

都市圏交通モデルにおける自動車利用予測

Forecasting Methods of Person-Trips by Car in Metropolitan Areas

原田 昇^{*}、太田勝敏⁺

By Noboru HARATA and Katsutoshi OHTA

In forecasting future travel demand in medium-size Metropolitan Areas, we have to face with coming new situation, so called "personal-car era", where no-car household and no-licence adult is exceptional. This paper discuss what is key variables and what is promising alternative forecasting methods at our hand, based on investigations into travel characteristics at individual level as well as areawide level. In a brief, "driving licence holding" is the most important variable in the forecasting, and we have proposed alternative forecasting methods for total person-trips and modal-split.

1. はじめに

将来の自動車利用を予測するためには、利用可能な情報に基づいた自動車利用に関する行動仮説と行動要因の設定と、その仮説・要因の具体的なモデルによる表現が必要である。一般的には、個人の合理的な行動を仮定し、利用可能な交通手段を規定する制約要因と、利用可能な交通手段の中から自動車などの特定の交通手段を選択する選択要因を、モデルに取り入れていく方法が考えられる。また、公共交通機関の利用可能性や自動車保有の増大など、制約要因の時間的、空間的変動が大きい場合、具体的なモデルは、地域特性に応じて異なると考えられる。

一方、わが国都市圏の自動車利用予測は、自動車OD調査に基づく3段階推定法やPT調査に基づく4段階推定法によるが、制約要因の時系列的な変化

に係わらず、予測手法の大枠が固定的になっているように思われる。3段階推定法は、自動車のみを取り上げて推計するために、交通手段間の選択性の時間的変化を考慮できない限界があるし、4段階推定法では、生成、発生・集中、分布、交通手段分担、配分といった手順が硬直化し、制約要因の分布状況に応じたモデル構築が十分に検討されていない限界が窺われる。

この論文は、このような問題意識に基づいて、わが国の都市圏の自動車利用予測に関して、パーソナルカー時代の到来に象徴される制約要因変化を考慮した予測方法とは如何なるものであるか、を検討するものである。

具体的には、4段階推定法における交通手段選択の取り扱いという古典的なテーマに立ち戻り、マクロ的にはトリップインターチェンジモデルとトリップエンドモデルの適用条件をいくつかの都市圏を取り上げて比較し、ミクロ的には制約要因が自動車利

^{*}正会員 工博 東京大学工学部助手 都市工学科
⁺正会員 Ph.D 東京大学工学部助教授 都市工学科
(〒113 文京区本郷7-3-1)

用に及ぼす代表的な影響を整理し、最後に、制約要因の予測と都市圏交通モデルへの取り込み方を検討する。

2. 地域特性と自動車利用

わが国のPT調査に基づく都市圏交通モデルは、これまで、すべてのトリップ目的に関して分布交通量を推定した後に分担トリップを推定するというインターチェンジ型の交通手段分担モデルを適用する方法が採用されている。インターチェンジ型モデルはOD間の交通条件にセンシティブであり、交通施設投資の評価に適した面があるが、逆に、交通条件に無関係であると批判されるトリップエンドモデルの方が、実際の自動車利用行動を適切に表現できる場合があることは過小評価されている。

実際に、都市圏交通調査の先駆的事例であるCATSやPATSでは、トリップエンドモデルとトリップインターチェンジモデルをトリップ特性に応じて使い分ける方法が用いられており、その考え方には、現在でも参考になる点がある。無論、昭和40年代のわが国への適用では、アメリカの都市圏とは、都市発展に占める公共交通機関の役割や自動車保有水準など、交通手段の選択性に係わる要因が異なるとの判断があったであろうが、現在は、わが国においても、大都市圏の郊外部や地方都市圏では、自動車保有が進行し、交通手段の「選択性」は大きく変化している。ここでは、CATSやPATSにおいて交通手段分担モデルを使い分けた考え方を概観し、わが国の都市圏交通モデルにおけるトリップエンドモデル検討の必要性を示す。また、シカゴ、ピッツバークとわが国諸都市圏の調査年次・計画年次での人口・保有率・交通手段分担特性を簡単に比較し、特に、地方都市圏での必要性を確認する。

CATSやPATSでは、トリップを公共交通機関利用の選択性に着目し、都心業務地区に向かうトリップとその他の局地的なトリップ（PATSではこれを通学トリップとその他に分ける）に分類し、前者にはインターチェンジ型モデル、後者にはトリップエンドモデルを適用する組合せ手法を採用している。これは、W.Smith(1966)によると、都心業務地区に向かうトリップは、比較的人口密度の高い居住地と従業地を結ぶ公共交通機関の整備された放射状の回廊に生ずることから、公共交通機関の整備さ

