

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04650

研究課題名（和文）GPSデータを用いたタクシーの運行効率向上とそれに伴う需要増加の可能性

研究課題名（英文）Improvement of Cab Operation Efficiency Using GPS Data and the Potential for Increased Demand

研究代表者

佐野 可寸志（SANO, KAZUSHI）

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：00215881

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：地方都市で公共交通の利用が減少し、バスよりタクシーが効率的となる一方、ドライバーの確保が難しく営業所の撤退が進んでいる。高齢化に伴うドア・ツー・ドア輸送の需要があるが、運賃の高さがネックとなっている。地方タクシーを持続させるには、運行効率の向上と値下げが必要だ。本研究では、長岡市のタクシー会社のGPSデータを用い、事前予約による運行効率化と費用削減の可能性を検討した。結果、事前予約が100%の場合、費用が約1/3削減され、共同配車では約半分に削減されることが確認された。また、アンケート調査で利用者の料金を割引することで需要が増加し、運行効率化による利益の増加も確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地方都市の郊外部においては、タクシードライバーの確保は難しく、タクシー営業所等の撤退が進みつつあり、住民の足の確保が大きな問題となっているが、地方タクシーを持続させるには、実車時間の割合が低いといわれているタクシー運行効率の向上と、値下げによる利用者の増加が必要である。長岡市内のタクシーのGPSデータを使用し、タクシー会社が共同で配車するという前提で、どの程度費用が削減されるかを検討した。結果として、事前予約が100%という非常に理想的な状態では費用が約1/3削減され、さらに共同配車事業が導入された場合は費用が約半分に削減される可能性を確認し、事業の継続性の可能性を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：While the use of public transportation is declining in local cities and cabs are more efficient than buses, it is difficult to secure drivers and sales offices are withdrawing from the market. There is demand for door-to-door transportation for the aging population, but high fares are a bottleneck. In order to sustain local cab services, it is necessary to improve operating efficiency and lower prices. In this study, GPS data from cab companies in Nagaoka City were used to examine the possibility of improving operational efficiency and reducing costs through advance reservations. As a result, it was confirmed that when advance reservations are made 100% of the time, costs are reduced by about 1/3, and by about half with joint taxi dispatch. In addition, a questionnaire survey confirmed that discounting user fees increased demand and increased profits through operational efficiency.

研究分野：交通計画

キーワード：タクシー GPSデータ 生産性向上 地方公共交通

## 1. 研究開始当初の背景

地方都市における公共交通の利用数は減少の一途であり、バス車両を使用するよりはタクシー車両を使用した方が効率的なケースが、今後増加していくと想定される。またタクシーの利用者数も減少しており、長時間労働や低賃金を理由とするドライバー不足も相まって、郊外（合併前の旧町村）の営業所を閉鎖する動きが増えており、タクシーの空白地域は増加している。地方都市における足の確保の最後の砦であるタクシーを存続させるには、勤務時間に占める実車時間の割合が低いといわれているタクシーの運行効率の向上と、タクシーの料金値下げによる利用者の増加が必要である。

地方都市におけるタクシーの費用構成割合を見ると、人件費が72.1%を占める一方、実車で走行している割合は拘束時間の1/6にしか過ぎず、この実車走行の割合を高めることが、タクシー事業者の生産性の向上に直結する。実車走行の割合を高めるには、①待機時間の減少と、②空車走行時間の減少が必要である。地方都市においては流しのタクシーは殆ど存在せず、電話での予約を待って営業所で待機するか、乗客を待って駅や病院で待機するタクシーが大多数である。活動時間の約半分を占める待機時間の短縮には事前の予約制が効果的である。一方、空車走行時間を減少させるには、乗客を降ろした付近で新たな乗客を乗せることが必要となる。地方都市におけるタクシー需要は、時間的・空間的にも疎であるため（長岡市の実車トリップ数は、最大のタクシー会社でも1日あたり約450トリップ、長岡市全体でも約2,300トリップに過ぎない）、一社だけの需要では、乗客を降ろした付近で新たな乗客を見つけることは非常に困難である。実現までのハードルは高いが、長岡市内のタクシー会社が一元的に共同して配車をすることができれば、需要密度は高まり、乗客を降ろした付近で新たな乗客を乗せることが可能となる確率が高くなると予想される。

