

デジタル日報データに基づく タクシー交通分布要因の統計モデル分析

松尾幸二郎¹・福本雅之²・松本幸正³

¹正会員 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)

E-mail: k-matsuo@ace.tut.ac.jp

²正会員 公益財団法人豊田都市交通研究所 研究部

E-mail: fukumoto@ttri.or.jp

³正会員 名城大学理工学部

E-mail: matumoto@civil.meijo-u.ac.jp

地域公共交通網の形成・維持におけるタクシーの活用方策を検討する上で、タクシー利用に影響をあたえる要因やその影響力を把握しておくことは有用だと考えられる。そこで本研究では、愛知県豊橋市を対象に、市内各地区の基本特性や定時定路線型の公共交通モードへのアクセス性などが、地域内のタクシー分布交通量に与える影響を明らかにするため、デジタル日報データに基づいた統計モデル分析を行った。その結果、乗降車地区の人口、高齢化率、従業者数、鉄道駅乗降客数が大きいほどタクシー分布交通量が多くなること、地区間の利用料金が100円高くなる（距離あるいは所要時間が長くなる）とタクシー利用量は9%程度減少すること、などが明らかになった。加えて、定時定路線の公共交通への空間的なアクセス性の低さを一部補完するためにタクシーが利用されている傾向があるが、バス停へのアクセス性による影響はそれほど大きくはないことが示唆された。

Key Words : Taxi, Trip distribution, Digital daily report, Public transportation

1. はじめに

地方郊外部など人口密度が比較的低い地域において民間バス路線の撤退が進み、公共交通空白地域の発生や拡大が課題となる中で、2007年に「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」が施行された。これにより、自治体を中心に地域関係者が連携して地域公共交通の活性化に取り組むための仕組みが確立され、コミュニティバスやデマンドバスといった地域公共交通施策が盛んに行われるようになってきた。

この流れの中、2009年10月に「特定地域における一般乗用旅客自動車運送事業の適正化および活性化に関する特別措置法」が施行され、本法の第一章第一条において、『一般乗用旅客自動車運送事業が地域公共交通として重要な役割を担って』いると記された。すなわち、タクシーが地域公共交通であることが明確に定義されたことになる。本法では、特に供給過剰地域において供給輸送力の削減（減車）により事業の適正化を促すことに重きをおかれたが、2014年1月には、減車だけでなく多様な活性化事業の実施によって需給バランスの適正化や利用者サービスの向上、ドライバーの労働条件の改善等を促すべく、「特定地域及び準特定地域における一般乗用旅客自動車運送事業の適正化及び活性化に関する特別措置法」へと改正がなされた。

従ってこれからは、タクシー事業者としては地域公共

交通としてどのようなサービスが提供できるのか、また行政としては地域公共交通網の形成・維持においてタクシーをどのように活用していくのかを検討することが必要かつ重要な視点となってくる。タクシー活用のための何らかの施策を検討する場合、タクシー利用に影響を与える要因やその影響力を把握しておくことは有用だと考えられる。特にタクシーは、定時定路線型の公共交通モードを面的に補完するモードとしての役割を担っていると考えられており（あるいは期待されており）、定時定路線型の公共交通へのアクセス性とタクシー利用との関係性を把握することは、より適切な公共交通網形成・維持において重要な知見となるはずである。しかしながら、これまで地域自治体がタクシー事業に関与することがほぼなかったこともありタクシー利用実態等に関する十分な調査や分析が行われておらず、上述のような検討をするための基礎的な知見がないというのが現状である。

一方、近年、事業者によっては、タクシー車両へのデジタルタコグラフ（以下、デジタコ）導入により、従来手書きであった乗降車地、時間、料金などの日報記入が自動化されることで、デジタル日報データの蓄積が進んできており、これらのデータをタクシー交通の実態分析や活性化施策の検討のための分析に利用できる可能性がある。これまでGPSデータを用いてタクシーの利用実態を明らかにしようとする研究はいくつか行

