

交通移動制約を考慮したトリップ頻度モデル

三輪 富生¹・貫井 修平²・佐藤 仁美³・森川 高行³

¹正会員 名古屋大学准教授 未来材料・システム研究所（〒464-8603 名古屋市千種区区不老町）

E-mail: miwa@nagoya-u.jp

³非会員 東急不動産株式会社

²正会員 名古屋大学 未来社会創造機構

中山間地域では公共交通サービスレベルが低く、地域の高齢者は不自由な交通環境にある。本研究では、希望通り行えないトリップを潜在トリップ需要と定義し、これを調査、分析する。豊田市足助地区にてアンケート調査を実施し、得られたデータから各住民のトリップ需要と移動制約のモデル化を試みた。さらに、構築したモデルを用いて、交通のサービスレベルを改善した場合の、潜在トリップ需要の変化について分析した。この結果、観測されたトリップ量をモデル化するより、総トリップ需要と移動制約をモデル化の方が、推定結果の解釈が容易な場合があること、自動車が利用できる方がバスのサービス改善より潜在トリップの解消効果はかなり大きいことなどが示された。

Key Words : trip demand, trip frequency model, elderly, mountainous area

1. はじめに

中山間地域では、公共交通システムのサービスレベルが非常に低く、地域に居住する高齢者などの交通弱者は不便を強いられている。本研究では、行いたいのに行えないトリップが、交通サービスの改善でどの程度減少するかを調査することを目的としている。

一般に、トリップ量を予測するモデルには、回帰モデル¹⁾やオーダードプロビットモデル²⁾、頻度モデル³⁾⁴⁾などが適用され、観測トリップ数を増減させると考えられる変数を説明変数としてモデル化する。このようなトリップ量予測モデルは、交通利便性の高い都市部や、郊外部でも比較的自由にトリップができる市民には妥当だと考えられる。しかし、トリップの実施に、他者の協力を必要とする高齢者や子供などの移動弱者には、必ずしも適当ではない可能性がある。なぜなら、そのような移動弱者は、実施したいトリップの総量（以下、総トリップ需要）のうち、制約が許す範囲内でのみトリップを行うことができる。例えば、公共交通サービスがほとんど利用できない地域の、自動車が運転できない高齢者は、家族の誰かの都合に合わせてしかトリップを行えない。

そのような交通弱者のトリップ需要の分析では、総トリップ需要とトリップ実施制約（以下、可能トリップ量）をモデル化の方が、問題をより適切に評価できると考えられる。つまり、総トリップ需要を X^* 、そのうち実

施されたトリップ量 X （以下、顕在トリップ需要）、実施できなかったトリップ量 X' （以下、潜在トリップ需要）、可能トリップ量 Y は、以下のような関係がある。

$$X^* = X + X'$$

$$Y \begin{cases} \geq X & \text{if } X' = 0 \\ = X & \text{otherwise} \end{cases}$$

この時、潜在トリップ需要 X' は、 $X' = \max(X^* - Y, 0)$ である。

本研究では、中山間地域に居住する高齢者を対象として、移動制約を考慮したトリップ需要予測モデルについての検討を行う。この場合の主なトリップ目的である、日常的な買い物トリップとその他の自由目的トリップを取り上げ、それらの間の相互関係を考慮した分析を行う。

2. 移動制約を考慮したトリップ頻度モデル

(1) 分析の前提

本研究では、主に中山間地域の高齢者を対象にして調査された、最近のある期間で行ったトリップ量（顕在トリップ需要）と、同じ期間に“実施したかったのにできなかったトリップの量（潜在トリップ需要）”についてのデータを使用する。

なお、実施したトリップ数と“実施できなかったトリップがあったか？”といったより簡単な質問からも、総

トリップ需要を被説明変数としたTobitモデルなどによって同様の分析が可能であるが、潜在トリップ需要を調査する目的から、その量を直接質問している。

ただし、いずれの場合も、可能トリップ量（その期間に、実施できるトリップ量はどの程度か？）は、回答が難しいと考えられる。

(2) 移動制約を考慮したトリップ頻度モデル

ある期間に、個人 n が行った目的 i のトリップ回数（顕在トリップ需要）を $X_{i,n}$ 、制約のために行えなかったトリップ回数（潜在トリップ需要）を $X'_{i,n}$ とする。すなわち、制約がなければ行っていたであろうトリップ回数（総トリップ需要）は $X_{i,n}^* = X_{i,n} + X'_{i,n}$ である。また、同じ期間の可能トリップ量を $Y_{i,n}$ とする。

これらの変数は非負の整数値であることから、以降ではいずれにもポアソン分布を仮定する。ポアソン分布はランダムに起きる事象の発生回数の分布であり、特に移動制約を表す可能トリップ量に適用することは違和感もあるが、その場合は、非負の値をとる他の分布（例えば、対数正規分布やワイブル分布）でも、以降の説明やモデル構造は大きくは変わらない。

