

近未来型個別モビリティの需要量に関する基礎的研究*

A preliminary study on demand for future personal mobility *

三輪富生**・杉田崇***・森川高行****・山本俊行*****・西村良博*****
By Tomio MIWA**・Takashi SUGITA***・Takayuki MORIKAWA****
・Toshiyuki YAMAMOTO*****・Yoshihiro NISHIMURA*****

1. はじめに

人類は、自由で速く快適な移動手段を求めて続けてきた。自動車の発明と大衆化により、20世紀は自動車による「個別モビリティ」の時代を謳歌した。しかし、この約百年にわたって経済発展を支え続けた自動車は、21世紀以降の地球環境や社会構造の変化に伴って、そのニーズや利用シーンも変化してゆくと考えられる。特に、高齢化社会における安心・安全性、エネルギー・地球環境的に持続可能な交通システム、都市やライフスタイルの変化等に応じた、将来のモビリティのあり方を検討する必要がある。

また、自動車依存型交通体系の負の側面、すなわち環境、エネルギー消費、渋滞問題を緩和するために、これまで有効とされてきた公共交通機関への転換施策は、自動車の利便性に慣れ親しんだ市民に対しては十分な効果をあげていないのが現実であり、また強制的な交通行動の転換は交通の本来の機能を著しく阻害することにもなり兼ねない。将来にわたってより豊かな交通社会を創造してゆくためには、環境への影響が少なく、かつ必要な移動ニーズを十分に満たす、社会と調和した移動手段「近未来型個別モビリティ」の開発、普及が必要となる。

以上のような認識の下、本研究では、過去の交通行動データを用いて近未来型個別モビリティの潜在的な市場規模を分析するとともに、将来の需要量予測を通じて、新しい個別モビリティのあり方に関する基礎情報を提供することを目的とする。

2. 近未来型個別モビリティの潜在的利用市場

ここでは、過去4時点のパーソントリップ調査データ（以降、PTデータと呼ぶ）において、近未来個別モビリティ（future personal mobility, 以下、FPMと呼ぶ）の

*キーワード：自動車保有・利用、交通手段選択

**正員、博士（工）、名古屋大学大学院工学研究科
（名古屋市中種区不老町、TEL: 052-789-3565、

E-mail: miwa@civil.nagoya-u.ac.jp）

***正員、修士（工）、豊田通商株式会社

****正員、Ph.D.、名古屋大学大学院環境学研究科

*****正員、博士（工）、名古屋大学大学院工学研究科

*****非会員、株式会社豊田中央研究所

によって代替可能なトリップ量を算出することで、FPMの普及可能性を探ることとする。

（1）潜在市場の考え方

一般に、マーケティングの分野では、潜在市場とは製品の普及が潜在的に起こりうる市場のことを指すが、本研究ではこれを交通移動手段に置き換え、ある交通手段が潜在的に代替可能な総移動距離と定義する。一方、この場合、顕在市場は、既にこの交通手段を利用している総移動距離と定義できる。また、過去のPTデータから算出されるFPMの潜在市場規模は、その性能によって変化する。本研究では、航続距離、乗車定員、駐車可能場所を取り上げ、これらFPMの性能を変化させた場合の潜在市場規模の変化を通じて、FPMが具備すべき性能条件に関する知見を得ることとする。

以下に、PTデータからFPMの潜在市場を算出する方法を示す。まず、FPMの詳細な利用方法等は未だ決定されていないとするが、燃料補給（電動車であれば充電）は自宅もしくはその付近で行うものと仮定する。このとき、基本的には、自宅を出発してから自宅に帰宅するまでのトリップチェーン内に含まれる全ての移動を、設定した上記3つの性能によって代替可能でなければ、FPMを利用できないとする。つまり、自宅から目的地までの距離が航続距離より長ければ、または同行者数が乗車定員より多ければ、FPMはその（ホームベースド：HB）トリップチェーンをカバーできないと考える。ただし、HBトリップチェーン内のある経由地点にFPMが駐車可能であり、かつその性能が自宅→経由地点→自宅といった部分的HBトリップチェーン内の移動を代替可能な場合は、これをカバー可能とする。

このとき、PTデータからのFPMの潜在市場の計算手順は以下ようになる。

Step 0) FPMの性能（航続距離、乗車定員、駐車可能場所）を設定する。

Step 1) PTデータからHBトリップチェーンを抽出し、含まれる各トリップの目的地および経由する鉄道駅やバス停の間の距離を計算する。また、それぞれの交通手段、同行者数についても確認する。