われてきたが¹⁾²⁾³⁾、それらはいわゆる「流し営業」の行われている地域を対象としたものであり、地方都市のように流し営業が行われていない地域とは状況が大きく異なると考えられる。

そこで本研究では、ケーススタディとして愛知県豊橋市を対象とし、市内各地区の基本特性（人口など）や定時定路線型の公共交通モードへのアクセス性などの要因が地域内（各地区間）タクシー分布交通量に与える影響について、デジタル日報データに基づいた統計モデル分析を通じて明らかにすることを目的とする。

2. 方法

(1) 対象地域の概要

本研究では、愛知県豊橋市において市域内で利用されたタクシー交通を対象とした。豊橋市は人口約 38 万人の中核都市で、図-1 に示すように、豊橋駅を中心に JR、ローカル鉄道（豊橋鉄道渥美線）、路面電車（豊橋鉄道市内線）、路線バス（豊鉄バス）がほぼ放射状に走っており、一部の郊外部で定時定路線型のコミュニティバス（ジャンボタクシー車両）³ 路線および定路線デマンド型の乗合タクシー 1 路線が運行されている（2015 年 3 月時点）。

豊橋市は愛知県における東三河南部タクシー交通圏（豊橋市・田原市・豊川市・蒲郡市・新城市（旧南設楽郡鳳来町・作手村を除く））に含まれ、本交通圏は 2010 年 4 月に特定地域に、2014 年 1 月に準特定地域に指定されたものの、減車等による適正化活性化事業により 2014 年 10 月には日車管収（1 日 1 台当たりの収入）および日車実車キロ（1 日 1 台当たりの実車距離）が、基準を上回ったことで、準特定地域指定が解除された。

豊橋市内で営業しているタクシー事業者は主に 4 社であり、車両数は 2015 年 3 月末時点で 312 台（個人タクシーは除く）となっている。このうち 2 社の 236 台（75.6%）がデジタコを搭載している。

2014 年度時点での豊橋を含む三河地域でのタクシー運賃は表-1、表-2 の通りである。基本的に流し営業は行われていない。

(2) 使用データ概要

本研究の分析に用いたデータは、上述したデジタコ搭載車両から得られたデジタル日報データのうち、2014 年 4 月 1 日～2015 年 3 月 31 日の 1 年間に利用されたタクシー交通で、かつ、乗降車地がともに豊橋市内にあるものである。各データには、乗降車日時、乗降車緯度経度（GPS）、利用料金などが記録されている。1 組の乗客を乗せてから降ろすまでを 1 件として、GPS 測位エラー（全体の 1.37%）を除くと、データ総数は 1,002,816

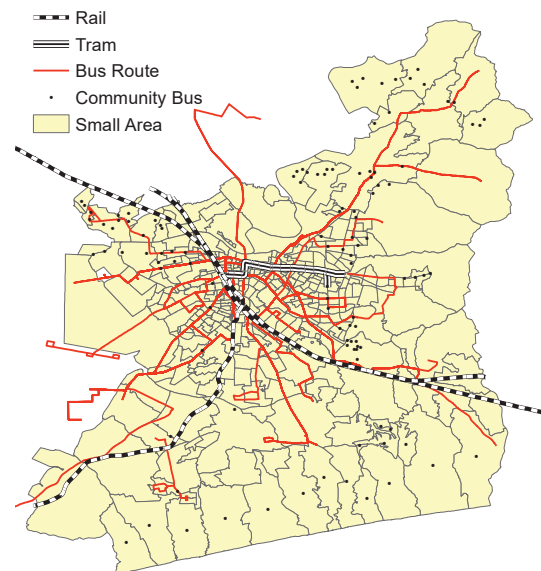


図-1 豊橋市の公共交通網と地区（町字；Small Area）

表-1 三河地区運賃（中型車、2014 年度時点）⁴⁾

初乗運賃	1.5km まで	700 円
加算運賃	246m までごとに	80 円
時間距離併用運賃	時速 10km 以下となった場合 合 1 分 30 秒までごとに	80 円
時間制運賃	30 分までごとに	3,240 円
待料金	1 分 30 秒までごとに	80 円
待料金	1.5km まで	700 円
迎車料金	1 車 1 回ごとに	110 円