ポアソン分布を仮定して、総トリップ需要 $X_{i,n}^*$ が k_i である確率、および可能トリップ量 $Y_{i,n}$ が l_i である確率を、以下のように表す。

$$P(X_{i,n}^* = k_i) = f_n(k_i) = \frac{\exp(-\lambda_{i,n}) \lambda_{i,n}^{k_i}}{k_i!} \quad (1.a)$$

$$\lambda_{i,n} = \exp(\mathbf{z}'_n \boldsymbol{\beta}_i) \quad (1.b)$$

$$P(Y_{i,n} = l_i) = g_n(l_i) = \frac{\exp(-\tau_{i,n}) \tau_{i,n}^{l_i}}{l_i!} \quad (2.a)$$

$$\tau_{i,n} = \exp(\mathbf{w}'_n \boldsymbol{\gamma}_i) \quad (2.b)$$

ここに、 $f_n(\cdot)$ と $g_n(\cdot)$ はそれぞれの確率質量関数、 \mathbf{z}_n と \mathbf{w}_n は説明変数ベクトル、 $\boldsymbol{\beta}_i$ と $\boldsymbol{\gamma}_i$ はパラメータベクトルである。

アンケートによって顕在トリップ需要 $X_{i,n}$ と潜在トリップ需要 $X'_{i,n}$ が得られれば、可能トリップ量 $Y_{i,n}$ に関する確率は以下のように表せる。

$X'_{i,n} = 0$ のとき

$$P(Y_{i,n} \geq X_{i,n}) = \sum_{l_i=X_{i,n}}^{\infty} g_n(l_i)$$

$X'_{i,n} > 0$ のとき

$$P(Y_{i,n} = X_{i,n}) = g_n(X_{i,n}) \quad (3)$$

したがって、尤度関数は以下のように定義できる。

$$L(\boldsymbol{\beta}_i, \boldsymbol{\gamma}_i | X_{i,n}, X'_{i,n}, \mathbf{z}_n, \mathbf{w}_n) = \begin{cases} f_n(X_{i,n}) \sum_{l_i=X_{i,n}}^{\infty} g_n(l_i) & \text{if } X'_{i,n} = 0 \\ f_n(X_{i,n} + X'_{i,n}) g_n(X_{i,n}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

(3) 移動目的間の相互影響の考慮

本研究では、中山間地域の高齢者を対象に、日常的な買い物トリップと娯楽や外食などの自由目的トリップの2種類の移動目的を対象とする。式(1)~(4)における添え字 i は、それぞれ $i = 1$ （買い物トリップ）と $i = 2$ （自由目的トリップ）である。これらの2種類の移動目的を取り上げた理由は、頻度が低く比較的計画的なトリップを行う通院などに比べて、制約の影響が大きいと考えたためである。

また、同一個人異なる移動目的のトリップ頻度は相互に影響しあっていると考えられ、本研究ではこれを考慮する。なお、トリップ目的間の相互影響は、総トリップ需要間と移動制約間にそれぞれ仮定する。

a) 2変量ポアソンモデル

相互影響を考慮するために、2変量のポアソン分布を適用する。2変量ポアソン分布はいくつか提案されている³⁾⁻⁶⁾。総トリップ需要を例にすると、最も一般的な確率質量関数は、ポアソン分布に従う3つの独立な変数 $x_{1,n}, x_{2,n}, x_0$ を用いて以下の式で表される³⁾。

$$X_{i,n}^* = x_{i,n} + x_0 \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

$$P(X_{1,n}^* = k_1, X_{2,n}^* = k_2) = f_n(k_1, k_2) = \exp(-\lambda'_{1,n} - \lambda'_{2,n} - \lambda_0) \sum_{k=0}^{\min(k_1, k_2)} \frac{\lambda_0^k}{k!} \frac{\lambda_1'^{k_1-k}}{(k_1-k)!} \frac{\lambda_2'^{k_2-k}}{(k_2-k)!} \quad (6)$$

ここに、 $\lambda'_{1,n}, \lambda'_{2,n}, \lambda_0$ は正のパラメータであり、 $\lambda'_{1,n} = \exp(\mathbf{z}'_n \boldsymbol{\beta}_1)$ 、 $\lambda'_{2,n} = \exp(\mathbf{z}'_n \boldsymbol{\beta}_2)$ 、 $\lambda_0 = \exp(\beta_0)$ のように表す。また、それぞれ、確率変数 $x_{1,n}, x_{2,n}, x_0$ の期待値と分散である。ポアソン分布は再生性を持つので、2つの確率変数の和もポアソン分布に従う。また、移動目的 i の総トリップ需要の期待値と分散は、 $E(X_{i,n}^*) = \text{Var}(X_{i,n}^*) = \lambda_{i,n} = \lambda'_{i,n} + \lambda_0$ である。さらに、トリップ目的異なる2つの総トリップ需要の共分散と相関係数は、以下のように表される。

$$\text{cov}(X_{1,n}^*, X_{2,n}^*) = \lambda_0 \quad (7)$$

$$\text{corr}(X_{1,n}^*, X_{2,n}^*) = \frac{\lambda_0}{\sqrt{(\lambda'_{1,n} + \lambda_0)(\lambda'_{2,n} + \lambda_0)}} \quad (8)$$

