、ライドシェアサービスにおける料金設定の調査が行われた。アンケートより、

- ・参加者の約8割が、タクシーのライドシェアサービスに対して前向きな意見を持っている
- ・参加者の約8割が、料金配分において「目的地まで

の距離」と「遠回りをした距離」を考慮すべきであると考えている

という結果が得られた。そこで、本研究では、アンケート結果を踏まえて、DEAゲームにおける評価項目として、「目的地までの距離」と「遠回りをした距離」を採用する。

## 6. 費用配分法の実データでの比較検討

3章では、以下の6通りの配分法を紹介した。

1. 節約額均等配分法 (savings equal distribution)
2. 費用均等配分法 (fare equal distribution)
3. 費用比例配分法 (fare proportional distribution)
4. 仁による節約額配分法 (nucleolus)
5. シャープレイ値による節約額配分法 (Shapley value)
6. DEAゲームによる費用配分法 (DEA game)

本章では、これら6通りの配分法を実データに適用し、6通りの配分法についてのコアの充足や顧客の価値観との相違を比較検討する。顧客の価値観は、5章で述べたように、目的地までの距離に関して、「目的地までの距離が遠い人ほど高い料金配分かどうか」という点と遠回りに関して、「先に乗車した人ほど、高い利得配分かどうか」という点を比較対象とした。

実験に使用するデータは、春日部、柏、仙台、戸塚の4地域を対象に生成した。各地域の目的地は、主要鉄道駅である春日部駅、柏駅、仙台駅、戸塚駅とし、タクシーの乗車位置は、これら4駅周辺の学校関連施設20カ所をGoogle Mapsで抽出した。施設間の距離データは、Google Maps APIから取得した。それぞれの地域において、乗車人数を最大3人として、乗客のマッチングと走行ルート吉田ら(2017)の方法により決定した。タクシーの移動距離が最小になるようにルートを選択すると、各地域のタクシーの乗車人数別のタクシー台数はTable 1のようになった。

Table 1 Number of taxis in each area by number of passengers

Region	One-person ride	Two-person ride	Three-person ride
Kasukabe	2	0	6
Kashiwa	2	0	6
Sendai	1	2	5
Totsuka	0	1	6

本研究では、3人乗車を仮定しているため、春日部地域の6台、柏地域の6台、仙台地域の5台、戸塚地域の6台の計23台を対象とし、6つの費用配分方法に基づいて料金配分を行う。ゲーム理論に基づく理論的合理性と顧客の価値観に基づいて、6通りの費用配分方法について比較検討する点を次の3点とする。

- ・ コアに含まれる利得配分か
- ・ 目的地までの距離が遠い人ほど高い料金配分か
- ・ 先に乗車した人ほど高い利得配分か

ここで、「目的地までの距離が遠い人ほど高い料金配分」と「先に乗車した人ほど高い利得配分」の定義を与える。

定義7 次の条件を満たすとき、「目的地までの距離が遠い人ほど高い料金配分」という：

乗客  $i, j$  の支払い料金  $c_i - x_i, c_j - x_j$  について、

$$c_i > c_j \Rightarrow c_i - x_i > c_j - x_j$$

定義8 利得配分  $x_1, x_2, x_3$  が次の条件を満たすとき、「先に乗車した人ほど高い利得配分」という：

$$x_1 > x_2 > x_3$$

6通りの費用配分方法について、実データを適用した計算結果を比較検討する。対象となる23台のなかで、それぞれの費用配分方法で、コアに含まれた利得配分となった割合をTable 2、目的地までの距離が遠い人ほど高い料金配分となった割合をTable 3、先に乗車した人ほど高い利得配分となった割合をTable 4に示す。

Table 2 Ratio of profit distribution included in the core

Fare distribution method	Kasukabe	Kashiwa	Sendai	Totsuka	Total
1. Savings equal distribution	0.82	1.00	0.00	0.87	0.79
2. Fare equal distribution	0.50	0.50	0.20	0.67	0.48
3. Fare proportional distribution	1.00	0.83	0.80	0.83	0.87
4. Nucleolus	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5. Shapley value	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6. DEA game	1.00	0.87	1.00	0.83	0.87

Table 3 Ratio wherein passengers travelling longer distances paid proportionally higher fares

Fare distribution method	Kasukabe	Kashima	Sendai	Totsuma	Total
1. Savings equal distribution	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2. Fare equal distribution	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3. Fare proportional distribution	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4. Nucleolus	1.00	0.67	0.60	0.33	0.65
5. Shapley value	1.00	0.83	1.00	0.67	0.87
6. DEA game	0.87	0.83	0.80	0.83	0.78

Table 4 Ratio wherein first passengers paid proportionally higher fares

Fare distribution method	Kasukabe	Kashima	Sendai	Totsuma	Total
1. Savings equal distribution	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. Fare equal distribution	0.67	0.50	0.80	0.33	0.58
3. Fare proportional distribution	0.67	0.50	1.00	0.50	0.61
4. Nucleolus	0.33	0.17	0.60	0.33	0.35
5. Shapley value	0.60	0.17	0.20	0.17	0.33
6. DEA game	1.00	0.83	1.00	0.83	0.93