Step 2) HBトリップチェーンに含まれる全ての移動が、Step 0) で設定した性能によって代替可能である場合は、

その総移動距離を潜在市場に加算しStep 1)へ。
Step 3-1) Step 1で確認した経由地(目的地や駅・バス停)の内、重複する地点(2度以上出現する地点)を確認する。

Step 3-2) 自宅からある重複する経由地点までの部分的なHBトリップチェーンについて、これに含まれる全ての移動をFPMでカバーできる場合、最も総移動距離が長くなる経由地を探索し、この総移動距離を潜在市場に加算する。Step 1)へ。

ここで、Step 1)において、トリップチェーン内の各移動に対してその移動速度を算出し、これが50km/hより高い場合は、FPMでは代替できないものと仮定した。

FPMの基準性能を表-1のように設定し、その場合に計算される潜在市場の経年変化を図-1に示す。なお、中京都市圏PT調査圏域は調査年次によって異なるため、過去4回全ての調査で圏域が重なる、第1回調査(1971年)の調査圏域で発生するトリップを対象とした。図より、過去40年間で、FPMの潜在市場、カバー率は増加傾向にあることが分かる。この結果は、同行者のいない短距離トリップが増加しつつあることを意味している。

表-1 FPMの基準性能

性能項目	設定値
航続距離	20km
乗車定員	1名
駐車可能場所	全目的地および鉄道駅

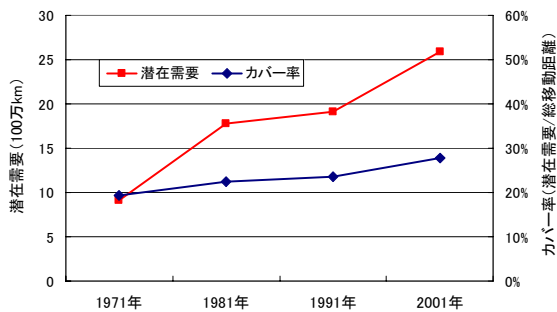


図-1 FPM潜在市場の経年変化

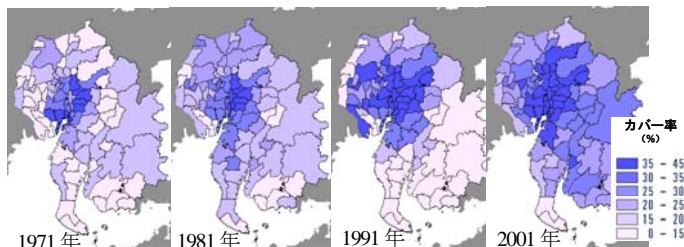


図-2 地域別カバー率の変化

さらに、図-2は、カバー率の経年変化を愛知県の市町村別に示したものである。図より、いずれのPT調査年次においても名古屋市都心部でカバー率が高いことや、年を経るごとに、郊外地域でもカバー率が上昇していることが分かる。これは、前述の考察と同様に短距離移動

や鉄道駅の増加が影響していると考えられる。

(2) FPM性能と潜在市場の関係

ここでは、FPMの各性能を変化させた場合に、潜在市場がどのように変化するかを確認する。これにより、FPMの効率的普及を実現するための性能設定について知見を得る。ただし、各性能の組合せは非常に多くなるため、先に示したFPMの基準性能(表-1)から、ある1つの性能項目のみを取り上げこれを変化させる。

図-3は、航続距離を変化させた場合のカバー率(潜在市場/総移動距離)の変化を示している。図より、航続距離を10km→20kmとさせた場合の変化率が最も大きく、それ以降、カバー率の上昇は小さくなっていくことが分かる。ただし、2001年データでは、それ以前の年次より航続距離の増加に対するカバー率上昇が大きい。これは、鉄道駅やコンビニエンスストア等の増加により、自宅から近距離の目的地が増加したためと考えられる。以上より、過去のデータからは、FPMの潜在市場の拡大には20~50kmの航続距離が望ましいことが示された。

乗車定員については、どの年次のデータに対しても、1名→2名への変化に対するカバー率上昇が大きく、乗車定員3名でカバー率上昇が頭打ちになった。つまり、2名以上の乗車定員とすることがFPM普及には望ましいことが分かった。また、駐車可能場所の設定を変化させた場合、1981年以降の交通行動においては、鉄道駅に駐車可能であることが潜在市場を大きくすることが示された。