したがって、正の相関係数のみが推定可能である。

b) 条件付ポアソンモデル (Conditional Poisson model)

Berkhout and Plug (2004)は、共分散を表すパラメータ λ_0 を導入する代わりに、一方の頻度がもう一方の頻度に直接影響を及ぼすことを仮定した2変量ポアソン分布を提案し、条件付ポアソンモデル (Conditional Poisson model)と呼んでいる。例えば、移動目的1の総トリップ需要が移動目的2の総トリップ需要に影響すると仮定する場合、確率質量関数は以下のように表される。

$$P(X_{1,n}^* = k_1, X_{2,n}^* = k_2) = f_n(k_1, k_2) = \frac{\exp(-\lambda_{1,n}) \lambda_{1,n}^{k_1} \exp(-\lambda_{2,n}) \lambda_{2,n}^{k_2}}{k_1! k_2!} \quad (9.a)$$

$$\lambda_{1,n} = \exp(\mathbf{z}'_n \boldsymbol{\beta}_1) \quad (9.b)$$

$$\lambda_{2,n} = \exp(\mathbf{z}'_n \boldsymbol{\beta}_2 + \alpha k_1) \quad (9.c)$$

ここに、 α は、移動目的2のトリップ頻度に対する移動目的1のトリップ頻度の影響度を表すパラメータである。 $X_{1,n}^*$ の期待値と分散は $\lambda_{1,n}$ となるが、移動目的1のトリップ頻度の影響を受ける $X_{2,n}^*$ の期待値と分散は、以下のように表せる⁹⁾。

$$E(X_{2,n}^*) = \exp\{\lambda_{1,n}(\exp(\alpha) - 1) + \mathbf{z}'_n \boldsymbol{\beta}_2\} \quad (10.a)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(X_{2,n}^*) \\ = E(X_{2,n}^*) + E(X_{2,n}^*)^2 [\exp\{\lambda_{1,n}(\exp(\alpha) - 1)^2\} - 1] \end{aligned} \quad (10.b)$$

一般的なポアソン分布や2変量ポアソン分布では、確率変数の期待値と分散が等しくなるが、式(10)から分かるように、このモデルでは、 $\alpha = 0$ 以外では、分散は期待値より大きな値をとる。

さらに、トリップ頻度の2つの移動目的間の共分散と相関係数は、以下のように表される。

$$\text{cov}(X_{1,n}^*, X_{2,n}^*) = \lambda_{1,n} E(X_{2,n}^*) (\exp(\alpha) - 1) \quad (11.a)$$

$$\text{corr}(X_{1,n}^*, X_{2,n}^*) = \frac{\lambda_{1,n} E(X_{2,n}^*) (\exp(\alpha) - 1)}{\sqrt{\lambda_{1,n} \text{Var}(X_{2,n}^*)}} \quad (11.b)$$

前述の一般的な2変量ポアソン分布とは異なり、 $\alpha < 0$ の場合には負の相関も表現することができる。

以上の説明は、総トリップ需要 $X_{i,n}^*$ に関する確率質量関数 $f_n(k_1, k_2)$ についてであったが、可能トリップ量 $Y_{i,n}$ に関する確率質量関数 $g_n(l_1, l_2)$ についても式(6)や式(9)のように定義する。

さて、アンケートによって顕在トリップ需要 $X_{i,n}$ と潜在トリップ需要 $X'_{i,n}$ が得られたとする。このとき、可能

トリップ量 $Y_{i,n}$ に関する確率は以下のように表すことができる。

$X'_{1,n} = 0, X'_{2,n} = 0$ のとき

$$P(Y_{1,n} \geq X_{1,n}, Y_{2,n} \geq X_{2,n}) = \sum_{l_1=X_{1,n}}^{\infty} \sum_{l_2=X_{1,n}}^{\infty} g_n(l_1, l_2)$$

$X'_{1,n} = 0, X'_{2,n} > 0$ のとき

$$P(Y_{1,n} \geq X_{1,n}, Y_{2,n} = X_{2,n}) = \sum_{l_1=X_{1,n}}^{\infty} g_n(l_1, X_{2,n})$$

$X'_{1,n} > 0, X'_{2,n} = 0$ のとき

$$P(Y_{1,n} = X_{1,n}, Y_{2,n} \geq X_{2,n}) = \sum_{l_2=X_{2,n}}^{\infty} g_n(X_{1,n}, l_2)$$

