

分散需要を集中化するダイアリー・デマンド管理の提案*

The Diary-Demand Management to Centralize Distributed Demand

安野貴人**

By Takato YASUNO**

1. はじめに

1999年の運輸政策審議会の自動車交通部会答申では、事業者の創意工夫を発揮させ、より良いサービス提供を行うため、需給調整規制を廃止し、新規参入のルールを設け、地方部では、生活交通の必要なサービスが効率的かつ多様な形で提供できる新たなシステムと内部補助を前提としない生活交通を確保する仕組みが必要である精神が謳われた。2002年、需給調整規制を廃止し、一般の交通事業禁止や特定事業者への免許交付等の監督行政が緩和された。事業者は、自由に交通事業に参入・退出できるようになった。バス事業の規制緩和に伴い、地方都市の自治体を取りまく生活交通の事情が変化してきた¹⁾。人口集積の少ない立地条件や民間努力による採算が見込めない地域から、補助なしで持続経営が困難な路線を対象に、民間バス事業者が撤退し、地域の生活の足を支えるため、代替的に自治体がバス事業に乗り出すケースが目立ってきた。

生活交通は、民間事業者から自治体、そして市民組織のように担い手の多様化と役割分担が進む方向に変化している。道路運送法第21条は、貸切バスによる乗合旅客輸送を禁止しているが、例外的に大臣の許可のもとに、採算が見込めず乗合バス事業者が運行しない路線で、貸切バス事業者のバスを借り上げ、経費から運賃を差し引いた分を補助し、路線バスとほぼ同様のサービスを提供できる(21条バス)。原則、自家用自動車の有償運送は認められていないが、道路運送法第80条1項より国土交通

*キーワード：起業的な生活交通サービス、活動ダイアリー・パネル、ダイアリー需要マネジメント、需要の集中化
**正員、工博、株式会社ニュージェック技術開発グループ

社会計画チーム（東京都江東区新大橋一丁目12-13、

TEL03-5625-1822、yasunotk@newjec.co.jp）

大臣の許可を受けた場合に可能となった。自治体が所有する自家用自動車を用いて有償の路線バスを運行可能である(80条バス)。2004年から市民組織による有償ボランティア輸送が法的に可能となり、新しい生活交通の役割を担うことが期待されている。2005年より、地域と利用者でつくる地域交通実現のための組織の位置づけで、地域交通会議の制度が設けられた。これは路線バスを含め、地域生活交通サービスのあり方を広く議論する場で、自治体が主催できる。生活交通の協議で、既存のサービス見直しや新たな路線検討において、生活交通の需要と費用のバランスを考えながら、時間帯と頻度を市民の生活に連動させ、財政負担が持続する生活交通サービスの計画立案が求められている。現状のサービスのもとで顕在化した需要だけでなく、日々の生活に伴う潜在的な活動需要にも訴求する必要がある。

従来、生活交通のニーズや生活の実態を把握するため、アンケート調査や生活実態調査が行われてきた²⁾。このうち、活動ダイアリー調査は、一定の期間内に個人がいつどこでどのような活動をしてきたか調査するものである。活動の開始時刻、行き先、活動の種類、活動の時間など詳細なデータが得られる反面、日記を綴るに等しい内容は個人情報と隣り合わせで、回答者の負担にも配慮する必要がある。活動ダイアリーに関連した生活交通の潜在需要の抽出方法についても十分に確立しておらず、交通実態調査に伴う付帯調査の域を出ていない。これまで生活行動分析の研究では、個人の生活行動を予測する様々な数理モデルが提案されている。これらは交通行動モデルよりも的確に生活交通の需要を予測できる点に特徴がある³⁾。生活交通の分析については、コミュニティバスや過疎地域のバスや乗り合いバス等の多くの分析が行われている¹⁾。この中で、通

勤・通学など特定の時間帯に着目したクロスセクションの交通行動分析は行われている。ここでは、バスへの転換を促すことを主眼とした交通手段の選択モデルが主流となってきた。しかし、1日のなかで連続した複数の時間帯の生活行動を包括するパネル分析はほとんど行われていない。また、活動ダイアリー調査の結果を活用し、1日の生活サイクルの中で時間帯別の活動需要を明示的に考慮した生活行動の分析方法は見あたらない。

活動ダイアリー・パネル分析は、1日の各時間帯における生活行動のサイクルを時間横断的に把握し、それに対応する潜在的に生活行動が集中的に発生する時間帯の機会を抽出することを可能にする。このような1日の活動機会を反映した活動需要の情報は、生活ニーズに密着した生活交通サービス提供可能にする。日々の生活で起こる活動需要に良好にマッチした運行時間帯を操作すれば、生活交通の需要を誘発し、生活の足としても貢献し、生活交通サービスの持続性が向上する可能性がある。そのためには、日々の活動需要を明示的に考慮した起業的な需要マネジメントが求められる。