表-2 距離・運賃換算表（概算）⁴⁾

距離	運賃換算
1.5km	700 円
2km	940 円
3km	1,260 円
4km	1,580 円
5km	1,900 円
6km	2,220 円
7km	2,540 円
8km	2,860 円
9km	3,180 円
10km	3,500 円
11km	3,820 円
12km	4,140 円

件となる。なおこれらのデータは、国土交通省中部運輸局によるタクシー流動調査において、ある一定期間における全車両の日報データ（紙から入力したものを含む）とデジタル日報データとの比較がされており、後者のみを用いても当該地域におけるタクシー流動の状況を十分に表現できることが分かっている⁴⁾。

(3) 統計モデル分析

本研究では、対象市内各地区の人口などの基本特性や定時定路線型の公共交通モードへのアクセス性などの要因が各地区間のタクシー分布交通量に与える影響を把握するため、統計モデル分析を行った。なお、地区の定義は 2010 年国勢調査における小地域(町字)とした。

用いた統計モデルは、以下の指数関数型の一般化線形モデルである。

$$y_{ij} \sim \text{Poisson}(\lambda_{ij}), \tag{1}$$

$$\lambda_{ij} = \exp(\alpha_0 + \sum_k \alpha_k \cdot X_{ijk}). \tag{2}$$

ここで、目的変数 y_{ij} は乗車地区 i から降車地区 j へのタクシー分布交通量(年間), x_{ijk} は乗車地区 i と降車地区 j のペアでの k 番目の説明変数, α_0, α_k はパラメータである。リンク関数には対数関数 \log を用い、誤差分布にはポアソン分布を仮定し(ポアソン回帰モデル)、最尤推定法によりパラメータを推定した。なお本モデルでは、説明変数 x_{ijk} が n 単位増加した場合の y_{ij} の期待値 λ_{ij} の増加率を以下の式で算出することが可能である。

$$\text{増加率} = \exp(n \cdot \alpha_k) = (e^{\alpha_k})^n. \tag{3}$$

目的変数である地区間タクシー分布交通量は、デジタル日報データの乗降車緯度経度から乗降車地区を特定し、地区間ペア別に集計することにより得た。一方、説明変数としては、表-3 に示す変数を用意した。ここで、乗(降)車地区の鉄道駅圏カバー率およびバス停圏カバー率は、定時定路線の公共交通へのアクセス性を表現するための変数である。公共交通へのアクセス性は地区間ペアのどちらかのペアがアクセス性が高くても、もう一方が低ければやはり、ペアとしてのアクセス性は低くなると考えられるため、モデル分析の際にはこれらは交互作用項として考慮する。

上述した統計モデル((4)式, (5)式)では年間のタクシー分布交通量を目的変数としているが、各説明変数が与える影響は時間帯によっても異なると考えられる。そこで、データを時間帯別に分けて、同様の統計モデル分析を行い、各説明変数が与える影響(パラメータ)を比較することとした。具体的には、以下の統計モデルのパラメータを推定することとした。

$$y_{tij} \sim \text{Poisson}(\lambda_{tij}), \tag{4}$$

$$\lambda_{tij} = \exp(\alpha_{t0} + \sum_k \alpha_{tk} \cdot X_{ijk}). \tag{5}$$

ここで、目的変数 y_{tij} は時間帯 t における乗車地区 i から降車地区 j へのタクシー分布交通量(年間), x_{ijk} は乗車地区 i と降車地区 j のペアでの k 番目の説明変数, α_{t0}, α_{tk} は時間帯 t におけるパラメータである。