$X'_{1,n} > 0, X'_{2,n} > 0$ のとき

$$P(Y_{1,n} = X_{1,n}, Y_{2,n} = X_{2,n}) = g_n(X_{1,n}, X_{2,n}) \quad (12)$$

したがって、尤度関数は以下のように定義できる。

$$L(\boldsymbol{\beta}_1, \boldsymbol{\gamma}_1, \boldsymbol{\beta}_2, \boldsymbol{\gamma}_2, \alpha | X_{1,n}, X'_{1,n}, X_{2,n}, X'_{2,n}, \mathbf{z}_n, \mathbf{w}_n) = \begin{cases} f_n(X_{1,n}, X_{2,n}) \sum_{l_1=X_{1,n}}^{\infty} \sum_{l_2=X_{1,n}}^{\infty} g_n(l_1, l_2) & \text{if } X'_{1,n} = 0 \text{ and } X'_{2,n} = 0 \\ f_n(X_{1,n}, X_{2,n} + X'_{2,n}) \sum_{l_1=X_{1,n}}^{\infty} g_n(l_1, X_{2,n}) & \text{else if } X'_{1,n} = 0 \text{ and } X'_{2,n} > 0 \\ f_n(X_{1,n} + X'_{1,n}, X_{2,n}) \sum_{l_1=X_{2,n}}^{\infty} g_n(X_{1,n}, l_2) & \text{else if } X'_{1,n} > 0 \text{ and } X'_{2,n} = 0 \\ f_n(X_{1,n} + X'_{1,n}, X_{2,n} + X'_{2,n}) g_n(X_{1,n}, X_{2,n}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

4. 対象地区とアンケート調査データの概要

(1) 対象地区の概要

本研究では、主に豊田市足助地区に居住する高齢者を対象とする。この地区は2005年4月に藤岡町など他の5町村とともに豊田市に編入されており、豊田市中心部までバスで1時間ほどの距離にある。また、豊田市 (91,832ha) の約21%を占める面積に対して、平成28年2月1日時点での人口は8,209人と豊田市人口 (422,698人) のわずか1.94%を占めており、地域住民が低密度に居住していることが分かる。また、高齢化率は38%であり、豊田市全域の21%と比べて高齢化が進んでいる。

同地区には、南の岡崎市方面に名鉄バス (名鉄バス(株))、西の旧豊田市や北の豊田市旭地区、北東の豊田



図-1 足助地区の位置

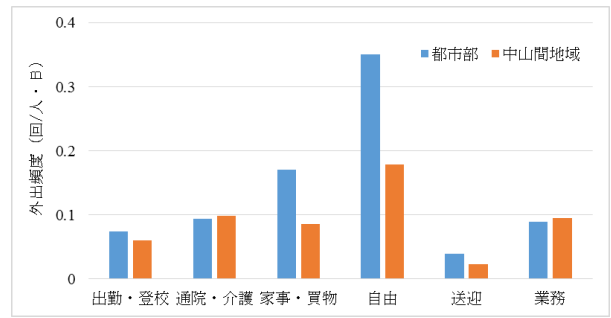
市稲武地区を幹線道路を通じて結ぶおいでんバス（豊田市），および地域バスである「あいま〜る」（豊田市足助支所）が運行されている．地域バスの「あいま〜る」には13路線あり，足助地区内を広くカバーしているが，地区中心部を巡回する1路線以外の12路線は週1便のみの運行であり，サービスレベルは非常に低い．その他の移動手段として地区内にはタクシー営業所もある．地域バスやタクシーは，主に，地区内各地から地区中心部への移動に利用されている．また，足助地区の北に位置する旭地区，北東に位置する稲武地区などからは，通院などの目的で足助地区へのトリップが比較的多く存在する．

平成23年の中京都市圏パーソントリップ調査を集計すると，地区内の交通手段分担率では，約83%のトリップで自動車が代表交通手段となっており，自動車依存の高い地区である．

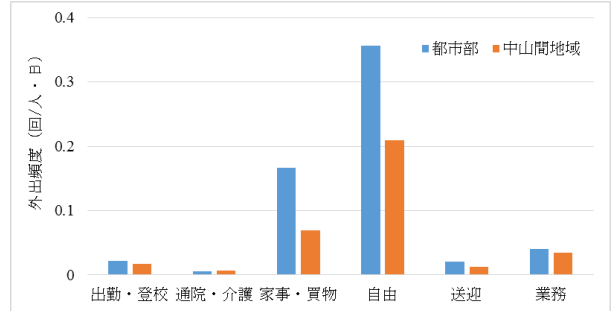
図-2は，高齢者の外出頻度を示している．ここでは，豊田市のうち，旧豊田市部を“都市部”，旧6町村を“中山間地域”として集計した．ここでの集計では，食事，娯楽，観光，非日常的買い物，習い事などを自由トリップとしている．図より，中山間地域の高齢者は，通院や業務を除くすべての活動で外出頻度が低い．特に，トリップ頻度の高い“家事・買い物”や娯楽などの“自由な外出”において顕著な差がみられ，中山間地域の方が高齢者の方が外出頻度が低いことが分かる．また，図-3は，宅外活動時間について比較している．図より，中山間地域の高齢者は，宅外活動時間においても，都市部の高齢者より短く，やはり買い物や自由な外出でその差が顕著である．ここでは示していないが，非高齢者では，都市部と中山間地域の差がかなり小さくなる．以上より，中山間地域の高齢者は，外出において強い制約を受けていると考えることができる．