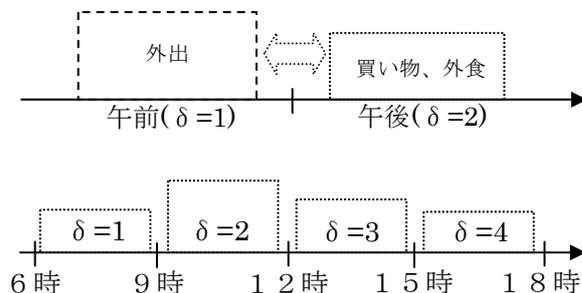
本稿では、1日の生活サイクルで発生する活動需要に着目し、異なる時間帯で分散する潜在的な生活交通の需要を集中化・誘発する機会を指標化し、起業的な生活交通サービス提供を支援する活動ダイアリー・パネル分析の方法を提案する。以下、2. で問題意識を述べ、3. で活動ダイアリー・パネル分析を定式化し、4. でまとめと応用課題に言及する。

2. 基本的な問題意識

(1) 時間横断的需要と活動ダイアリー・パネル

日々の時間的な生活サイクルを把握する際に、活動ダイアリー・データが有用である⁴⁾。活動ダイアリー・データは、地域において個人の1日における生活行動のサイクルを詳細に把握できる。すなわち、生活行動の種類、その行動の開始時間と終了時間、ひとりの行動か同伴者を伴う行動か、その行動を行った場所が自宅か外出目的地か等、日記に綴るように、個人の生活行動データが時間的に連続して記録される。詳細なデータを把握できる反面、回答者や記録者の負担が多いため、全数調査は不可能に

近いが、電子回答による円滑化が期待される。ある個人の集団を対象に、1日の活動ダイアリー・データを収集できれば、それを用いて1日の生活サイクルの予測に使用できる。かつ、活動の開始に伴い派生する生活交通の潜在的需要も把握できる。



図—1 時間帯別の活動頻度 (ダイアリー・ヒストグラム)

1日の生活サイクルのなかで、地域全体の生活リズムが共鳴しあい、特定の時間帯に活動需要が集中するならば、その活動需要に対する起業的なビジネス機会が得られる可能性がある。よく買い物する時間帯を把握し、その前後のお出かけ需要を誘発するため、当該時間帯の生活交通サービスを充実させる方策が考えられる。子育ての生活行動に合わせて、育児支援に寄与する生活交通サービスを提供することも考えられる。高齢者がよく通院する時間帯に、受診から帰宅までに用事しやすい小回りの生活交通サービスも考えられる。一方、住民相互に生活リズムが異なるため、薄い活動需要が時間的に平坦に分散する状況も起こりうる。この場合、顕在化する生活交通の需要もさらに分散し、生活交通事業の成立に必要な水準を下回るリスクが生じる。この生活交通需要の低下リスクは、地方都市や中山間地域の生活交通サービスにおいて起こりやすい状況である。

居住者や事業者が集積する地域ならば、混雑が生じ、生活交通の需要は飽和状態となり、この種のリスクはほとんど問題とならない。生活交通としてのバスは、マイカー利用できない子供や高齢者によく利用される。その需要は利用者の年齢やマイカー使用環境等の生活条件に影響を受ける。特定の利用者層に偏ることも、生活交通の需要低下リスクの要因となっている。これは、人口密度が高く、特定の利用者層も集積する地域ならば問題とならない。中山間地域では、特定の利用者層が相対的に希薄となることも生活交通の需要低下に拍車をかける。この

状況においては、特定の利用者層を標的に、彼らがよく利用する時間帯に利用者本位の生活交通サービスを提供し、利用促進するマーケティング方策が必要となる。まとまった生活交通の需要を獲得するため、地域の生活リズムに適する時間帯に生活交通サービスの利用を優遇し、集中化する方策も必要である。生活交通サービスの時間帯を適切に設定するには、どのような利用者層がどの時間帯が集中・分散するかを時間横断的に把握できる活動ダイアリー・パネル分析の技術が求められている。

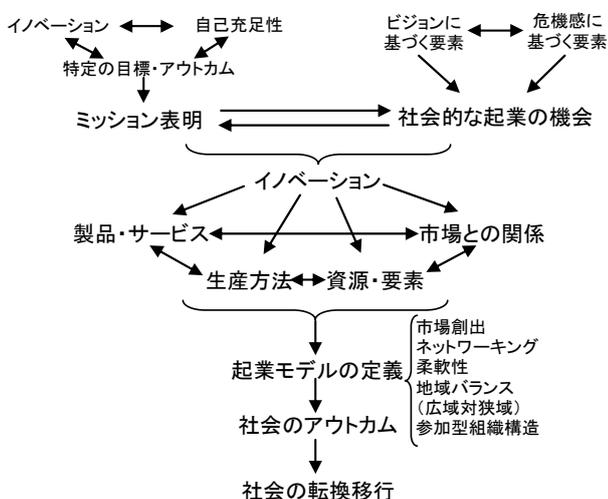
以上の問題意識のもとで、本稿では、時間横断的に1日の活動内容を記録した活動ダイアリー・パネルデータを使用し、時間帯の特定効果を分析する方法を提案する。また、特定の時間帯に活動機会が集中・分散する程度を指標化する。なお、個人の特定効果は、それに付随し推定量の安定性に問題が生じるので、これを回避し、個人属性を柔軟に考慮するため、個人の生活条件や活動機会を活動回数の説明変数として導入することとする。