## 2. 研究の目的

高齢化の進展や高齢ドライバーの免許の返納により、ドア・ツー・ドアのタクシー輸送のニーズは高いが、運賃の高さがネックとなり、その需要は十分には顕在化していない。しかし、上記タクシー事業者の生産性向上が図られることで利益が生じ、これを事業者・ドライバー・利用者でどう分配するかは議論になるが、その一部を原資として、タクシードライバーの待遇改善や勤務時間の削減が可能となる。また、一部は運賃の値下げに活用することも可能であり、運賃が低下した場合は、新たな需要が創出し、さらなる生産性の向上が期待できる。

本研究では、GPS データを用いてタクシーの運行実態を可視化し、運行効率化に資するデータを取得すること、前日までの予約が完全実施された場合や、長岡市内のタクシーが一元的に共同配車された場合に、どの程度タクシー事業の効率化が図られるかを、実測のGPS データを用いて計算することを、運行効率化の可能性を確認した上で生産性向上の検討を、本研究の目的とする。

## 3. 研究の方法

### 3.1. タクシー運行実態の分析

#### 3.1.1 使用データ

本研究では、長岡市全域を営業エリアとするタクシー会社の最大手である三越タクシー株式会社所属の全車両のGPS データを使用させて頂き、タクシーの運行実態を分析する。なお、分析対象期間は2018年1月1日から12月31日の1年間である。

#### 3.1.2 運行実態の分析結果

##### (1) 曜日別平均乗車回数

曜日別時間帯別平均乗車回数を図1に示す。午前9時過ぎに需要のピークがあることや、週末は夜中の需要が多いことが確認できる。月別曜日別平均乗車回数を図2に示す。12月の週末の需要が多いことが確認できる。

##### (2) 月別平均乗車回数

月別平均乗車回数を図3に示す。長岡市において降雪の影響で、冬季の需要が高いことが確認できる。

##### (3) 天候の影響

天候別の各トリップの乗車時間の度数分布を図4に示す。降雪時は、乗車時間が短いトリップが比較的少なく乗車時間が長いトリップが比較的多い。乗車距離の分布を確認したところ、天候による有意な差はなかった。降積雪により短距離の需要が誘発されたのではなく、車両速度の低下によるものと推測される。

##### (4) 時間帯別稼働状況

時間帯別の稼働状況を図5に示す。また、このデータを稼働状況ごとに集計することにより、実車時間は17.2%、空車時間は30.7%、待機または休憩時間は52.1%であることが確認された。

##### (5) 時間帯別主要乗車場所と待機場所

タクシー事業においては、より効率の良い運営を行うために、各時間帯の需要発生場所を予測し、それに合わせたタクシーの待機場所や運行スケジュールを調整する必要がある。一例として平均的な需要がある2018年4月4日（水）のタクシー運行データを使用し、時間帯ごとの各主要地点の乗車回数を集計し、図化した（図6）月曜日と週末を除くまた、待機場所のヒートマップを図7に示す。可視化を通じて、空間的・時間的な需給バランスの把握が可能となる。また、乗車位置時刻のデータや、天気やイベント等のデータを蓄積することにより、タクシーの効率的な運行が図られる可能性がある。

##### (6) 施設間OD表

図6と図7のヒートマップから抽出した需要が多い箇所を考慮し、長岡駅（大手口、東口）、中心市街地（商店街、飲食店街）、病院（赤十字病院、中央病院、立川病院、長岡西病院）、その他（自宅等）の4種類に対象施設を分類した（図8）。長岡駅大手口の降車位置のばらつきを図9に示す。降車地点はおおむね15m以内にばらついており、対象施設の外周道路から15m以内は当該対象施設を利用したもとして、乗降施設を特定した。