(2) アンケート調査データの概要

本アンケート調査は，平成29年4月に，足助病院（病床数203）への来院者を対象として行なわれた．配布数は2,393，回収数1,101（回収率46.0%）であった．このうち，本研究では，分析に使用する項目で不備の無かった496サンプルを使用する（有効サンプル率20.7%）．被験

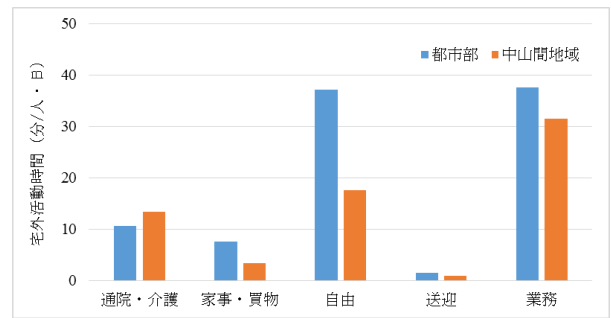


(a) 平日

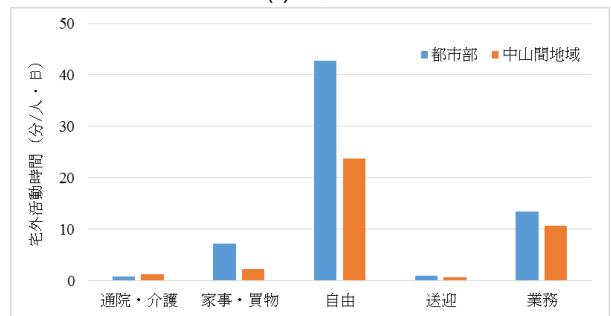


(b) 休日

図-2 高齢者の外出頻度（豊田市）



(a) 平日



(b) 休日

図-3 高齢者の宅外活動時間（豊田市）

者は高齢者のみに限定していないが，データの大半が高齢者から得られている．また，足助地区居住者は284サンプルと使用データの57.3%を占め，次いで，旭地区が78サンプル（15.7%），稲武地区が57サンプル（11.5%）となっている．

主な調査内容を表-1に示す．表からも分かるように，中山間地域における，住民の主な交通行動と潜在的な外出需要について調査しており，平日と休日を区別していない．なお，アンケート調査においては，娯楽，外食，

表-1 アンケート調査の主な内容

項目	主な調査項目
個人属性	年齢、性別、職業、居住地、同居人数、自動車の保有・利用状況など
普段の外出について	・日常的買物トリップの頻度、交通手段および目的地 ・自由トリップ（娯楽・外食・スポーツ・趣味など）の頻度、交通手段および目的地
潜在トリップ需要 ※最近1ヶ月で行きたかったのに行けなかった外出	・日常的買物トリップで、行けなかった回数、その理由と目的地 ・自由トリップ（娯楽・外食・スポーツ・趣味など）で、行けなかった回数、その理由と目的地

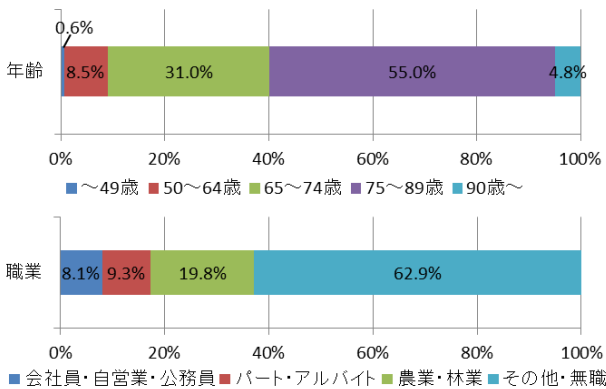
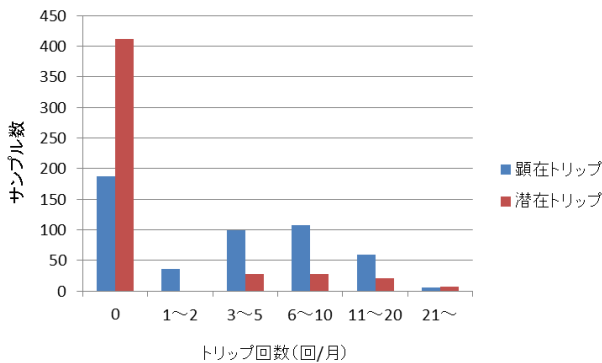
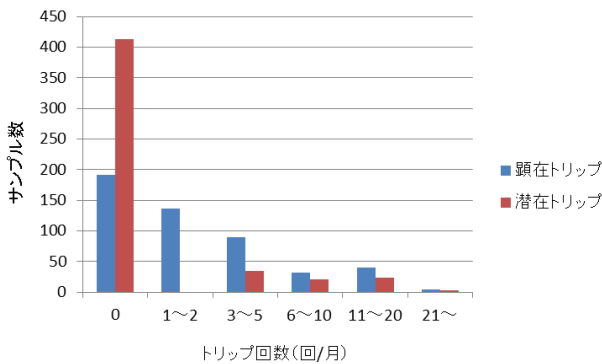