(2) 起業的移行を促す生活交通施策

社会の起業的活動⁵⁾とは、「革新的で効率的な活動で、戦略的に社会における市場の失敗解消を目的とする。同時に、社会的インパクトの最大化と豊かな社会への移行を促進するように、ある範囲の資源と組織形態を体系的に活用し、社会的価値を付加する新たな機会を創造することを目的とした活動である」と定義される。世界各国の事例における共通項を通じて、起業的活動の事業進展は、6つの実践的ステップを踏むと言われる⁶⁾。

図—2で、起業的活動は、1) 使命の表明、2) ビジョンや危機感に基づく起業的活動の機会、3) 製品・サービスや市場との関係や生産の方法と要素におけるイノベーション、4) 市場創出やネットワーキングや柔軟性や地域のバランスや参加組織の構造における起業的活動モデル、5) 社会にもたらす短期的アウトカム、6) 将来社会とコミュニティ経済発展をめざす長期的移行という順序で進展していく。生活交通の問題を抱える地域でも、起業的な生活交通サービスの提供に取り組み、コミュニティ交通の充実をめざした移行が胎動している。

従来の規制と補助で保護された旧態バス事業を刷新し、新たな生活交通サービスを持続的に展開するには、このような起業的な生活交通施策が必要である。地域で暮らす全ての人の生活の足を確保するというミッションは明快である。民間バス会社の撤退から、自治体や市民は危機感を持ち、それを原動力とする生活交通サービスの起業機会が存在する。生活交通サービスのイノベーションとして、1) 路線・時間帯・頻度・料金等のサービス内容、2) 運行方式・需要対応等のサービス提供の方法、3) 道路・車両・予約センター・運転手等の資源・要素、4) 利用者層・鉄道との接続・マイカーとの競合等の市場との関係があげられる。市場との関係から生活交通の需要に変化を起こすことは容易でないが、潜在的な活動需要に訴求して、サービスの内容・提供方法、資源・要素を工夫する余地が残されている。バスの語源は、オムニバス(omnibus)で、すべての人に開かれた乗り物¹⁾を表し、その役割は使命感に満ちている。生活交通の空白地域では、需要対応型交通(Demand Response Transit)、有償ボランティア輸送が生活交通の一つの手段となっている。これらを地域の生活の足として提供するには、活動の需要に応じて発生する潜在的な生活交通の需要に的確に対応する必要がある。そのためには、時間横断的に活動需要を捉えることが課題となる。地域で知人や友人と自由に交流し会話するには、一緒に活動する需要に対応した乗り合いサービスの潜在需要を把握することも課題となる。本稿では、時間横断的な活動ダイアリー・パネルを用いて、市民の活動需要に連動し、的確に生活交通サービスを提供する機会を把握する方法を提案する。



図—2 起業的活動のプロセスの実際的視点⁶⁾

3. 活動ダイアリー・パネル分析

(1) 活動ダイアリー・パネルの推定方法

a) 午前・午後の活動機会指標

いま、ある1日の生活のなかで、個人*i*が自宅から外出し、誰かと特定の活動を行う状況を仮定する。分析対象の個人は*n*人とする。まず、最もシンプルに、1日の活動時間を2分割し、午前・午後の添え字を各々 *AM*, *PM* と表す。個人*i*が午前に行った活動の回数を $y_{i,AM}$ と表し、午後に行った活動の回数を $y_{i,PM}$ と表す。まず、個人*i*の生活条件に応じた活動機会を表現するため性別 g_i (女1, 男0)、年齢 a_i 、マイカー使用条件 m_i 、生活交通の条件 b_i 、知合いの存在 q_i など時間帯が移行しても一定である。個人固有の属性を $x_i = (g_i, a_i, m_i, b_i, q_i)'$ と表す。一方、個人*i*が時間帯に応じて選択的に活動する機会を表現し、午前・午後等の時間帯の定数項、家族や仲間と同伴で活動する等の人とのつながり変数 r_i 、自宅・地域内外等の行き先変数 s_i など、時間帯が移行すると変動しうる個人の活動機会を $z_{i,AM}$ $z_{i,PM}$ と表す。午前の活動機会は、 $z_{i,AM} = (1, r_{i,AM}, s_{i,AM})'$ である。午後の活動機会は、 $z_{i,PM} = (1, r_{i,PM}, s_{i,PM})'$ である。このとき、個人*i*が生活条件のもとで午前の活動機会と午前を選択的に活動する機会は、次のような午前の活動機会指標として表現できる。