表1に2018年4月4日（水）のタクシー運行データから得られた施設間ODを示す。その他（自宅等）から利用するトリップ総数が220トリップである一方、その他（自宅等）への向かうトリップ総数は331トリップと非対称である。これは、往路は家族等に送ってもらい帰りはタクシーを利用するケースが多いと想定される。また、長岡駅までの往路と復路も非対称であるが、バスの最終便が早い時間帯で終了するため、往路はバス、復路はタクシーというケースも多いことが想定される。中心市街地からのその他（自宅等）への復路のトリップが往路に比べて多いが、最終バスの以降の帰宅にタクシーが利用されていると想定される。

### 3.2 タクシー運行効率化の可能性

需要密度が低い地方都市においてタクシーの実車走行の割合を高めるは事前予約に基づく配車が効果的である。タクシー需要の中には、予約に不向きなトリップも多数存在するが、すべてのトリップが前日までに予約されるという理想的な状況を想定し、効率化の上界値を求めた。すべての乗車トリップの出発地と目的地と最早出発時刻と最遅出発時刻を与件とし、すべての乗車トリップを輸送するのに必要な最少のタクシー台数、および車両の走行費用を最小化する問題は、時間制約付き配車計画問題として定式化される。今回はケーススタディーとして、当該タクシー会社の平均的な需要がある2018年4月4日（水）の実車である436トリップを対象に、前述の状況を想定し、ヒューリスティックな解法の一つである挿入法を用いて必要なタクシーの台数と最適な巡回ルートを導出した。挿入法は小規模の問題では有効であるが、大規模になると解の精度が悪くなるという特徴を有する。

また、空車走行時間を減少させるためには、目的地で乗客を降ろした近くで、希望出発時刻の近い次の乗客を乗せることが必要となる。そのためには、高い需要が必要となるので、長岡市全体のタクシー需要を想定し、共同で配車ができた場合の削減効果も試算した。

#### 3.2.1 試算の前提条件

試算時の前提条件を以下に示す。

- ・本来は道路上の走行距離を考慮すべきであるが、計算負荷を減少させるため、出発地と目的地の直線距離の 1.268 倍を走行距離として計算を実行した。(図10)
- ・運転手の連続勤務可能時間や休憩時間などの制約は考慮しない。
- ・走行速度は、走行道路や走行時間によって異なるが、出発地と目的地の直線距離と実走行時間の関係から一律に 21.6km/h として計算を実行した。
- ・タクシー輸送の原価構成は、ハイヤー・タクシー年報 2018<sup>1)</sup>の値を用いる。この原価を、タクシー台数の比例するもの(人件費、車両償却費、保険料:76.4%) 走行距離に比例するもの(燃料油脂費、車両修繕費、その他の経費の半分:16.6%) 台数や走行に比例しないもの(営業外費用、その他の経費の半分: 6.9%) の 3 つに分けて、すべての乗車が前日までに予約された場合の費用の減少率を計算した。その他の経費には、自動車リース料や本社経費が入っているというヒアリング結果から、下記のように計算した。

### 3.2.2 求解アルゴリズム

この時間制約付き集計計画問題PDPTWの求解には、ヒューリスティック手法の一つである挿入法を用いる。この挿入法のアルゴリズムを以下に示す。ただし対象とする輸送乗客数は  $n$  人とし、すべてのタクシー車両は営業開始時には営業所に待機している。

- ① 未輸送乗客集合 ( $UP=\{1, \dots, n\}$ )を設定する。
- ② 未輸送乗客集合の中から、営業所から乗客の出発地までのコストと乗客の目的地から営業所へ戻るコストの和が最小となる 1 人目の乗客を見つけ、初期ルートを決定するとともに、未輸送乗客集合から当該乗客を除く。乗客の出発地から目的地までのコストは、輸送方法によらず不変であり、今回は考慮しない。未輸送乗客集合が空集合の場合は、必要タクシー台数と各車両のルートを出力して終了する。
- ③ 2 人目以降の配車は、今まで決定したルート  
を基準として、すべての挿入可能位置のコストを計算し、コストが最も少ない位置に挿入し、新たな運行ルートを決定する。この乗客を未輸送乗客集合から除去する。未輸送乗客集合が空集合の場合は、必要タクシー台数と各車両のルートを出力して終了する。
- ④ 同一の車両で輸送できる乗客がいなくなるまで③のプロセスを実行する。
- ⑤ 同一の車両で輸送ができる乗客がいなくなった場合は、追加の車両を用意し、②のプロセスを実行する。