れていない郊外部と比べて、格段に選択性のある公共交通利用者と自動車利用者が多いことが各都市のOD調査で明らかになったからと説明されている。また、都心方向の公共交通機関の主体が鉄道であるのに対し、その他の局地的な公共交通の主体はバスであり、それらのバス利用者には免許がない人などの選択性が低い人々が多いと指摘されている。従って、公共交通機関利用者に占める選択性のある利用者の割合は、都市規模の拡大につれて、都心部への集中が増大し、良好な鉄道サービスが可能となるため、増大すると解釈している。

これらの要因は、概念的には、次式で表現される。ここで、居住密度、乗用車保有率、都心集中係数はモデル式の層別化に用いることも出来る。

$$T_i = f(S_i, (P_i/A_i), (H_i/C_i), D_i)$$

T_i : 公共交通機関によるパーソントリップの割合

P_i/A_i : ゾーンの居住密度（人口／面積）

S_i : 相対的な交通サービス水準（時間比など）

C_i/H_i : ゾーン乗用車保有率（保有台数／世帯数）

D_i : 都心集中係数

i : ゾーン

次に、わが国の諸都市圏における交通手段分担特性を把握し、トリップエンドモデル検討の必要性をマクロ的に把握するために、CATS、PATSと都市圏の交通手段分担特性を比較する。表1に、調査年次・計画年次の、面積、人口密度、保有率、自動車分担率の諸元を整理した。わが国の都市圏としては、大都市圏と交通手段分担特性の異なる地方中核都市圏を選定している。

自動車分担率は、大量輸送機関の交通網が縦横に整備されている大都市圏を除くと、取り上げた都市圏ではすべて7割を越えており、将来的にはさらに増大すると推定されている。乗用車保有率も同様に、大都市圏を除くと、将来的には世帯1台を越えて複数保有世帯の増大を考える必要のある段階に達している。密度の差は、都市圏の取り方が行政界単位のために比較しにくい面があるが、都市圏内では低密な地域ほど自動車分担率が高くなる傾向がある。

従って、わが国の大都市圏を除く都市圏では、乗用車保有率と自動車分担率の高さから判断して、大量交通機関利用が自動車利用の選択性の低い人や特定のODに限定されている可能性が高く、トリップ

表1. 諸都市圏交通調査の対象地域と交通手段分担関連諸元

都市圏	対象面積 (km ²)	調査年次				計画年次			
		年次	密度	保有率	車分担率	年次	密度	保有率	車分担率
シカゴ	3,203	1956	16.1	0.28	76.2%	1980	24.3	0.36	86.4%
ピッツバーグ	1,088	1958	13.5	0.27	81.3%	1980	17.5	0.34	87.9%
東京	15,164	1978	18.9	—	47.4%	2000	24.1	—	48.5%
仙台	2,291	1982	5.7	0.34	70.6%	2005	8.7	—	71.5%
前橋・高崎	1,309	1977	7.7	0.31	89.2%	1995	11.1	—	79.3%
西遠（浜松）	971	1984	9.4	0.64	89.1%	2005	11.5	—	88.2%
富山・高岡	540	1983	10.6	0.26	87.8%	2005	12.8	(0.29)	90.8%

注：密度は夜間人口密度（人／ha）、保有率（台／人）はシカゴ、ピッツバーグ、富山・高岡は乗用車保有率、他は自動車保有率である。
車分担率は、シカゴ、ピッツバーグでは、（乗用車＋タクシー）／（乗用車＋タクシー＋大量交通機関）
他都市圏は、（自動車）／（自動車＋鉄道＋路線バス・市電）である。

エンド形モデルの適用性を検討すべきであると指摘できる。

3. 個人属性と自動車利用

自動車などの交通手段の利用は、種々の制約によって決定される部分が多いことは、公共交通機関利用者と交通弱者の関係や自動車保有世帯と非保有世帯の交通行動の差などによって広く認識されている。特に、交通手段選択に関しては、保有・免許・公共交通サービスの有無などの絶対的な制約、移動距離などの相対的な制約、不完全情報による制約、家族構成員とのカップリング制約、あるいは、偏見や好みなどの主観的制約の重要性が数多く指摘されている（W.Brog, 1977）。また、業務用車両の持ち帰り通勤による自動車利用の固定、駐車制約による自動車利用の断念、あるいはバス廃止による利用可能性の剥奪なども、制約要因の事例である。具体的な重要性は、例えば、わが国の地方都市圏の通勤で、自動車と鉄道・バスが各々62%、11%利用されている状況で、「次に利用することのある交通手段」のある「選択層」は、各々全体の22%と5%に限定される（原田、1989）。また、制約要因の考慮はモデルの転用精度の改良という点で有用である（原田、1985）。

