

GPS データを用いたタクシー運行の効率化と生産性向上に関する研究

都市交通研究室 王 凱
指導教員 佐野 可寸志

1. 背景と目的

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¹⁾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。

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。

GPS データを用いたタクシー輸送実態を分析した先行研究は国内外問わず行われている。吉井ら²⁾は名古屋市におけるプローブデータを用いて業形態の判別方法を確立した。さらに実車走行時間最大化を仮定した場合には付け待ち営業を選択するタクシーが増加し、タクシーベイの収容能力不足の可能性が生じることを示した。Yang ら³⁾は米国ニューヨーク市においてタクシーの GPS データ、人口、社会経済データを用いて利用実態を分析し、収入と総雇用がもっともタクシー利用に影響がある要因であることを示した。福本ら⁴⁾は愛知県東三河地域において、1 年間のタクシー会社の日報を用いてタクシー利用実態を分析し、月・曜日・時間帯といった時間的変動や運行ルート of 空間的分布、送迎時の利用距離の相違、地域別利用金額の相違を示した。ただしこれらの先行研究は利用実態の分析にとどまり、タクシー事業の効率化までは考慮していない。

一方、加藤ら⁵⁾は日本におけるタクシーに関する法令とタクシー協議会等の組織の役割と変遷を示しながら、今後活性化に向けた方策として、デマンドタクシーの導入やICT活用を提案している。しかしながら、課題の提示や方策の提案に留まり、実績データに基づく定量的な方策の評価までは実施されていない。

Anh ら⁶⁾は、時間枠付き集配計画問題を大近傍探索法 (Large neighborhood search) とパスの再結合法に基づいたハイブリッドヒューリスティックを提案し、物流管理のために特定の問題だけに限定されずより一般的問題の解決できるアプローチ方法を構築した。そして、より効率的なタクシー配車ルートを求めるには時間枠付き集配計画問題を応用できると考えるため、本研究では、ヒューリスティックな解法の1つである挿入法⁶⁾を用いて、定量的にタクシー運行効率化について検討を行う。