## 4. 研究成果

### 4.1 費用削減効果

#### (1) 完全予約制の費用削減効果

当該タクシー会社のすべての営業トリップが、前日までに予約された場合の費用削減効果を表 3に示す。必要台数は42 台から28 台へ14台(33%)削減された。タクシーの原価構成のなかで、台数に比例する部分が 76.4%を占めるので、全体での費用削減効果も、ほぼ同率の 32%となった。

#### (2) 完全予約制と共同配車併用時の費用削減効果

当該タクシー会社の長岡市でのシェアは約 20%である。残りの会社の GPS データを入手することは難しいため、2018 年 4 月 4 日を含む週の平日5 日間の(4 月 2 日~6 日) GPS データを、ある一日の長岡市全体のタクシー需要と仮定し、タクシー会社が共同で配車するという前提で、どの程度費用が削減されるかを検討した。各社の配車する出発地や目的地は、営業所の位置や顧客住所の分布の違いにより、特徴は異なると思われる。この想定データは実際のデータよりも出発地や目的地の類似性が高く、偏った狭いエリアで需要密度が高い状況を想定し、削減効果を過大に評価している可能性がある。

完全予約制の下での共同配車による費用削減効果を表4に示す。共同配車の導入により、費用に大きな影響を与える必要車両台数が 205 台から

93台へ112台(55%)削減された。一方、完全予約制と共同配車による総走行距離の減少率(41%)は、完全予約制の減少率(40%)とほぼ同じ値となった。このことから共同配車事業による効率化は、主に需要の集約により変動係数が小さくなることに起因すると考えられる。需要密度の比較的低い地方都市においては、複数のタクシー会社による一元的な共同配車事業は、輸送効率の向上に資する可能性が示唆された。

### 4.2 需要の把握と生産性向上の検討

予約制や共同配車事業を導入した場合の運行経費の削減の可能性を検討した上、運賃の低下と考えられるが、予約のインセンティブに応じて需要を把握することによる生産性向上の検討が必要だと考えられる。

#### 4.2.1 予約タクシーの利用意向

予約のインセンティブに応じて予約率を変動させることにより、需要を把握するため、タクシー運行データから得ることのできない住民の目的別外出状況、現在の外出状況におけるタクシー利用回数、インセンティブ施策に応じたタクシー利用回数の変動等、詳細な予約タクシーの利用を把握するためアンケート調査を行う。

長岡市にある 1200 世帯に調査票を配布し、合計回収数は 146 世帯であり、回収率 12%となった。有効回答者数 350 であった。

目的別の外出状況と割引別に応じたタクシー利用回数を用いて、割引別のタクシー利用率を計算し、図11に示す。図11を見ると、飲食の予約タクシーの利用率が低くなっていることが確認され、かなり抵抗があることが分かった。飲食後の 2 次会等により、帰りの時間が未定になるのはその原因だと考えられる。

#### 4.2.2 予約タクシー需要の推定

アンケート調査による予約タクシーの利用意向のデータを用いて、長岡市の長岡地区を対象としたタクシー利用の需要を推定する。アンケート調査で回収してきた350人の有効回答数を年齢別男女別地域別に分け、年齢別男女別地域別ごとの有効回答数の逆数(母集団/有効回答数)を拡大係数として設定する。この拡大係数を用いて長岡地区の需要を推定した。拡大した結果は表5に示す。