表-3 モデルの説明変数

説明変数 [単位]	変数の概要
平均利用料金 [100 円]	乗降車地区ペア ij における平均利用料金。利用料金実績データより算出。
乗(降)車地区人口 [100 人]	乗車地区 i (降車地区 j) の人口。2010 年国勢調査データより取得。
乗(降)車地区高齢者率 [%]	乗車地区 i (降車地区 j) の全人口に対する 65 歳以上人口の割合。2010 年国勢調査データより算出。
乗(降)車地区従業者数 [100 人]	乗車地区 i (降車地区 j) の従業者数。2011 年経済センサスデータより取得。
乗(降)車地区鉄道駅乗降車数 [100 人]	乗車地区 i (降車地区 j) に含まれる鉄道駅の日乗降客数(2012)の総和。ここで鉄道的とは、JR および豊橋鉄道渥美線の駅を指す。国土数値情報より取得。
乗(降)車地区鉄道駅勢圏カバー率 [%]	乗車地区 i (降車地区 j) の面積の内、鉄道駅から半径 500m 内に含まれる面積の割合。
乗(降)車地区バス停勢圏カバー率 [%]	乗車地区 i (降車地区 j) の面積の内、バス停から半径 300m 内に含まれる面積の割合。ここでバス停には、路面電車の駅を含むがコミュニティバスのバス亭は含まない。

3. 結果と考察

(1) 基礎集計

モデル分析結果へ進む前に、まず基本的な情報について述べておく。図-2 は、デジタル日報データから乗車時間帯別に年間タクシー利用量を集計し、365 で割ることで単位を 1 日 1 時間当りに変換したものである。これを見ると、9 時~10 時と 22 時と 2 回のピークがあることが分かる。夜のピークについては、特にバスの運行頻度が少なくなることにより、時間的に公共交通へのアクセス性が低いことに対して補完的にタクシーが使われている可能性が仮説として挙げられる。一方、午前中のピークについては、通院、買い物、ビジネス目的などの利用が中心であると考えられるが、バスの運行頻度は低くないため、どちらかと言えば公共交通空白地域など、空間的に公共交通へのアクセス性が低いことに対して補完的にタクシーが使われている可能性が仮説として挙げられる。

タクシー交通需要のメカニズムを理解する上では、空間的のみならず時間的な公共交通空白についても考慮することが望ましいと考えられるが、その基礎としてまず本稿では、空間的な公共交通へのアクセス性のみに着目して統計モデル分析を行い、時間的なアクセス性については、今後の課題としたい。そこで以降においては、いずれのバス路線においても一定の運行頻度(少なくとも 1 時間に 2~3 本)が確保されていると考えられる 7 時~19 時に乗車したタクシー利用データのみ限定して分析を進める。

図-3 は、利用料金別のタクシー利用の相対頻度を迎

車の有無別に示したものである。どちらも初乗運賃（迎車無：700 円，有：810 円）での利用が最も多いが、迎車の方は特に多いことが分かる。これからは高齢者や障害者など、1.5km 程度以内でもタクシーを利用する必要のある人が利用している可能性が伺える。また、全体的には利用料金（利用距離）に対して利用が指数的に減少していることから、上述した指数関数型の統計モデルを適用することの妥当性が示唆される。統計モデル分析の際には、説明変数の一つとして地区間ペア別の平均利用料金を実績データから算出するが、その際迎車利用の利用料金からは 110 円を引いて算出している。

(2) 統計モデル推定結果

表-4 に（時間帯別ではない）モデルの推定結果を示す。実績値と予測値の相関係数が 0.71 であり、十分な予測力があるとはいきれないが、比較的高くなっており、各説明変数が及ぼす影響を把握する上では妥当であると考えられる。なお、線形モデルで推定した場合の同様の相関係数は 0.30 であり、指数関数型の一般化線形モデル（ポアソン回帰モデル）を適用することにより適合が良くなっていることが分かる。