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の生産性向上の検討を、本研究の目的とする。

2. タクシー運行実態の分析

2.1 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。

2.2 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。

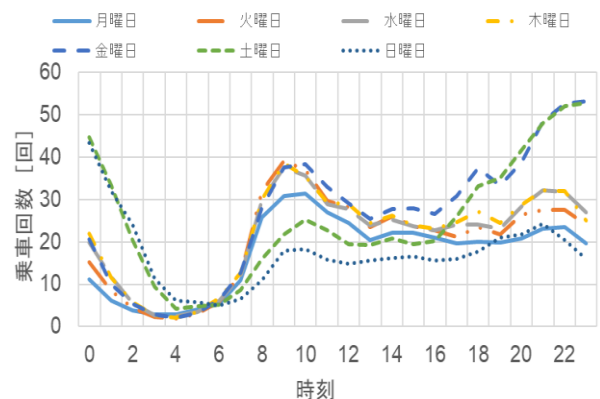


図1 曜日別時間帯別平均乗車回数

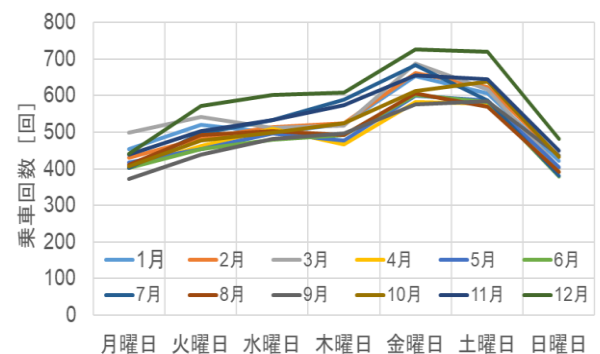


図2 月別曜日別平均乗車回数

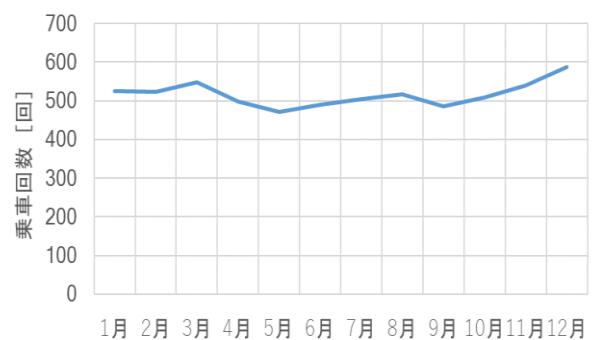


図3 月別平均乗車回数

(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。

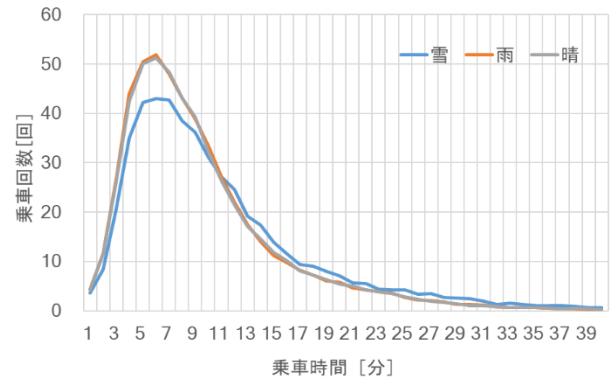


図4 天候別乗車時間

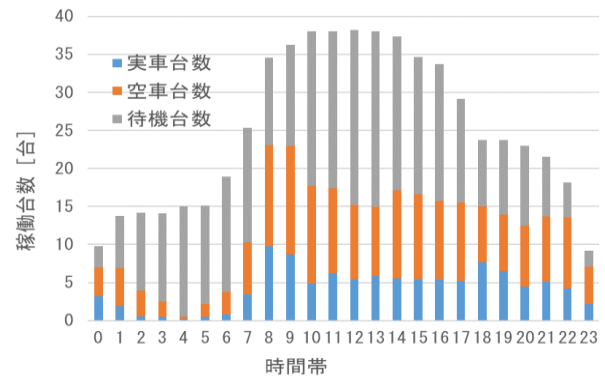


図5 時間帯別稼働状況

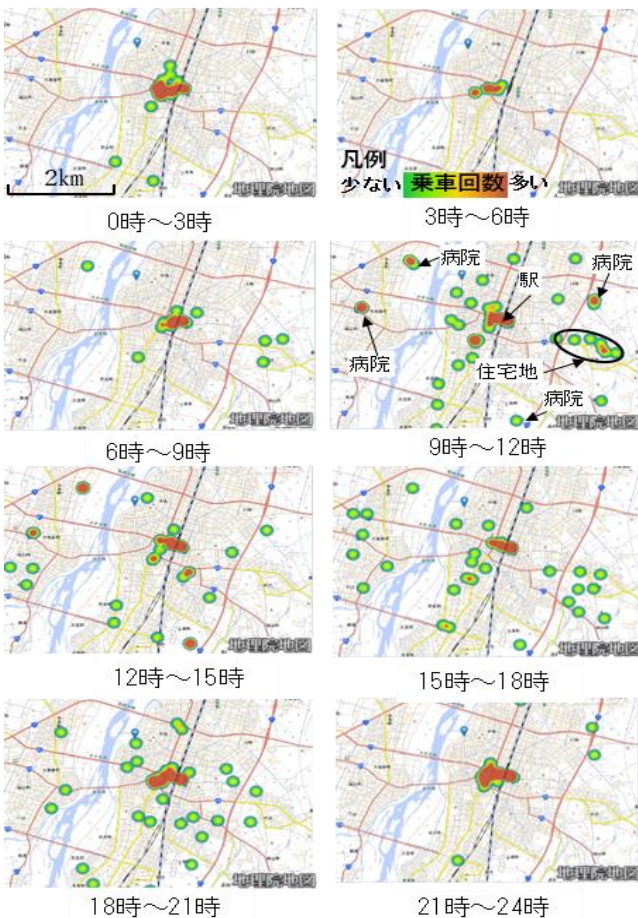


図6 時間帯別乗車回数ヒートマップ(地理院地図)