#### 4.2.3 生産性向上の検討

表5を見ると、予約タクシーの需要の推定を行うことにより、割引された時の需要を把握することができた。一定の需要を確保する時に、費用削減した分が割引された分より多ければ、利益が出て、生産性向上の可能性があると考えられる。3 章のように、3 日間のトリップをプログラムに入力し、費用削減効果を計算し、表 3 と表 4 の費用削減効果を合わせて、費用削減率と需要の関係の曲線を求めた。また、表 5 により予約タクシーの需要曲線を求めた。費用削減率と需要の関係の曲線と予約タクシーの需要曲線を図 12 に示す。

青い点線は費用削減率と需要の関係であり、オレンジ色の点線は予約タクシーの需要曲線である。この図 12 を見ると、割引率が3割引の場合に約2,000 トリップになると考えられる。2,000トリップになる場合に、費用削減率は 40%以上になると考えられる。この費用削減率と割引率の間の差が、利益になると考えられ、生産性向上を確認した。

### 4.3 まとめと今後の課題

タクシー車両の GPS データを用いて、タクシー運行の可視化と、予約制や共同配車事業を導入した場合の運行経費の削減の可能性を検討した。1社の1 日のトリップを事前予約された場合に、費用が約1/3削減され、さらに共同配車事業が導入された場合は需要が増えて、費用が約半分に削減される可能性を確認した。また、アンケート調査により、割引別の予約タクシーの需要を推定した。推定した結果から予約タクシーの需要曲線を求めた上、費用削減率と需要の関係に合わせて検討を行い、生産性の向上を確認した。

今回は需要に応じた費用削減率と予約タクシーの需要曲線を合わせて検討することから生産性向上を確認したが、実際に予約システムと現在のシステムが共存する場合の需要量が供給との調整が必要である。