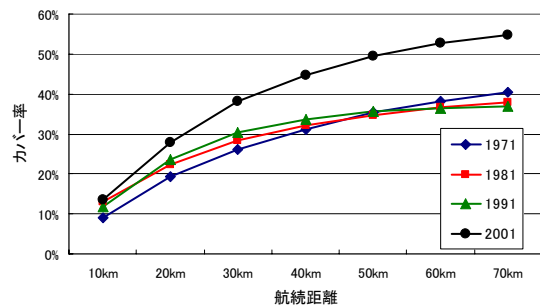


図-3 航続距離とカバー率の関係

3. Diffusion Modelによる需要量予測

(1) Diffusion Modelとその拡張

a) Diffusion Modelの概説

Diffusion Modelは、新しい製品の普及現象を説明するために、マーケティング・リサーチの分野で研究されてきた集計型トレンドモデルである。このDiffusion Modelは、様々な関数形が提案されており¹⁾、土木計画学の分野に適用された例も見られる²⁾。最も基本的なモデルの1つである、Bassモデル¹⁾は以下の式(1)で表される。

$$n(t+1) = \left(p + q \frac{N(t)}{M} \right) (M - N(t)) \quad (1)$$

ここに、 $n(t+1)$ は $t+1$ 期での製品購入者数、 $N(t)$ は t 期までの製品購入者数（顕在市場）、 M は製品の普及が飽和状態に達した市場（飽和市場）である。つまり、 $n(t) = N(t+1) - N(t)$ が成り立つ。さらに、 p, q はそれぞれパラメータであり、前者は製品の普及率 ($N(t)/M$) に影響を受けることなく製品を購入する層の割合を意味し、革新係数と呼ばれる。一方、後者は、普及率の影響を受けて購入する層の割合を意味し模倣係数と呼ばれる。

このBassモデルは、複数の製品が市場に存在する場合でも、各製品の普及は相互に独立していることを仮定している。すなわち、互いに競合する複数の製品が市場に存在する場合でも、その競合関係は考慮されない。このため、Lee and Shiaoは、自動車と自動二輪車の保有行動の分析において、競合関係を考慮可能なモデルを示している³⁾。本研究で対象とする交通手段利用量の分析においても、ある経路地点間の移動では複数の交通手段を一度に選択することはできないため、交通手段の競合関係の考慮は不可欠である。

b) 拡張型Diffusion Model

ここでは、Lee and Shiao³⁾のモデルを参考に、本研究で対象とする交通手段利用量の分析にも適用可能なDiffusionモデルを提案する。

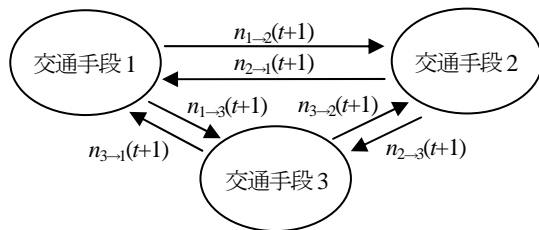


図-4 3つの交通手段が存在する利用量市場

まず、例として、図-4に示すような3つの交通手段のみが存在する状況を考え、その利用の競合関係を考える。ここで、図中の各矢印に、Bassモデルと同様の関数で表現できる普及（転換）現象が生じると仮定する。つまり、交通手段1の利用量の t 期→ $t+1$ 期での変化量は、 $n_1(t+1) = n_{3 \rightarrow 1}(t+1) - n_{1 \rightarrow 3}(t+1) + n_{2 \rightarrow 1}(t+1) - n_{1 \rightarrow 2}(t+1)$ (2)

と表せる。さらに、革新係数は転換先の交通手段（この例では交通手段1）によって区別でき、また、模倣行動に影響を与える普及率は、2つの交通手段間の転換可能移動量のみによって表現できると仮定する。このとき、ある交通手段間の転換現象は、以下の式で表せる。

$$n_{j \rightarrow i}(t+1) = \left(p_i + q_{j \rightarrow i} \frac{N_{i(j)}(t)}{M(t)} \right) N_{j(i)}(t) \quad (3)$$