図-4 年齢および高齢者の宅外活動時間



(a) 日常的買物トリップ



(b) 自由トリップ

図-5 顕在トリップ需要と潜在トリップ需要

スポーツ、趣味のためのトリップを“自由トリップ”と定義している。

使用データでは、やや女性に偏っていた（男性44.0%、女性56.0%）。また、年齢および職業の分布を図-4に示す。図より、65歳以上が90.9%と大半を占めていることが分かる（65歳未満が9.1%）。また、職業では、62.9%がその他および無職（主婦・主夫を含む）であり、ついで農林業従事者が19.8%となっており、これらが80%以上を占める。

図-5は、日常的な買物トリップと自由トリップ（娯楽・外食・スポーツ・趣味）について、実際に行ったトリップ（顕在トリップ）と行きたかったけど行けなかったトリップ（潜在トリップ）の分布を示している。図より、顕在トリップでは、日常的買物トリップの方が高いトリップ頻度を示している。ただし、高齢者が多いため、日常的な買物であっても、1か月に1度もトリップを行わない被験者が多い。潜在トリップの分布は、日常的買物トリップと自由トリップに大きな違いはみられない。

5. モデル構築と分析

(1) パラメータ推定結果

a) 顕在トリップ需要モデル

表-2の第2, 3列目が、顕在トリップ需要 $X_{i,n}$ を、式(6)もしくは式(9)の2変量ポアソン分布に適用して推定したパラメータ推定値である。条件付ポアソン分布では、トリップ目的間の影響の方向が2パターン（買物トリップ頻度→自由トリップ頻度、もしくは自由トリップ頻度→買物トリップ頻度）存在するが、最終尤度値の高い影響方向の推定結果のみを示している。

最終尤度の値から、顕在トリップ需要については、2変量ポアソン分布より、条件付ポアソン分布の方が当てはまりが良いことがわかる。またこの際、トリップ頻度間の影響は買物トリップ頻度が自由トリップ頻度に正の影響を与えていることがわかる。

その他のパラメータ推定値から、自動車が運転できる被験者ほど、どちらの目的でもトリップ頻度が高くなること、目的地までの距離が遠いほどその頻度が少なくなることがわかる。また、最寄バス停での運行頻度は、買物トリップの頻度には影響しないが、自由トリップの頻度には正に影響しており、対象地域のバスサービスは買物より自由目的トリップで使用されていることがわかる。

b) 潜在トリップ需要モデル

同様に、表-2の第4, 5列目に潜在トリップ需要 $X'_{i,n}$ のパラメータ推定結果を示す。最終尤度値から、2種類のトリップ目的間で同じ相互影響を仮定する2変量ポアソン分布の方が当てはまりが高かった。

推定結果より、運転可能ダミーのパラメータが買物トリップでのみ有意に負の値となっており、運転可能であると、潜在買物トリップ（行きたかったのに行けなかった買物）が有意に少なくなることがわかる。同様に、自宅に多くの自動車がある場合も、潜在買物トリップが有意に減少する。しかし、潜在自由目的トリップには、これらの条件は影響していない。また、目的地距離は、潜在買物トリップでは負、潜在自由トリップでは正のパラメータとなっており、目的地が遠い自由トリップほど実施されにくいことがわかる。最寄りバス停のバス頻度は、潜在自由トリップで負のパラメータが推定されており、バス頻度が高いと実施できなかった自由トリップが低下することがわかる。ただし、バス頻度は買物トリップで有意に正に推定されており、解釈が難しい結果が得られたといえる。

c) 総トリップ需要と移動制約によるモデル

表-3に、総トリップ需要 $X_{i,n}^*$ と移動制約 $Y_{i,n}$ によるモデル(式(13))のパラメータ推定結果を示す。ここで、総トリップ需要には個人や世帯の属性を、移動制約には職