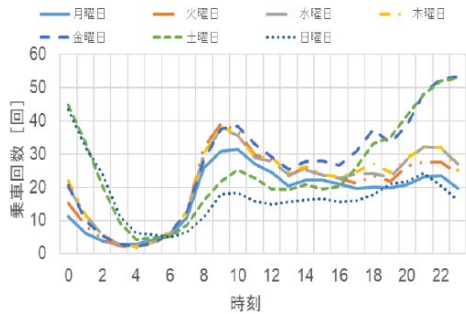


図1 曜日別時間帯別平均乗車回数

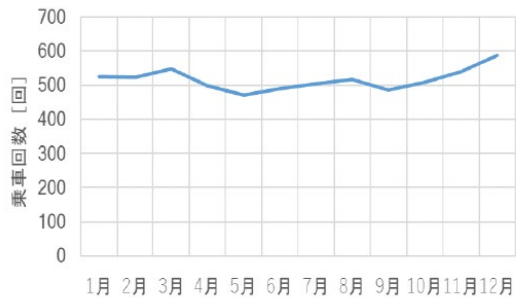


図3 月別平均乗車回数

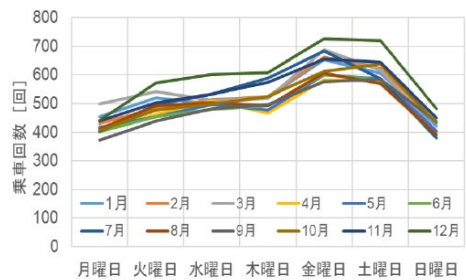


図2 月別曜日別平均乗車回数

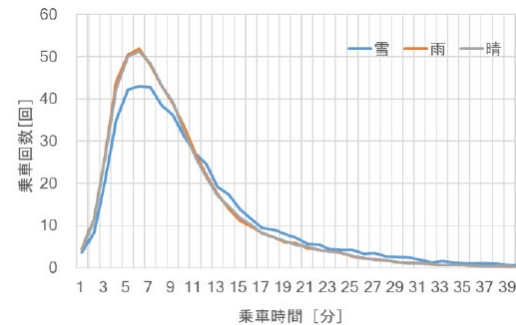


図4 天候別乗車時間

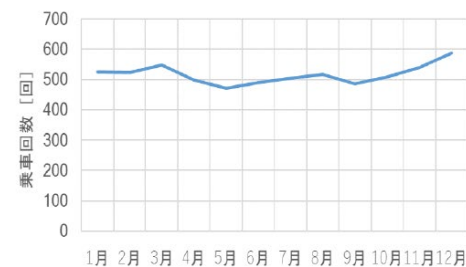


図3 月別平均乗車回数

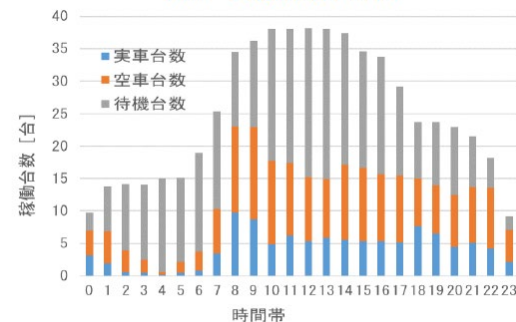


図5 時間帯別稼働状況

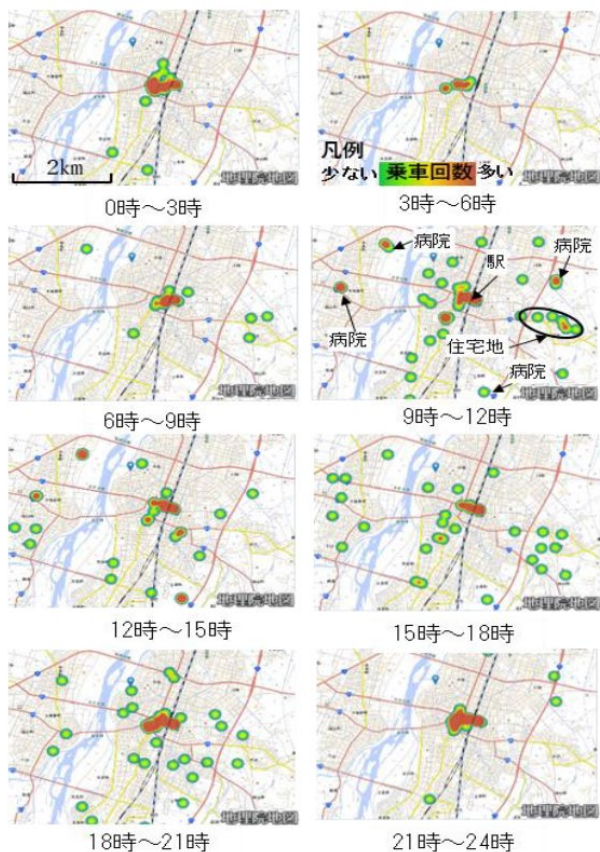


図6 時間帯別乗車回数ヒートマップ(地理院地図)

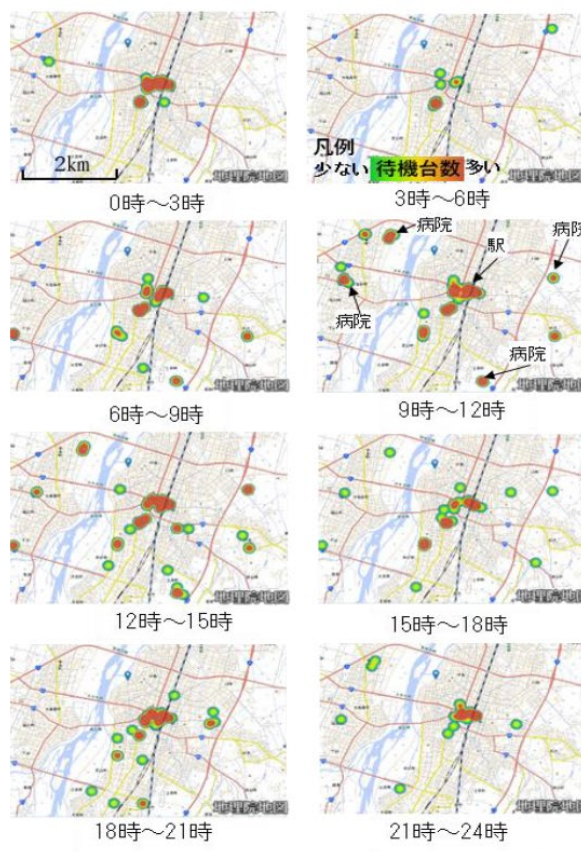


図7 時間帯別待機台数ヒートマップ(地理院地図)