次に説明変数のうち、平均利用料金のパラメータおよび e^{α_k} を見ると、地区間の平均利用料金が 100 円高いと、そのタクシー利用量は 9%減少することが分かる。これはタクシー利用トリップにおける料金抵抗（あるいは距離抵抗）を表していると考えられる。

続いて、各説明変数のパラメータを見ると、乗降車地区の人口、従業者数、鉄道駅乗降車数が多いほどタクシー分布交通量も多くなることが分かる。 e^{α_k} を見ると、乗降車地区の人口、従業者数が 100 人多いと、タクシー利用は 2-3%程度高くなる一方で、駅乗降車数については 5-7%程度高くなることが示されている。これは、駅周辺にはタクシー乗り場があることや、鉄道へのアクセスやイグレスにタクシーが利用されており、人口や従業者数よりもより直接的に影響するためだと考えられる。また、高齢者率が高い地区ほどタクシー利用が多くなる傾向にあり、間接的な変数ではあるものの、相対的に高齢者の利用が多い可能性が示唆される。

一方で、乗降車地の鉄道駅勢圏カバー率の交互作用項およびバス停勢圏カバー率が負値となっている。すなわち、定時定路線の公共交通への空間的なアクセス性が低い地区間ほどタクシー利用料が多くなる傾向を示しており、これは実態として、定時定路線の公共交通へのアクセス性の低さをタクシーが一部補完していることを示唆するものであると考えられる。ただし e^{α_k} を見ると、バス停勢圏カバー率については、その程度はそこまで大きくはないようである。例えば乗降車地それぞれのバス