ここに、 $N_{i(j)}(t)$ は t 期において交通手段 i を利用している移動量のうち、手段 j も利用可能な移動量である。

さらに、 $q_{j \rightarrow i}$ は交通手段 i, j 間の i 方向への模倣係数を表す。また、 $M(t)$ は、 t 期での飽和市場（総移動距離）である。このとき、拡張されたDiffusion Modelの一般式は以下のように表すことができる。

$$n_i(t+1) = \sum_{j \neq i} q_{j \rightarrow i} \frac{N_{i(j)} \cdot N_{j(i)}}{M} + p_i \sum_{j \neq i} N_{j(i)} - \sum_{j \neq i} p_j N_{i(j)} \quad (4)$$

ここに、表記の煩雑さを避けるため、右辺の期を表す添え字 (t) は省略している。また、 $q_{j \rightarrow i} = q_{j \rightarrow i} - q_{i \rightarrow j}$ としており、このパラメータが正に推定される場合は、交通手段 j, i 間では、交通手段 i が増加するような手段転換が生じることを意味している。また、上記の一般式においては、 J 種類の交通手段が存在する状況下では、未知パラメータは $J^2 + J$ 個となる。なお、本研究では、交通手段を、乗用車、軽乗用車、自動二輪車、自転車、マストラ、徒歩・その他の6種類に分類することとした。

(2) 拡張型Diffusion Modelの推定

ここでは、過去4時点のPTデータを用い、(1)で示した拡張型Diffusion Modelの未知パラメータを推定する。この際、まず、市町村（名古屋市は区、以下同様）別の飽和市場（総移動距離）、交通手段別の顕在市場 ($N(t)$)、2. (1)で示した方法に基づく潜在市場 ($N_{i(j)}(t)$) をPTデータより算出した。さらに、分析の時間軸（期）を1年間隔とするため、10年間隔のPTデータからの各算出結果を、その他の入手可能な1年間隔データを用いて、以下のように作成する。

顕在市場について、個別モビリティ（乗用車、軽乗用車、自動二輪車、自転車）に対しては、各年の市町村別保有台数データを用い、PT調査年における保有台数と利用量の回帰モデルを構築し、推定用に1年間隔データを作成した。同様に、マストラについては市町村別の人口および鉄道駅数を、徒歩・その他については人口、人口密度、高齢者（65歳以上）率、14歳以下率を説明変数として回帰モデルを構築し、移動距離の1年間隔データを作成した。飽和市場については、PT調査データから算出される市町村別総移動距離を説明する回帰モデルを、人口、世帯密度、駅密度、道路密度（道路延長/面積）、高齢者率、14歳以下率を説明変数として構築した。また、潜在市場についても、 t 期にある交通手段を利用した移動量の内、他の交通手段を利用可能な移動量を算出しておく必要がある。そこで、飽和市場と同様に、市町村別の各交通手段の潜在市場 ($N_{i(j)}(t)$) を説明する回帰モデルを構築し、過去1年間隔のデータを作成した。

最後に、推定に際しての被説明変数となる各交通手段の年別利用量変化量 ($n_j(t+1)$) は、その定義の通り、顕在市場値の差分として算出した ($n_j(t+1) = N_j(t+1) - N_j(t)$)。

紙面の都合上、推定結果は割愛するが、推定方法は誤差項の正規性を仮定した最尤法である。革新係数 p は、四輪車および二輪車の2種類のみを仮定し、また、その他の手段（マストラ、徒歩・その他）については革新者の考慮は不要（革新係数 $p=0$ ）とした。推定された革新係数 p から、二輪車より四輪車の方が他者の影響を受けずに転換する層の割合が多いが、いずれも0.1~0.2%程度である。また、推定された模倣係数は、幾つかのパラメータが統計的に有意ではないが、例えば、乗用車については、徒歩・その他からの転換、および軽乗用車や自転車への転換が生じることが示された。

(3) FPMの需要量予測

a) 新しいモビリティに対する普及パラメータの表現

既に存在する交通手段の利用量は、(2)で推定したモデルにより予測可能である。しかし、現存しないFPMの各パラメータは推定することができない。そこで、既存の交通手段の特性を表-2に示すようにダミー変数の組合せで表現した上で再度パラメータ推定を行い、FPMの利用を表すような模倣係数を得ることとした。