表-2 顕在・潜在トリップ需要モデルの推定結果

	顕在トリップ需要		潜在トリップ需要	
	2変量ポアソン	条件付ポアソン 買物→自由	2変量ポアソン	条件付ポアソン 自由→買物
＜日常的買物トリップ＞				
定数項	1.38*	1.47*	-0.439*	0.138
男性	-0.234*	-0.135*	0.528*	0.0900
75歳以上	-0.477*	-0.385*	1.47*	0.620*
通勤者	0.250*	0.200*	0.491*	0.202
農林業従事	0.0185	0.0295	-0.226	-0.0562
同居人数	-0.0219	-0.0196	0.184*	0.161*
運転可能 ^a	0.558*	0.533*	-1.01*	-0.867*
自動車余裕 ^b	0.100	0.117	-0.306*	-0.351*
目的地距離 ^c	-0.0355*	-0.0287*	-0.0422*	-0.0092*
バス頻度 ^d	0.0014	0.0030	0.0318*	0.0471*
＜自由トリップ＞				
定数項	0.282	0.257	-0.773*	0.305
男性	-0.223*	-0.0649	0.380*	0.0712
75歳以上	-3.55*	-0.101	0.753*	0.424*
通勤者	-0.216*	-0.297*	0.138	-0.0236
農林業従事	-0.334*	-0.186*	-0.442*	-0.512*
同居人数	-0.0569*	-0.0422*	0.0211	0.0058
運転可能 ^a	1.22*	0.799*	0.0396	-0.0116
自動車余裕 ^b	0.0098	0.0508	0.274*	0.0397
目的地距離 ^c	-0.0207*	-0.0161*	0.0043*	0.0032*
バス頻度 ^d	0.0283*	0.0143*	-0.0695*	-0.0329*
相互影響 ^e	0.934*	0.0850*	0.575*	0.0868*
サンプル数	496	496	496	496
最終尤度	-3496.6	-3412.9	-3296.2	-3333.4

*5%有意

^a自ら自動車を運転できるとき 1 ^b自動車保有台数/運転免許保有者数 ^c単位: km ^d最寄りバス停の運行頻度(回/日)

^e2変量ポアソンでは λ_0 , 条件付ポアソンでは式(9.c)の α

業や交通サービスレベルなどを説明変数としている。

最終尤度の値から、条件付ポアソン分布の方が当てはまりが高いことがわかる。またこの際、トリップ目的間の影響の方向は、総トリップ需要では自由トリップの頻度が買物トリップの頻度に、移動制約では買物トリップが自由トリップにそれぞれ正の影響を及ぼしていることがわかる。

推定結果より、総トリップ需要では、男性ほど買物トリップ需要が少なく、自由トリップ需要が多いこと、同居人数が多いほど買物トリップ需要が多く、自由トリップ需要が少ないことなどがわかる。移動制約を見ると、75歳以上の高齢者は買物トリップを行にくいことが、自由トリップは行いやすことが、農林業従事者は自由トリップが行いにくいこと、自ら自動車が運転できる被験者はどちらのトリップについても制約が少ないこと、目的地が遠いほどトリップが行いにくく、バス頻度が高いほどどちらの移動目的でもトリップが行いやすことがわかる。これらは、いずれも直観的であり理解しやすい。

e) 政策分析例

表-3に示した推定結果から算出できる、各個人の総トリップ需要 $X_{i,n}^*$ の期待値と移動制約 $Y_{i,n}$ の期待値を用いて、いくつかの交通政策の実施が潜在需要の変化に与える影響を分析する。ただし、総トリップ需要や移動制約は確率的に分布していると仮定しており、期待値を用いた計算は厳密ではないと考えられる。例えば、総トリッ

表-3 総トリップ需要と移動制約によるモデルの推定結果

	2変量ポアソン		条件付ポアソン	
	買物	自由	買物	自由
＜総トリップ需要＞				
定数項	1.53*	1.38*	1.56*	1.73*
男性	-0.0876*	0.0905	-0.0818*	0.0969*
75歳以上	-0.0540	-0.198*	-0.0502	-0.190*
通勤者	0.241*	-0.189*	0.202*	-0.120*
農林業従事	-0.175*	-0.360*	-0.0823	-0.296*
同居人数	0.0582*	-0.0171	0.0470*	-0.0236*
相互影響 ^e	1.41*		0.0385*(自由→買物)	
＜移動制約＞				
定数項	1.37*	0.149	2.32*	-1.20*
75歳以上	-0.496*	-0.222*	-0.685*	1.34*
通勤者	0.214*	-0.0835	0.0711	0.143
農林業従事	0.116	-0.276*	0.273*	-0.496*
運転可能 ^a	0.696*	1.58*	0.455*	0.421*
自動車余裕 ^b	0.0506	0.104	-0.0142	0.0774
目的地距離 ^c	-0.0130*	-0.0119*	-0.0142*	-0.0129*
バス頻度 ^d	0.0058	0.0252*	0.0146*	0.0181*
相互影響 ^e	2.66*		0.196(買物→自由)	
サンプル数	496		496	
最終尤度	-6260.9		-5880.6	

*5%有意

^a自ら自動車を運転できるとき 1 ^b自動車保有台数/運転免許保有者数 ^c単位: km ^d単位: 回/日

^e2変量ポアソンでは λ_0 , 条件付ポアソンでは式(9.c)の α

ブ需要の期待値が、移動制約を表す可能トリップ量の期待値よりも小さい場合、期待値のみによる計算では、潜在需要はゼロで総トリップ需要の期待値がそのまま顕在需要となるが、実際には、総トリップ需要が移動制約より大きくなる状況が起こりうる。このように期待値のみで評価することは厳密な計算ではないが、数値計算によって計算誤差は小さいことを確認している。