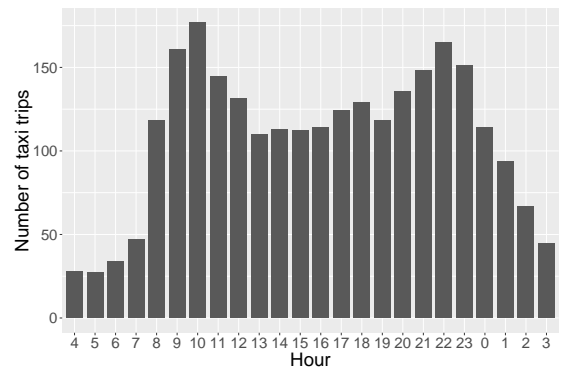


図-2 時間帯別タクシー利用頻度（量／1日・1時間）

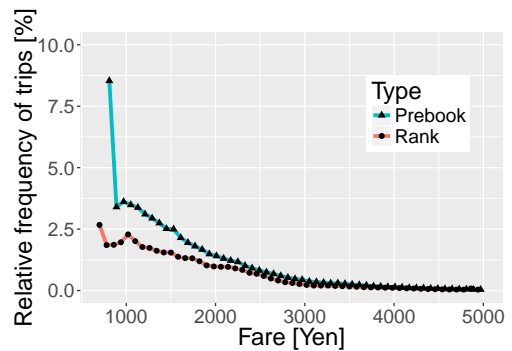


図-3 利用料金別タクシー利用の相対頻度（迎車有：Prebook，無：Rank）

表-4 タクシー分布交通量モデルの推定結果

説明変数 [単位]	パラメータ	p 値	e^{α_k}
定数項	1.53	$\ll 0$	4.625
平均利用料金 [100 円]	-0.094	$\ll 0$	0.910
乗車地区人口 [100 人]	0.023	$\ll 0$	1.023
降車地区人口 [100 人]	0.016	$\ll 0$	1.016
乗車地区高齢者率 [%]	0.028	$\ll 0$	1.028
降車地区高齢者率 [%]	0.028	$\ll 0$	1.029
乗車地区従業者数 [100 人]	0.023	$\ll 0$	1.023
降車地区従業者数 [100 人]	0.032	$\ll 0$	1.032
乗車地区鉄道駅乗降車数 [100 人]	0.051	$\ll 0$	1.053
降車地区鉄道駅乗降車数 [100 人]	0.068	$\ll 0$	1.070
乗車地区鉄道駅勢圏カバー率 × 降車地区鉄道駅勢圏カバー率 [% ²]	-0.000058	$\ll 0$	0.999942
乗車地区バス停勢圏カバー率 × 降車地区バス停勢圏カバー率 [% ²]	-0.0000054	$\ll 0$	0.9999946
サンプルサイズ	46741		
実績値と予測値の相関係数	0.71		

停勢圏カバー率が 40%であり、他の条件が変わらずに、仮に乗車地のバス停がなくなりカバー率が 0%になるとすると、交互作用項の説明変数としては $1600[\%]^2$ 減少することになり、 $e^{\Delta x \cdot \alpha_k} = 0.9999946^{-1600} = 1.01$ となり、当該地区間ペアのタクシー利用量としては約 1%の増加となる。同様の計算を駅勢圏カバー率で行うと、11%程度の増加となる。

(3) 時間帯別モデル推定結果

各時間帯におけるタクシー分布交通量データに基づきモデルの推定を行い、得られた時間帯別モデルの予測値と実績値との相関係数を算出した結果を図-4に示す。全ての時間帯において、前節の全体モデルよりも予測力が低下しており、7時台のモデルの適合度が特に低くなっている。これは、データを時間帯別に分けることで、相対的なデータのばらつきが大きくなったためだと思われる。しかしながら、説明変数の影響についての傾向を把握することはできると考えられるため、以下に考察する。

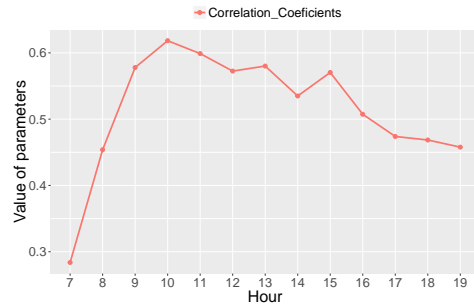


図-4 時間帯別モデルの実績値と予測値の相関係数

図-5、図-6、図-7は時間帯別モデルにおける平均利用料金、乗降車地区鉄道駅勢圏カバー率（交互作用項）、乗降車地区バス停勢圏カバー率（交互作用項）のパラメータを示したものである。ただし、それぞれのパラメータが統計的に有意でない（p 値が 0.05 より大きい）場合、その値を 0 として示している。

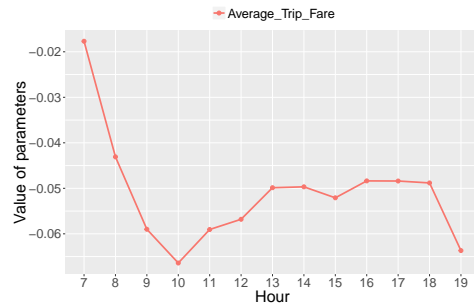


図-5 平均利用料金の時間帯別パラメータ

まず平均利用料金の時間帯別パラメータを見ると、全時間帯が負値であり、その絶対値は7時台が最も小さく、10時周辺が最も大きくなっている。10時台については買い物や通院の目的によるタクシー利用においては比較的近い場所に向かうことが多い可能性が考えられる。一方7時台については、通勤等のために直接鉄道駅へ向かうなどの目的で比較的距離の長いトリップに利用されている可能性が考えられるが、その理由についてはより詳細な分析が必要である。