推定結果は紙面の都合上割愛するが、全てのダミー変数について有意なパラメータが推定され、利用費用無し、屋根付きのダミーで相対的に大きな正の値が得られた。

表-2 既存交通手段の特性ダミー

	安価購入	機動性	利用費用無し	屋根付き	非FPM
乗用車				○	
軽乗用車	○			○	
自動二輪	○	○			
自転車		○	○		
マストラ				○	○
徒歩・他			○		○
FPM	○	○		○	

b) FPMの需要量予測

図-5は、構築したDiffusionモデルによる、6種類の既存交通手段とFPM（航続距離40km、乗車定員2名、目的地・鉄道駅に駐車可）の利用量の予測値である。この将来予測には、飽和市場 $(M(t))$ を予測しておく必要があるが、市町村別の将来人口を県人口予測値に現在の市町村人口構成比を乗ずることで作成し、その他の変数（鉄道駅、道路延長等）は一定として算出した。

この結果から、今後の軽乗用車利用量の増加が著しいこと、乗用車は2025年から減少し始めることが分かる。FPMについては、2056年に529万km/日の利用が予測されるものの、他の既存交通手段と比較してそれほど大きくない。これは、既存手段の過去の利用量変化情報のみからでは、全く新しい革新的な交通手段の将来需要を予測することに限界があると考えられる。また、図-6は、FPM性能を変化させた場合の利用量予測値である。図より、乗車定員より航続距離が普及スピードに強い影響

を与えることが分かる。つまり、基準性能から乗車定員を2名に増加させた場合、2056年時点で利用量が1.3倍に増加するのに対して、航続距離を40kmに増加させる場合は1.6倍に増加する。ただし、予測計算においては、将来の社会変化については十分に考慮されていないため、この予測値は参考値と考えるべきであろう。

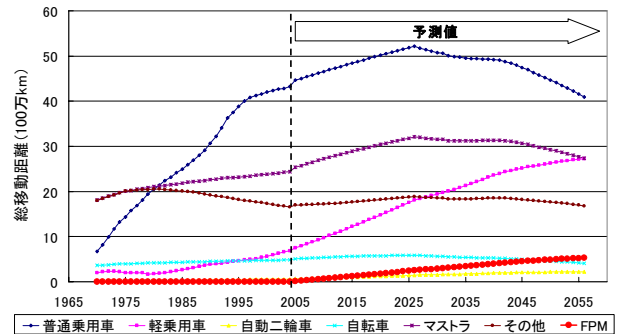


図-5 各交通手段の利用量変化予測値

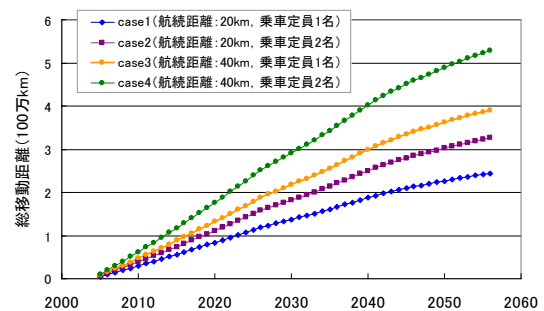


図-6 FPMの性能と利用量予測値の変化

4. まとめと今後の課題

本研究では、PT調査データからFPMの代替可能トリップを集計することで、その普及を進めるための性能について考察を行った。ただし、拡張型Diffusion Modelには、簡潔な一般式を導くための幾つかの仮定がおかれている上、推定データも必ずしも精度が高くない。したがって、全く新しい革新的な個別モビリティの需要量予測には、アンケート調査データを用いたミクロ的な保有・利用行動をモデル化することがより有効である。今後は、別途収集したアンケートデータを活用して、より詳細な記述に基づくFPMの需要量予測を行う予定である。

参考文献

- 1) Eliashberg, J. and Lilien, G.L.: Marketing, Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol.5, Elsevier Science, 1993 [森村英典ほか監訳, マーケティング・ハンドブック, 朝倉書店, 1997].
- 2) 森川高行, 村山杏子: Diffusion Modelを用いた海外観光旅行者数の予測, 土木計画学研究・講演集, No.15 (1)-1, pp.205-210, 1992.
- 3) Lee, C. and Shiwaw, M.: Constrained diffusion models for the prediction of multi-class motor vehicle ownership. Proceedings of 7th World Conference on Transport Research, Vol. 1, pp.205-216, 1995.