$$x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM} \quad (1)$$

ここで、 $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_5)'$: 生活条件パラメータを表す。 $\pi_{AM} = (\pi_{1,AM}, \pi_{2,AM})'$: 午前の活動機会パラメータを表す。これらのパラメータは地域の生活条件と活動機会によって定められる。午前の交通サービス改善に期待されるインパクトは、個人の生活条件の環境変化、午前に活動する時間帯の充実、人と会い通じる交流機会の拡大、行き先を選択できる行動範囲の拡大によって、午前の活動機会指標(1)の変化に現れる。一方、個人*i*が生活条件のもとで午後の活動機会と午後を選択的に活動する機会は、午後の活動機会指標に表現できる。

$$x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM} \quad (2)$$

ここで、 $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_5)'$: 生活条件パラメータを表す。 $\pi_{PM} = (\pi_{1,PM}, \pi_{2,PM})'$: 午後の活動機会パラメータを表す。午後の交通サービス改善に期待

される変化は、個人の生活条件の環境変化、午後に活動できる時間帯の充実、人と会いつながりを持つ機会の拡大、午後に行き先を選択できる行動範囲の拡大によって、午後における活動機会指標(2)の変化に現れる。起業的な生活交通施策では、午前・午後の活動機会指標を改善する方向に、交通事業の起業的移行を促す必要がある。以下では、個人の生活条件と午前・午後の時間帯における活動機会を考慮し、時間帯別の個人の活動回数をパネル分析する方法を提案することとする。

b) 午前・午後の活動ダイアリー・パネル

午前の時間帯における個人*i*の活動回数がポアソン分布 $P[\mu_{i,AM}]$ に従うと仮定する⁷⁾。

$$y_{i,AM} \sim P[\exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM})] \quad (3)$$

この活動回数の密度関数は次式で表される。

$$P[Y = y | \mu] = (\exp(-\mu) \mu^y) / y!, y = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

ポアソン分布では、平均と分散が μ に一致する。

このとき、個人*i*が午前に行う活動回数の平均値は、

$$\mu_{i,AM} = \exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (5)$$

と特定化される。これは、午前の活動機会指標の指数値である。対数関数は単調増加である。午前の活動機会指標の増減は、午前の活動を起こす回数が増減にも影響する。また、午後の時間帯における個人*i*の活動回数がポアソン分布 $P[\mu_{i,PM}]$ に従うならば

$$y_{i,PM} \sim P[\exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM})] \quad (6)$$

となる。午後に個人*i*が行う活動回数の平均値は、

$$\mu_{i,PM} = \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (7)$$

と特定化される。これは、午後の活動機会指標の指数値である。午後の活動機会指標の増減は、午後の活動回数が増減にも影響する。1時間単位で分割する活動パネルでは、時間帯の間の相関関係は小さくないだろう。しかし、3時間単位、6時間単位で午前・午後に2分割する活動パネルにおいては、時間帯の間の相関関係は大きくないと考えられる(後に、c)でダイナミック・パネルに拡張)。いま、午前と午後の個人*i*の活動回数が互いに独立であると仮定する⁸⁾。このとき、1日における午前・午後の活動回数の結合密度関数は、次のように表される。

$$f(y_{i,AM}, y_{i,PM} | x_i, z_{i,AM}, z_{i,PM}, \beta, \pi_{AM}, \pi_{PM}) = \exp(-\mu_{i,AM}) (\mu_{i,AM})^{y_{i,AM}} / (y_{i,AM})!$$

$$\times \exp(-\mu_{i,PM})(\mu_{i,PM})^{y_{i,PM}} / (y_{i,PM})! \quad (8)$$

ここで、この結合密度関数の条件付き平均値は、

$$E[y_{i,AM} | x_i, z_{i,AM}, \beta, \pi_{AM}] = \exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (9)$$

$$E[y_{i,PM} | x_i, z_{i,PM}, \beta, \pi_{PM}] = \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (10)$$

と表される。以上の定式化から、1日のなかで午前・午後の時間帯別の活動回数をパネル分析するための尤度関数は(8)式を用いて次のように表される。

$$L = \prod_{i=1}^n f(y_{i,AM}, y_{i,PM} | x_i, z_{i,AM}, z_{i,PM}, \beta, \pi_{AM}, \pi_{PM}) \quad (11)$$