ここでは、バス頻度を変化させた場合と、自由に自動車を利用できる場合の潜在需要を算出した。自由に自動車を運転できる状況は、自動運転車による交通サービスが提供される将来を想定しているが、利用費用については考慮していない。分析は、足助地区内のみを対象にしており、バスサービスの頻度は、町丁目ごとに平均値を集計して使用した(図-6)。また、潜在トリップ需要についても、町丁目ごとに平均値を集計し、町丁目内の属性別人口を乗じて算出した。算出された足助地区全体での潜在トリップ需要を表4に示す。

前述の通り、足助地区内の地域バスは週1便という非常に低いサービスレベルであり、毎日1便増加は大きなサービス改善であるが、潜在トリップ需要の削減にはあまり効果はない。毎日5便程度のサービスであれば、潜在トリップ需要を30%前後削減できることがわかる。また、バスサービスの改善は自由目的のトリップに強く影響することもわかる。一方、自動車が自由に利用できるようになることは、バスのサービス改善より大きな影響があり、潜在トリップ需要を90%前後削減できる。目的地までの距離や所要時間が長い中山間地域では、個別の

自動車利用の方が、生活利便性を高めることがわかる。

6. おわりに

本研究では、中山間地域における高齢者の交通サービス評価を目的として、アンケート調査を行い、実施しなかったのにできなかったトリップ、すなわち潜在トリップ需要について分析を行った。そのために、総トリップ需要と移動制約をモデル化し、潜在トリップ需要をその差分として算出することとした。

分析の結果、日常的な買物トリップの頻度と自由目的トリップの頻度には正の相関がみられること、総トリップ需要と移動制約をモデル化するほうが、推定結果の解釈が容易な場合があることが示された。また、バスのサービスレベル改善では、日常的な買物トリップにおける利便性を向上しにくいこと、自動車が利用できるほうがバスのサービス改善より効果がかなり大きいことなどが示された。

今後の課題として、豊田市足助地区以外の周辺の地域では、異なる形態やより利便性の高い地域バスが運行されており、これらの地域についても潜在トリップ需要を算出する必要がある。

謝辞: 本研究は、トヨタモビリティ基金「中山間地域におけるモビリティ活用型モデルコミュニティの構築」、および国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム」の支援によって行われました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Goulias, K. G., Pendyala, R. M. and Kitamura, R.: Practical method for the estimation of trip generation and trip chaining, Transportation Research Record 1285, pp. 47 - 56, 1990.
- 2) Schmöcker, J. D., Quddus, M. A., Noland, R. B. and Bell, M. G. H.: Estimating trip generation of elderly and disabled people, Transportation Research Record 1924, pp. 9 - 18, 2005.
- 3) Holgate, P.: Estimation for the bivariate Poisson distribution. Biometrika, Vol.51(1), pp.241-245, 1964.
- 4) Johnson, N. L. and Kotz, S.: Distributions in statistics: discrete distributions, Now York, John Wiley & Sons, 1969.
- 5) Berkhout, P. and Plug, E.: A bivariate Poisson count data model using conditional probabilities, Statistica Neerlandica, Vol. 58(3), pp. 349 - 364, 2004.
- 6) Lakshminarayana, J., Pandit, S. N. N. and Srinivasa Rao, K.: On a bivariate Poisson distribution, Communications in Statistics, Vol.28(2), pp. 267-276, 1990.

(2019.**受付)

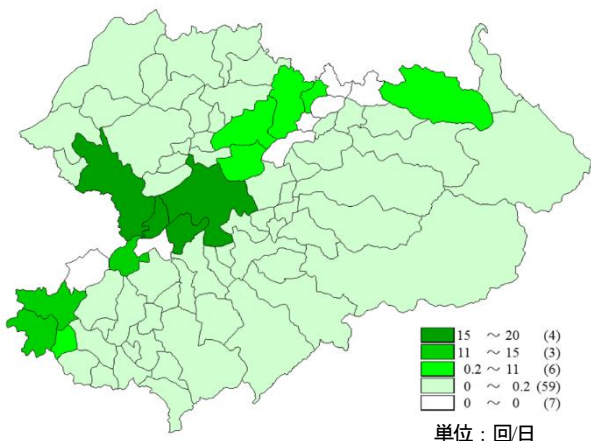


図-6 バスサービス頻度の分布(豊田市足助地区)

表-4 交通サービスの改善による潜在トリップ需要の変化

	潜在トリップ需要(トリップ/千人・日)	
	買物トリップ	自由トリップ
現状	235.4 (-)	338.3 (-)
バス増便(+1本/日)	223.2 (-5.2%)	313.3 (-7.4%)
バス増便(+5本/日)	175.4 (-25.5%)	226.3 (-33.1%)
自由な自動車利用	16.0 (-93.2%)	43.7 (-87.1%)

TRIP FREQUENCY MODEL CONSIDERING CONSTRAINTS

Tomio MIWA, Shuhei NUKUI, Hitomi SATO and Takayuki MORIKAWA