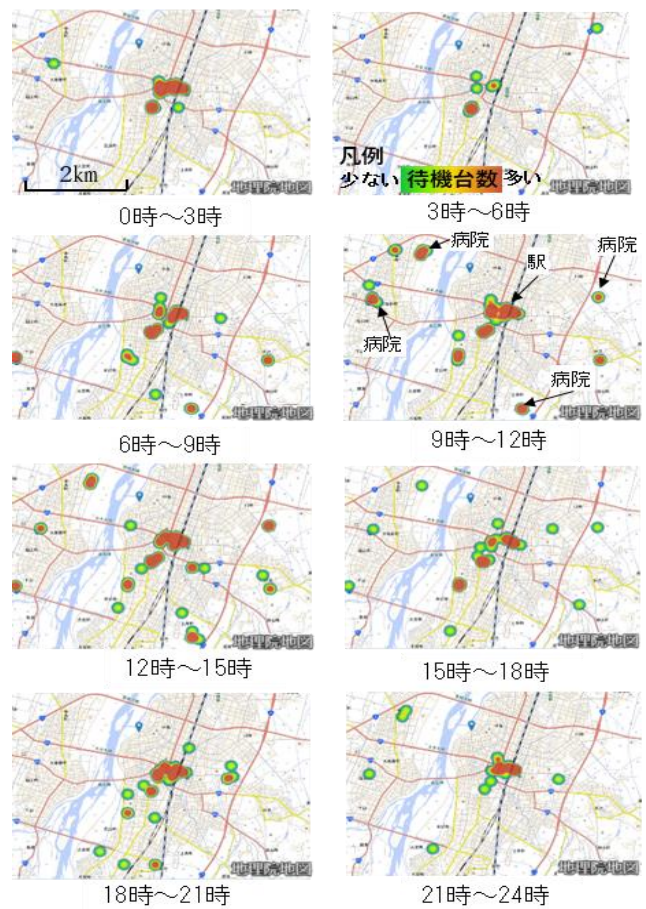


図7 時間帯別待機台数ヒートマップ(地理院地図)

(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)。



図8 対象施設の位置(地理院地図)

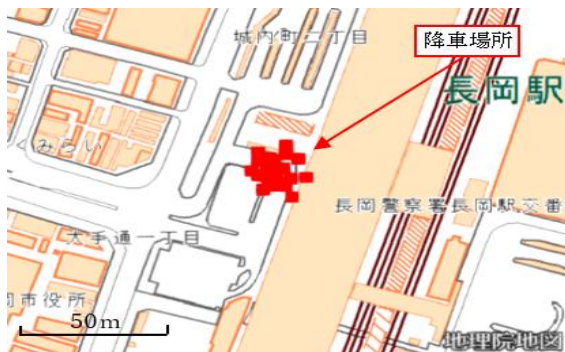


図9 長岡駅大手口の降車位置(地理院地図)

表1 施設間 OD 表

出発地 \ 目的地	その他 自宅等	長岡駅	市街地	病院	合計
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

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のとして、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. 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⁶⁾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⁷⁾が、大規模になると解の精度が悪くなる⁸⁾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。

3.1 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。

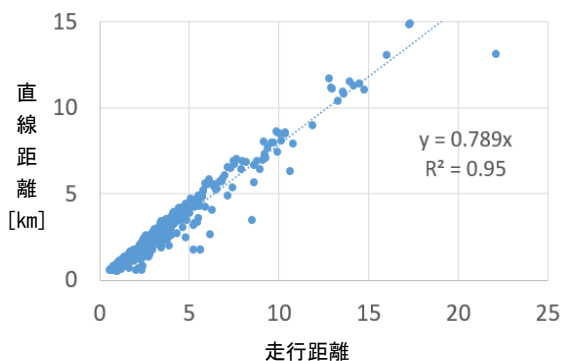


図10 走行距離と直線距離の関係

- 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2018¹⁾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。

表2 タクシー輸送原価構成¹⁾

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%

3.2 求解アルゴリズム

この時間制約付き集配計画問題 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, ..., 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、初期ルートを決めるとともに、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め、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。

3.3 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、特徴は異なると考えられる。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。

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%	—

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%	—

4. 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。

4.1 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必要があ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 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できた 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。