よって、対数尤度関数は、次のように導出される。

$$\begin{aligned} \log L &= \sum_{i=1}^n \log f(y_{i,AM}, y_{i,PM} | \cdot) \\ &= \sum_{i=1}^n \{ (-\mu_{i,AM}) + y_{i,AM} \log(\mu_{i,AM}) - \log(y_{i,AM})! \} \\ &+ \sum_{i=1}^n \{ (-\mu_{i,PM}) + y_{i,PM} \log(\mu_{i,PM}) - \log(y_{i,PM})! \} \quad (12) \end{aligned}$$

この対数尤度関数を最大にするような最尤パラメータ ($\beta, \pi_{AM}, \pi_{PM}$) は、準ニュートン法等の数値計算により効率よく求めることが可能である⁹⁾。

c) 午前・午後のダイナミック活動パネル

b) では、3時間単位、6時間単位で分割する活動パネルにおいて、時間帯の間の相関関係は大きくないと仮定した。しかし、連続する時間帯の活動パネル間で、相関関係があると仮定することが活動の実状を反映し、午前から午後への活動の波及傾向を分析する点で有用である。ただし、2つの時間帯の間に長時間の空白が開くと、それらの相関関係は小さいと考えられる。以下では、午前・午後の連続する活動パネル間において、1次の系列相関を有するダイナミック・パネルに拡張する。単純に、午後の活動回数式(7)で、指標単位で1次ラグ変数を導入する。すなわち、 $\exp(\rho y_{i,AM} + x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM})$ とすると、午前の活動回数が多いとき、その指数値となるため数値的に発散する問題がある。より安定したモデルで $\exp(\rho \log(y_{i,AM}) + x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM})$ と活動回数の対数形とすると、ゼロの引数が不可能となる問題がある。そこで、活動回数単位で1次のラグ変数を導入し、線形フィードバックモデルAR(1)

として次のように特定化する¹⁰⁾¹¹⁾。

$$\mu_{i,PM} = \rho y_{i,AM} + \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (13)$$

ここで、 ρ は、午前と午後の1次の系列相関パラメータを表す。これを用いて、1日の活動のなかで、午前の活動が午後の活動に系列相関の影響を及ぼすかどうか判定できる。 $\rho = 0$ の場合、午前の活動と午後の活動の間に相関関係はない。 $\rho > 0$ の場合、午前の活動が午後の活動を誘発するような正の相関関係をもたらす。このもとで、午前の活動環境を充実させる目覚まし型の施策を行うと、同時に午後の活動を誘発する相乗効果が期待される。 $\rho < 0$ の場合、負の相関関係がある。午前によく活動するが午後は自宅に居る等の午前に活動が集中する朝型の生活に相当する。または、午前に活動しない代わりに、午後に活動が集中する夜型の生活に相当する。さらに、午前と午後で異なる活動に着目した相関分析も可能である。例えば、午前に外出し、午後に買い物・外食する場合である。この場合、午前の外出が午後の買い物や外食を誘発するか分析することができる。

1次の活動ラグ変数を含む午後の平均活動(13)を対数尤度関数に導入し、それを最大にするような最尤パラメータ ($\beta, \pi_{AM}, \pi_{PM}, \rho$) を数値計算により求められる⁹⁾。以上のように、午前・午後の活動の相関を考慮したダイナミックな活動ダイアリーパネルに拡張することが可能である。

(2) 活動ダイアリー・パネルの感度指標

a) 生活条件による午前・午後の活動感度指標

午前・午後の活動ダイアリー・パネルより、個人*i*が午前・午後に活動する平均回数を推定できる。

$$\mu_{i,AM} = \exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (14)$$

$$\mu_{i,PM} = \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (15)$$

午前・午後において、同一の活動に着目すれば、その活動が午前に集中するか、午後に集中するか活動回数の推定値を比較できる。2つの比率をとると、午前と午後間の平均活動回数の変化率指標を得る。

$$\frac{\mu_{i,PM}}{\mu_{i,AM}} = \exp(z_{i,PM}' \pi_{PM} - z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (16)$$

この活動変化率指標が1のとき、午前と午後の活動回数は一致する。それが1より大きいとき、午後の活動が相対的に集中する。式(16)右辺指数項より、

午後に活動が相対的に集中することは、午前の活動機会より午後の活動機会の方が大きい場合に生じることが理解できる。一方、1より小さいとき、午前の活動が相対的に集中することとなる。個人によって、午前によく活動する人もいれば、午後に活動が集中する人もいる。活動変化率指標は、個人の活動回数に関する午前・午後の活動時間帯のバランスを表していると解釈される。

地域の活動需要を把握するため、午前の活動平均回数の推計値を地域のすべての個人に関して集計すると、午前の時間帯における活動の平均需要は

$$\sum_{i=1}^n \mu_{i,AM} = \sum_{i=1}^n \exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (17)$$