表1 施設間OD表

目的地 \ 出発地	目的地				合計
	その他 自宅等	長岡駅	市街地	病院	
その他 自宅等	122	35	39	24	220
長岡駅	111	0	0	5	116
市街地	70	2	0	0	72
病院	28	0	0	0	28
合計	331	37	39	29	436



図8 対象施設の位置(地理院地図)

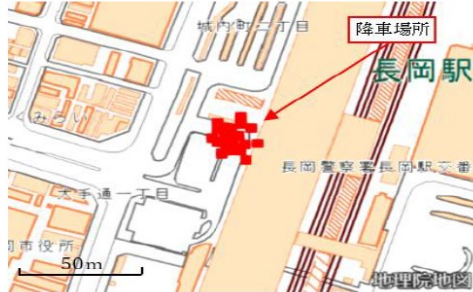


図9 長岡駅大手口の降車位置(地理院地図)

表2 タクシー輸送原価構成<sup>1)</sup>

項目	割合
人件費	72.8%
燃料油脂費	8.5%
車両修繕費	2.2%
車両償却費	1.3%
保険料	2.3%
営業外費用	1.0%
その他経費	11.8%

表3 完全予約制の費用削減効果

	実績	予約制	減少率
必要台数 [台]	42	28	33%
実車走行距離 [km]	1,645	1,645	—
総走行距離 [km]	4,333	2,598	40%
費用	1,000	0,678	32%
実車率	38.0%	63.3%	—

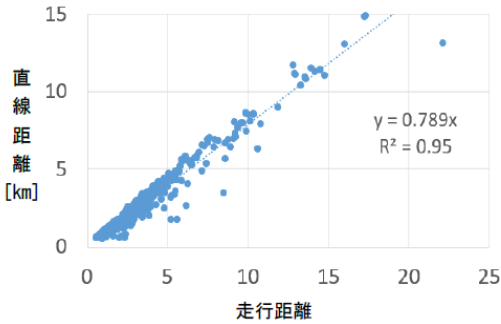


図10 走行距離と直線距離の関係

表4 完全予約制と共同配車による費用削減効果

	実績	予約制+ 共同配車	減少率
必要台数 [台]	205	93	55%
実車走行距離 [km]	8,545	8,545	—
総走行距離 [km]	21,668	12,727	41%
費用	1,000	0,513	49%
実車率	39.4%	67.1%	—