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

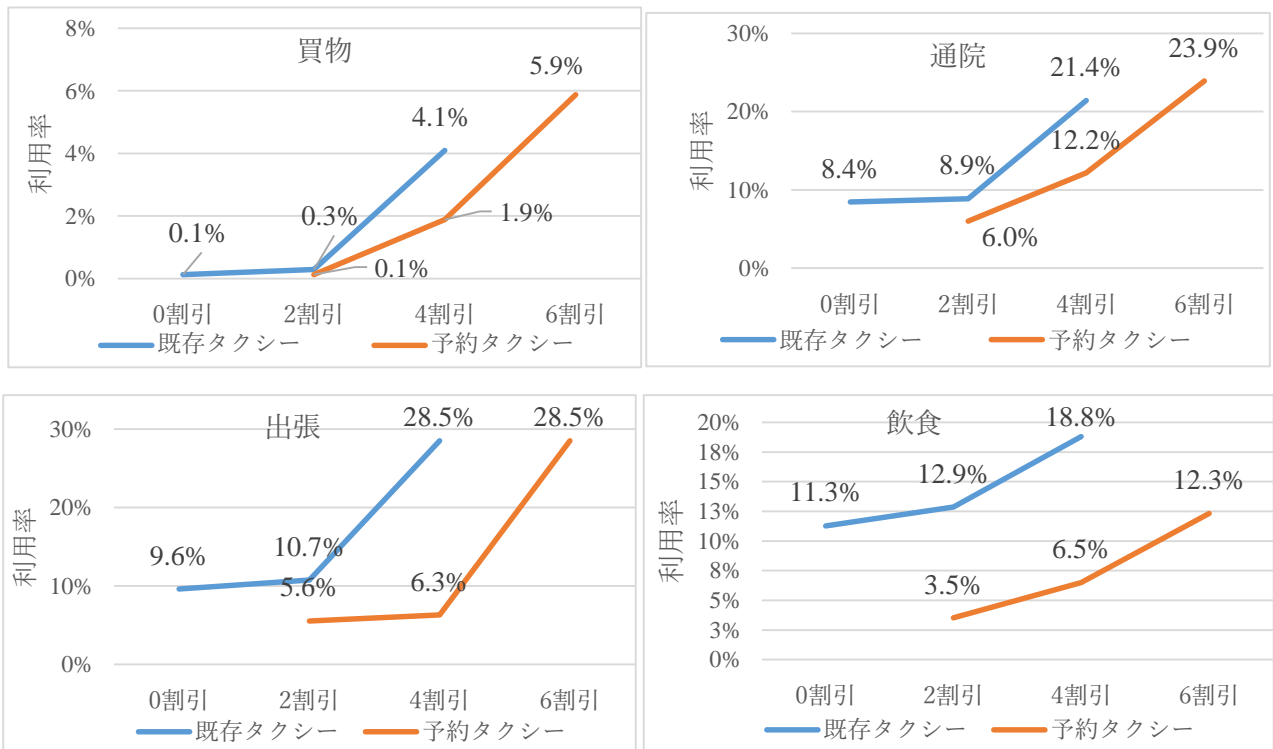


図 11 目的別の割引別のタクシー利用率

4.3 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。

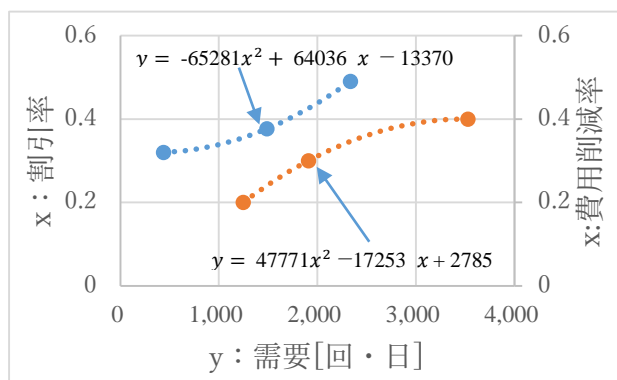


図12 費用削減率・割引率と需要の関係

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。

4.4 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を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。

参考文献

- 1) 一般社団法人全国ハイヤー・タクシー連合会：Taxi Today in Japan 2018
http://www.taxijapan.or.jp/pdf/Taxi_Today_2018.pdf
- 2) 吉井稔雄・藤田大輔・北村隆一：プローブデータを用いたタクシー挙動の分析，第4回 ITS シンポジウム 2005 proceedings, pp259-264, 2005.
- 3) Ci Yang, and Eric J. Gonzales: Modeling Taxi Trip Demand by Time of Day in New York City, Transportation Research Rec., No.2429, pp.110-120, 2014.
- 4) 福本雅之・松尾幸二郎・松本幸正・山下隆道：デジタル日報データによるタクシー利用の実態把握と公共交通施策への活用に関する研究，交通工学論文集 3(2), B_61-B_66, 2017.
- 5) 加藤博和・杉浦晶子：公共交通として位置づけられたタクシー事業の活性化に向けた課題，土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM(31), 2015.
- 6) Nguyen Minh Anh: A Hybrid Adaptive Large Neighborhood Search for Pickup and Delivery Problem with Time Windows, 長岡技術科学大学修士論文, 2018
- 7) Marius M. Solomon: Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints, Published Online:1 Apr 1987
<https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>
- 8) DS Johnson, LA McGeoch: The traveling salesman problem: A case study in local optimization, Local Search in Combinatorial Optimization, EHL Aarts and JK Lenstra (eds.), John Wiley and Sons, London, 1997, pp. 215-310