と表される。また、午後の活動を個人に関して集計し、午後の時間帯における活動の平均需要は

$$\sum_{i=1}^n \mu_{i,PM} = \sum_{i=1}^n \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (18)$$

と表される。これらは、午前と午後の時間帯に起こりうる活動の平均需要の参考値として活用できる。

1単位あたりの生活条件の変化に対する午前の活動回数の限界的な変化は、式(14)を生活条件の変数で微分することにより次のように導出できる。

$$\frac{\partial \mu_{i,AM}}{\partial g_i} = \beta_1 \exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (19)$$

$$\frac{\partial \mu_{i,PM}}{\partial g_i} = \beta_1 \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (20)$$

式(19)(20)は、1単位の性別比率変化に対する午前・午後の平均活動回数の限界的な変化を表す。右辺指数は常に正で、 $\beta_1 > 0$ の場合は、女性の個人ほど当該活動回数が増加すると解釈される。この場合、女性の活動環境充実により活動需要の増加が見込まれる。女性も参加しやすい社会形成における活動需要の変化を見通すための指標として活用できる。

$$\frac{\partial \mu_{i,AM}}{\partial a_i} = \beta_2 \exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (21)$$

$$\frac{\partial \mu_{i,PM}}{\partial a_i} = \beta_2 \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (22)$$

式(21)(22)は、1単位の年齢変化に対する午前・午後の平均活動回数の限界的な変化を表す。右辺指数は正で、 $\beta_2 < 0$ の場合は、個人の高齢化に伴い、当該活動回数が減少すると解釈される。この場合、

小児化対策により子供や学生を増やすことで活動需要の増加が見込まれる。高齢化社会における活動需要の変化を見通すための指標として活用できる。

$$\frac{\partial \mu_{i,AM}}{\partial m_i} = \beta_3 \exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (23)$$

$$\frac{\partial \mu_{i,PM}}{\partial m_i} = \beta_3 \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (24)$$

式(23)(24)は、1単位のマイカー使用環境の変化に対する午前・午後の平均活動回数の限界的な変化を表す。右辺指数は正で、 $\beta_3 > 0$ の場合は、個人のマイカー使用環境が良いほど、当該活動回数が増加すると解釈される。使用環境の悪化として、運転免許の非保有、燃料高騰での使用回数の節約が考えられる。この場合、マイカー使用環境の悪化によって、当該活動回数は減少すると解釈される。この場合、有償ボランティアによる乗り合いサービス対策等により、クルマへ乗車同乗できる機会を増やすことで活動需要の増加が見込まれる。式(23)(24)は、乗り合い等のコミュニティ交通の充実後における活動需要の変化を見通すための指標として活用できる。

$$\frac{\partial \mu_{i,AM}}{\partial b_i} = \beta_4 \exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (25)$$

$$\frac{\partial \mu_{i,PM}}{\partial b_i} = \beta_4 \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (26)$$

式(25)(26)は、1単位の生活交通の満足度等の充実度合いの変化に対する午前・午後の平均活動回数の限界的な変化を表す。右辺指数は正で、 $\beta_4 > 0$ の場合は、生活交通の充実に伴い、当該活動回数が増加すると解釈される。この場合、需要対応型等の生活交通サービス改善策により、マイカー使用しない人を中心に活動需要の増加が見込まれる。総合生活交通計画の推進後における活動需要の変化を見通すための指標として活用できる。

$$\frac{\partial \mu_{i,AM}}{\partial q_i} = \beta_5 \exp(x_i' \beta + z_{i,AM}' \pi_{AM}) \quad (27)$$

$$\frac{\partial \mu_{i,PM}}{\partial q_i} = \beta_5 \exp(x_i' \beta + z_{i,PM}' \pi_{PM}) \quad (28)$$

式(27)(28)は、1単位の同世代等の仲間存在の変化に対する午前・午後の平均活動回数の限界的な変化を表す。右辺指数は正で、 $\beta_5 > 0$ の場合は、個人の仲間が存在するほど、当該活動回数が増加すると

解釈される。この場合、同世代や知人等の仲間と交流する機会を拡充することにより、当該活動需要の増加が見込まれる。人とのつながりが充実した社会での活動需要の変化を見通す指標として活用できる。

b) 時間帯の機会による午前・午後の活動感度指標

午前・午後の時間帯特有の活動機会に関して、平均活動回数を微分し、限界的な変化指標を算出する。

$$\partial \mu_{i,AM} / \partial r_{i,AM} = \pi_{1,AM} \exp(x'_i \beta + z'_{i,AM} \pi_{AM}) \quad (29)$$

$$\partial \mu_{i,PM} / \partial r_{i,PM} = \pi_{1,PM} \exp(x'_i \beta + z'_{i,PM} \pi_{PM}) \quad (30)$$