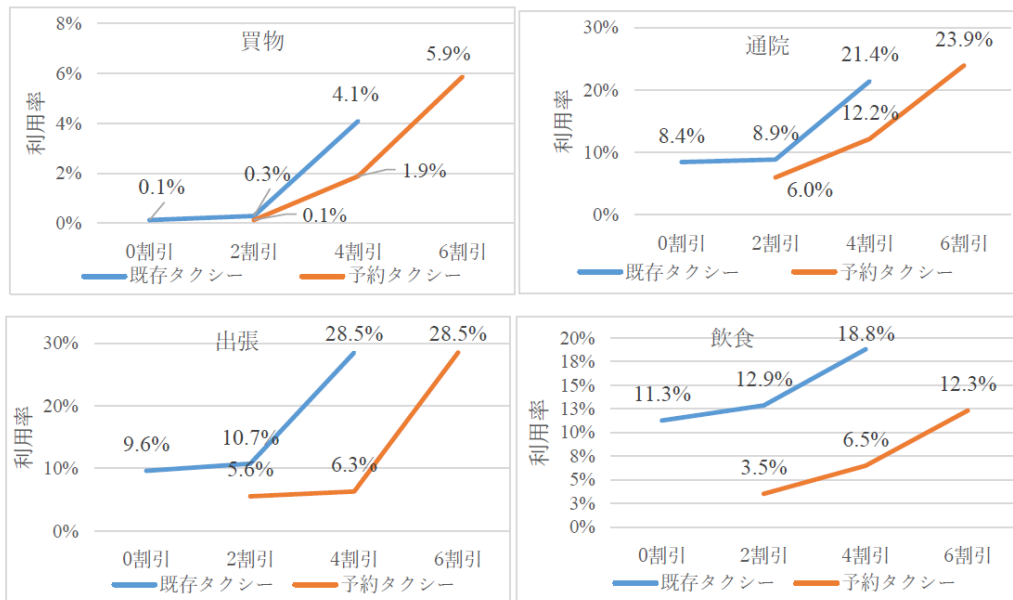


図11 目的別の割引別のタクシー利用率

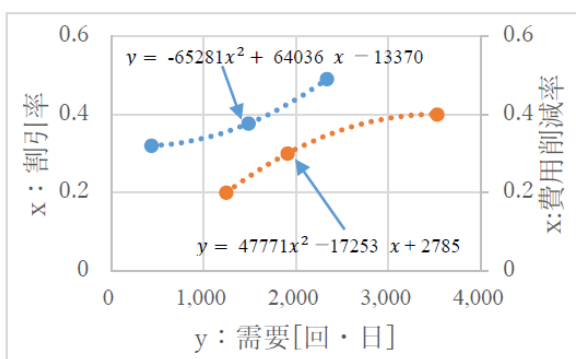


図12 費用削減率・割引率と需要の関係

表5 推定した長岡地区の需要(日・回)

	0割引	2割引	4割引	6割引
既存タクシー	2,344	2,630	8,492	
予約タクシー		1,246	3,527	9,631

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tomonori Watari, Kazushi Sano, Manik Mondal, K.P.D. Frank PERERA, Chonnipa PUPPATERAVANIT	4. 巻 -
2. 論文標題 A study on the selection of shared taxi user in depopulated areas of Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Manik Mondal, Kazushi Sano, Tomonori Watari, Chonnipa PUPPATERAVANIT, K.P.D. Frank PERERA, Chathura Kovida DE SILVA	4. 巻 -
2. 論文標題 An Efficient Modeling Approach on Passenger Demand with Fare in Shared Taxis: A Case Study of Sanjo City, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 佐野 可寸志, 王 凱, 鳩山 紀一郎, 高橋 貴生, 渡利 友紀	4. 巻 第6巻 2号
2. 論文標題 GPSデータを用いたタクシー運行実態の分析と効率化の可能性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 交通工学論文集（特別号）	6. 最初と最後の頁 280-285
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14954/jste.6.2_A_280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川端 光昭, 佐野 可寸志	4. 巻 14(1)
2. 論文標題 地域公共交通網形成におけるタクシー事業者の参画と官民協働のあり方	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 E-journal GEO	6. 最初と最後の頁 246-257
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4157/ejgeo.14.246	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Manik MONDAL, Kazushi SAN0; Tomonori WATARI; Chonnipa PUPPATERAVANIT; K.P.D. Frank PERERA; Chathura Kovida DE SILVA
2. 発表標題 An Efficient Modeling Approach on Passenger Demand with Fare in Shared Taxis: A Case Study of Sanjo City, Japan
3. 学会等名 EASTS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早川友樹, 川端光昭:
2. 発表標題 コロナ禍の経験が公共交通の確保・維持に対する態度に及ぼす影響
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会, 2022.3
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡利友紀
2. 発表標題 地方都市郊外地域における予約相乗り制タクシーの導入に関する研究
3. 学会等名 第38回 土木学会関東支部新潟会 研究調査発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王 凱
2. 発表標題 GPSデータを用いたタクシー運行実態の分析と効率化の可能性
3. 学会等名 交通工学研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	川端 光昭  (Kawabata Mitsuaki)  (40795176)	岐阜工業高等専門学校・その他部局等・助教   (53701)	
研究 分担者	鳩山 紀一郎  (Hatoyama Ichiro)  (60361523)	長岡技術科学大学・産学融合トップランナー養成センター・ 特任准教授   (13102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------