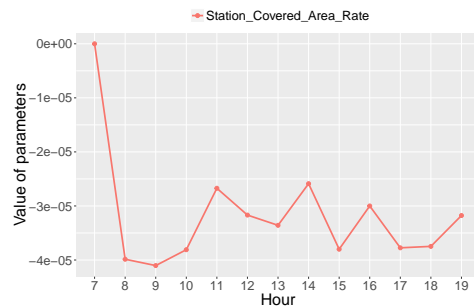


図-6 乗車地区鉄道駅勢圏カバー率 × 降車地区バス停勢圏カバー率の時間帯別パラメータ

次に、乗降車地区鉄道駅勢圏カバー率のパラメータを見ると、7時台以外は負値になっている。一方、バス停圏カバー率をみると、統計的に有意になっていない時間帯がいくつか見られる。しかしながら、9時周辺や16時頃は負値になっており、これらの時間帯においては、定時定路線の公共交通へのアクセス性の低さを補完する利用が、多少ではあるが、あることが伺える。

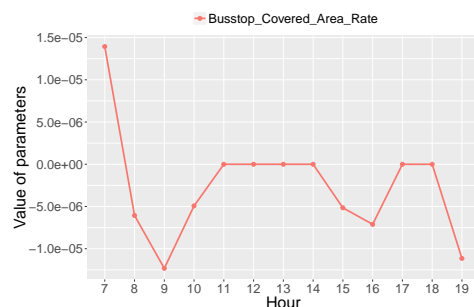


図-7 乗車地区バス停勢圏カバー率 × 降車地区バス停勢圏カバー率の時間帯別パラメータ

4. おわりに

本研究では、愛知県豊橋市を対象に、市内各地区の基本特性や定時定路線型の公共交通モードへのアクセス性などが、地域内のタクシー分布交通量に与える影響を明らかにするため、デジタル日報データに基づいた統計モデル分析を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 乗車地区あるいは降車地区の人口、従業者数のいずれかが100人増加すると、タクシー利用が2-3%程度多くなる。道駅乗降客数100人増加の場合は5-7%程度多くなる。
- 地区間の利用料金が100円高くなる（距離あるいは所要時間が長くなる）とタクシー利用量は9%程

度減少する。

- 乗降車地区の鉄道駅勢圏カバー率およびバス停勢圏カバー率が低いほど、タクシー利用量が多くなる傾向があり、定時定路線への空間的なアクセス性の低さを一部補完するためにタクシーが利用されていることが示唆される。しかしながら、バス

停へのアクセス性の影響程度についてはそれほど大きいものではない。

ここで、バス停へのアクセス性の低さの影響がそれほど大きくないという顕在化した実態は、定時定路線の公共交通がない地域でタクシーを利用したいが、料金が高いことなどによって利用できていない、という潜在的な実態を表しているとも考えられる。これについてはアンケートなどによる詳細に調べる必要がある。

また、今回は定時定路線型の公共交通へのアクセス性について時間的には変わらない説明変数を用いて、時間帯別のモデルを別々に推定したが、今後は時間帯によって変動する公共交通サービス水準を説明変数として用い、全体で1つのモデルとして推定することなどを行う予定である。

謝辞： 本研究の実施にあたっては、愛知県タクシー協会および加盟各社からデータ提供など多大なご協力を賜った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 小野大・松井寛：GPS データに基づくタクシー需要の時間変動特性に関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.58，pp.439-440，2003.
- 2) 吉井稔雄・藤田大輔・北村一：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 Record*, No.2429, pp.110-120, 2014.
- 4) タクシーの流動分析に基づく地域公共交通ネットワーク形成に関する調査報告書，国土交通省中部運輸局，2016.03.
- 5) 福本雅之，松尾幸二郎，山下隆道，松本幸正：デジタル日報データによるタクシー利用の実態把握，第36回交通工学研究発表会論文集，4pages，2016.08（発表予定）.

(2016. 7. 31 受付)

Statistical Analyses on Factors of Taxi Trip Distribution Based on Digital Daily Report Data

Kojiro MATSUO, Masayuki, FUKUMOTO, Yukimasa MATSUMOTO