式(29)(30)は、人と一緒に活動する機会が増えることの1単位の変化に対する午前・午後の平均活動回数の限界的な変化を表す。右辺指数は正で、 $\pi_{1,AM} > 0$ の場合は、午前の人と一緒に活動する機会が増えるほど、午前の活動回数が増加すると解釈される。 $\pi_{1,PM} > 0$ の場合も同様に解釈される。この場合、人とつながりにぎわう対策により活動需要の増加が見込まれる。ソーシャルキャピタルが豊かな社会形成における活動需要の変化を見通すための指標として活用できる。

$$\partial \mu_{i,AM} / \partial s_{i,AM} = \pi_{2,AM} \exp(x'_i \beta + z'_{i,AM} \pi_{AM}) \quad (31)$$

$$\partial \mu_{i,PM} / \partial s_{i,PM} = \pi_{2,PM} \exp(x'_i \beta + z'_{i,PM} \pi_{PM}) \quad (32)$$

式(31)(32)は、地域内外の行き先など移動範囲が拡充することの1単位の変化に対する午前・午後の平均活動回数の限界的な変化を表す。右辺指数は正で、 $\pi_{2,AM} > 0$ の場合は、午前に行き先とする場所への移動機会が増えるほど、午前の活動回数が増加すると解釈される。 $\pi_{2,PM} > 0$ の場合も同じく解釈される。この場合、特定時間帯における移動の自由度拡充策や行ってみたい場所としての観光・集客対策により、活動需要の増加が見込まれる。集客力・利用率の高い場所へのアクセス改善における活動需要の変化を見通すための指標として活用できる。

さらに、ダイナミックパネルの午後の平均活動回数式(13)において、午前の活動回数で微分すると、

$$\partial E[y_{i,PM} | \cdot] / \partial y_{i,AM} = \partial \mu_{i,PM} / \partial y_{i,AM} = \rho \quad (33)$$

式(33)は、午前の活動回数の1単位の変化が午後の

活動回数に及ぼす相関関係を表している。この相関パラメータの符号を用いて、午前の活動が午後の活動にどのように影響するか判定を可能とする。

(3) 複数時間帯の活動ダイアリー・パネル

ここまで、午前・午後の2つの時間帯に分割するシンプルなモデルを定式化した。以下では、3つ以上の単位時間帯を設定し、1日の活動可能な時間を D 分割した複数時間帯の活動ダイアリーパネルに一般化する方法を述べる。単位時間帯の長さを目的に即して設定する必要がある。30分、1時間等に時間帯を短く設定すると、2つ以上離れた時間帯の間に2次以上の広範囲に系列相関が生じる可能性がある。本稿の主眼は、精緻な時系列構造の特定ではなく、時間帯別に活動需要がどの程度集中・分散するかを分析することにある。本稿では、3時間以上の時間帯の長さを設定し、1次の系列相関を考慮したダイナミックな活動ダイアリー・パネルを対象範囲とする。このとき、3つ以上の時間帯を対象とする複数時間帯の活動ダイアリー・パネルの分析方法は、午前・午後の2つの時間帯の活動ダイアリー・パネル分析の方法と本質的に同一である。以下、一般化の留意点を述べる。一般に、1日の活動可能な時間を D 分割し、各時間帯を $\delta = 1, \dots, D$ と表す。分割数 D は有限である。個人 i が時間帯 δ に行った活動の回数を $y_{i,\delta}$ と表す。個人固有の生活条件の定義 $x_i = (g_i, a_i, m_i, b_i, q_i)'$ は2つの時間帯と同一である。時間帯を含む項に関して工夫が必要である。個人 i が生活条件のもとで時間帯 δ の活動機会指標は

$$x'_i \beta + z'_{i,\delta} \pi_{\delta}, \quad \delta = 1, \dots, D \quad (34)$$

ここで、 $z_{i,\delta} = (1, r_{i,\delta}, s_{i,\delta})'$: 時間帯 δ の活動機会を表す変数である。 $\pi_{\delta} = (c_{\delta}, \pi_{1,\delta}, \pi_{2,\delta})'$: 時間帯 δ の活動機会パラメータを表す。個人 i が時間帯 δ に行う活動回数の平均値は、次式で特定化される。

$$\mu_{i,\delta} = \exp(x'_i \beta + z'_{i,\delta} \pi_{\delta}), \quad \delta = 1, \dots, D \quad (35)$$

いま、異なる2つの時間帯の個人 i の活動回数が互いに独立であると仮定する。1日における各時間帯の活動回数の結合密度関数は、次式で表される。

$$f(y_{i,1}, \dots, y_{i,D} | x_i, z_{i,1}, \dots, z_{i,D}, \beta, \pi_1, \dots, \pi_{DM}) =$$

$$\prod_{\delta=1}^D \exp(-\mu_{i,\delta}) (\mu_{i,\delta})^{y_{i,\delta}} / (y_{i,\delta})! \quad (36)$$