計算結果において、費用比例配分法は、簡易的配分法の中で最も理論的合理性を満たす配分方法となった。また、目的地までの距離という観点においては、定義7の条件式を常に満たす結果となった。遠回りという観点においても、費用比例配分法はDEAゲームには劣るものの、その他どの方法よりも好ましい計算結果を得た。これらの点から、費用比例配分法は、実用的に優れた簡易的配分方法であるだけでなく、理論的合理性・顧客の価値観の観点からも好ましい配分方法であるといえる。

## 7. まとめ

本研究では、春日部、柏、仙台、戸塚の4地域を対象とした実データに基づき、「実用的合理性」、「理論的合理性」、「顧客の価値観」という三つの観点から6通りの費用配分方法について比較検討を行った。費用配分方法は、ゲーム理論における代表的な配分方法から、仁、シャープレイ値、費用比例配分など、6通りの方法を検討した。結果として、実用的にも優れた費用比例配分法が、理論的合理性・顧客の価値観の観点から好ましいライドシェアの料金分配方法であることを示した。

## 参考文献

- Agatz, N.A.H., Erera, A., Savelsbergh, M.W.P., Wang, X., (2011), Dynamic ride-sharing: a simulation study in metro atlanta, Transportation Research Part B, Methodological, 45 (9), 1450-1464
- Agatz, N.A.H., Erera, A.L., Savelsbergh, M.W.P., Wang, X., (2012). Optimization for dynamic ride-sharing: a review. European Journal of Operational Research 223 (2), 295-303.
- Cao, B., Alarabi, L., Mokbel, M.F., Basalamah, A., (2015) SHAREK: A scalable dynamic ride sharing system. Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM), 4-13.
- Furuhata, M., Dessouky, M., Ordóñez, F., Brunet, M.-E., Wang, X., Koenig, S., (2013) Ridesharing: The state-of-the-art and future directions, Transportation Research Part B: Methodological, 57, pp. 28-46.
- Geisberger, R., Luxen, D., Neubauer, S., Sanders, P., Volker, P., (2010). Fast detour computation for ride sharing. In: Erlebach, Thomas, Lübbecke, Marco, (Eds.), Proceedings of the 10th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems, OpenAccess Series in Informatics (OASICS), vol. 14. Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 88-99.
- Gopalakrishnan, R., Mukherjee, K., Tulabandhula, T., (2016) The costs and benefits of ridesharing: Sequential individual rationality and sequential fairness, Working paper, arXiv:1607.07306v1.
- Guajardo, M., Ronnqvist, M., (2016). A review on cost allocation methods in collaborative transportation, International Transactions in Operational Research, 23, pp. 371-392.
- Nakabayashi, K., Tone, K., (2003). Egoist's dilemma: a DEA game. GRIPS Research Report Series I-2003-0002.
- Wolfson, O., Lin, J., (2017). Fairness versus Optimality in Ridesharing, Proceedings of the 18th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM), pp. 118-123.
- 上田, 中村 (2003). 「鉄道会社の効率性」『成蹊大学工学研究報告』, 40(2), 17-24.
- 岡田 (1991). 「公共プロジェクトの費用配分法に関する研究：その系譜と展望」『土木学会論文集』, 1991(431), 19-27.
- 岸本 (2015). 「協力ゲーム入門」『機関誌オペレーションズリサーチ』, 60(6), 343-350.
- 高野, 高橋, 佐藤 (1995). 「プロジェクト評価におけるDEA(包絡分析法)の適用性に関する研究」『土木計画学研究講演集』, 17, 219-222.
- 谷本, 喜多 (2004). 「広域バス路線の補助金負担方式に関するゲーム論的考察」『土木学会論文集』, 2004(751), 83-95.
- 刀根 (1993). 「経営効率性の測定と改善」, 日科連出版社
- 中林, 刀根 (2004). 「DEAゲームの凸性」『数理解析研究所講義録』, 1349, 204-220.
- 船木 (2004). 『演習ゲーム理論』. 新世社.
- 船木 (2014). 『はじめて学ぶゲーム理論』. 新世社.
- 横尾, 岩崎, 櫻井 (2013). 「協力ゲーム」『コンピュータソフトウェア』, 30(2), 33-51.
- 吉田, 矢野, 堀川, 佐藤, 南, 繁野 (2017). 「共通の目的地を

もつ顧客によるタクシー相乗りのためのモデル作成と評価」  
『情報処理学会研究報告』, 2018-MPS-117, 3, 1-6.

## 著者



**堀川 健一郎**

ほりかわ けんいちろう

東京支社 特プロ・共創 HUB 推進室  
社会課題解決に向けた基盤技術開発に従事



**南 翔太**

みなみ しょうた

筑波大学 システム情報工学研究科  
社会工学専攻  
サービス工学, ゲーム理論, DEA による  
評価手法の研究に従事



**佐藤 啓太**

さとう けいた

東京支社 特プロ・共創 HUB 推進室  
社会課題解決に向けた基盤技術開発に従事



**渡辺 英理**

わたなべ えり

筑波大学 理工学群 社会工学類  
配送計画のコスト配分の研究に従事



**吉田 岳人**

よしだ たけと

筑波大学 システム情報工学研究科  
社会工学専攻  
サービス工学, 最適化モデリング, 配送計  
画問題の研究に従事



**矢野 正基**

やの まさき

筑波大学 理工学群 社会工学類  
深層学習, 最適化アルゴリズムの研究に従事



**繁野 麻衣子**

しげの まいこ

筑波大学 システム情報系教授  
博士(理学)  
離散最適化, オペレーションズ・リサーチ  
の研究に従事