ここで、この結合密度関数の条件付き平均値は、

$$E[y_{i,\delta}|\cdot] = \exp(x_i'\beta + z_{i,\delta}'\pi_\delta), \quad \delta = 1, \dots, D \quad (37)$$

と表される。1日のなかで複数時間帯別の活動回数をパネル分析するための尤度関数は(36)式を用いて

$$L = \prod_{i=1}^n f(y_{i,1}, \dots, y_{i,D}|\cdot) \quad (38)$$

と表される。対数尤度関数は、次式に導出される。

$$\begin{aligned} \log L &= \sum_{i=1}^n \log f(y_{i,1}, \dots, y_{i,D}|\cdot) \\ &= \sum_{\delta=1}^D \sum_{i=1}^n \{(-\mu_{i,\delta}) + y_{i,\delta} \log(\mu_{i,\delta}) - \log(y_{i,\delta})!\} \end{aligned} \quad (39)$$

この対数尤度関数を最大にするような最尤パラメータ $(\beta, \pi_1, \dots, \pi_D)$ は、数値計算により求めることが可能である。1期前の時間帯とのダイナミックパネルに拡張するため、活動回数単位で1次のラグ変数を導入し、線形フィードバックモデルとして

$$\mu_{i,\delta} = \rho y_{i,\delta-1} + \exp(x_i'\beta + z_{i,\delta}'\pi_\delta), \quad \delta = 2, \dots, D \quad (40)$$

と特定化する。ここで、 ρ は、当該時間帯 δ と1期前の時間帯 $\delta-1$ との1次の系列相関パラメータを表す。各時間帯の感度分析に関して、生活条件による時間帯 δ の活動感度指標、連続する2つの時間帯の平均活動回数の変化率指標、時間帯 δ における活動の平均需要、時間帯 δ の機会による活動感度指標を式(16)～(33)と同様に導出できる。

4. おわりに

本稿では、1日の生活で営まれる時間横断的な活動需要に着目し、起業的に生活交通サービスの潜在需要の機会を捉えるための活動ダイアリー・パネル分析の方法を提案した。時間帯の活動機会指標を定義し、それを組み込んだ時間横断的な活動回数モデルを定式化し、連続する時間帯の間で系列相関をもつダイナミック・モデルに拡張した。個人の生活条件と時間帯や一緒に活動する機会の変化に対する平均活動回数を感度分析した。それを通じて、起業的な生活交通施策へ移行する施策含意を考察した。

起業的な生活交通への移行、活動ダイアリー・パネル分析の応用に関して多くの課題が残っている。地方都市や中山間地域へ広く応用し汎用性の向上と実用的な改良を加える必要がある。平均・分散の一

致条件を緩和したカウント・パネル分析の拡張は精度向上の課題である。現状の活動需要にとどまらず、新たな施策の反応を調べる実験的パネル分析は、起業的施策のモニタリング上の課題である。時間横断的な活動需要を考慮したダイアリー需要マネジメント (Diary Demand Management; D2M) の技術開発に継続的に取り組んでいきたい。

謝辞：MARGでのご示唆に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会 土木計画学研究委員会:バスサービスハンドブック, pp79-96,197-206, 2006.
- 2) 国際交通安全学会:過疎地域における生活交通サービス提供方策に関する検討, 2001.
- 3) 北村隆一, 森川高行編著:交通行動の分析とモデリング, 技法堂出版, 2002.
- 4) 例えば, 伊藤勝久ほか:中山間地域における交通システムからみた定住条件に関する実証的研究, 佐川交通社会財団, 2003.
- 5) Alvord,S et al. : Social Entrepreneurship and Social Transformation , *Journal of Applied Behavior Science*, 40(3), pp260-283, 2004.
- 6) Francesco,P. and Clodia,V. : “Innovation and Social Change Across Theory and Practice”, 5, edited by Johanna,M. et al.: *Social Entrepreneurship*, Palgrave, 2006.
- 7) Cameron,A.C. et al. : *Regression Analysis for Count Data*, Cambridge Univ. Press, 1998.
- 8) Hausman,J.A. et al. :“Econometric Models For Count Data with an Application to Patents”, *Econometrica*,52, pp909-938, 1984.
- 9) 大野 豊・磯田和男監修:数値計算ハンドブック, オーム社, pp797-805, 1990.
- 10) Al-Osh,M.A. et al. : “First Order Integer Valued Autoregressive INAR(1) Process”, *Journal of Time Series Analysis*,8, pp261-275, 1987.
- 11) Blundell,R. et al. : “Individual Effects and Dynamics in Count Data Models”, *Journal of Econometrics*,102, pp113-131, 2002.
- 12) Yasuno,T. : Activity Analysis on Diary Data, *Social Capital and Development Trends in Rural Areas*, Kobayashi,K. et al.(Eds.), 2005.