自動車利用予測に関しては、特に、大量交通機関利用との競合性・選択性に影響する制約要因の中で、

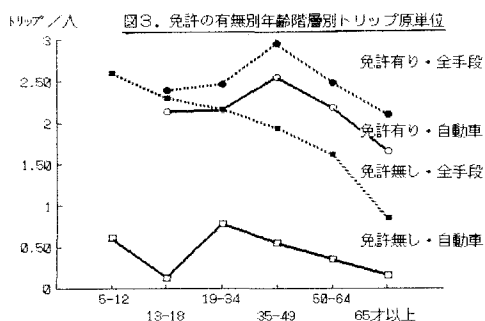
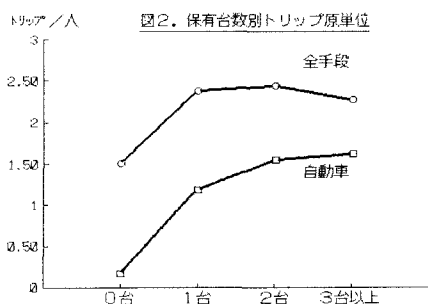
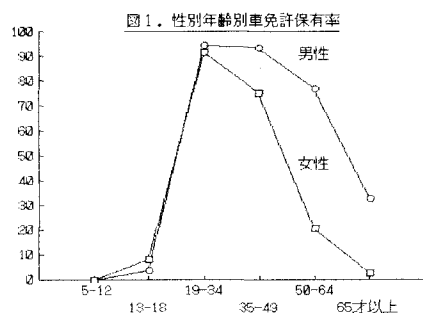
保有・免許・公共交通サービスの有無・移動距離の制約は物理的測定が可能であり、モデルへの取り込みを検討すべき要因である。これらの物理的な制約要因の中で乗用車保有は、選択性への影響が明解で、しかも、時系列的に変化が大きく、初期の交通手段モデルの適用においても層別要因として取り上げるべきと指摘されている。ただし、乗用車保有は世帯属性のため、わが国の個人を分析単位とする生成交通量予測には馴染まない問題がある。ここでは、保有と免許を取り上げて、両毛都市圏（足利市、太田市、桐生市、館林市、佐野市）のサンプルデータ（1865世帯、6285人）で、具体的な関係を整理する。

はじめに、保有と免許保有の分布を述べると、世帯平均保有台数は1.85台（＝0.55台／人）と高く、非保有世帯の割合は9%、複数保有世帯は59%を占める。一方、免許保有率は全体で51%であるが、男性19才から49才と女性の19才か34才では93～95%と極めて高くなっている（図1）。

つぎに、トリップ生成と交通手段分担との関係を、属性グループ別のトリップ発生率と自動車トリップ発生率によって把握した。保有台数によるトリップ原単位（トリップ／人）は図2が示すように、0台で1.5、1台で2.4、2台で2.5、3台以上で2.3前後であり、全手段計でみると複数保有世帯の構成員の方が単数保有世帯の構成員よりもト

リップ原単位が大きいのとは言えない。ただし、車利用原単位（車利用トリップ／人）は0台で0.2、1台で1.2、2台で1.6、3台以上では1.7前後であり、0台、1台、2台以上の順に、自動車利用原単位が増加する傾向がある。しかし、2台以上の複数保有世帯では、自動車利用原単位はほぼ安定しており、複数保有の進行により自動車利用が進む傾向は表れていない。

次に、免許の有無別の原単位、車利用原単位を、性別年齢別に整理した（図3）。原単位で0.81、車利用原単位で1.97の差があり車利用率の差（免許有り88%、免許無し19%）が明確に表れている。なお、職業の有無では原単位の差が2.31、車利用原単位の差が1.39であり「免許の有無」の方が「職業の有無」よりも自動車分担率の相違との関係が明確である。



従って、「免許の有無」は、「世帯内の自動車保有台数」と比較すると、属性間の原単位の相違が明確である。これは、個人別の自動車の利用可能性を示す変数として「免許の有無」がより適切であることを示している。即ち、世帯属性よりも直接的で、トリップ生成量と自動車利用量との関係が明確な免許の有無によって、制約要因のもっとも大きな変化は表現できるものと考えられる。

4. 自動車利用予測モデルの要件

ここでは、検討対象を制約要因変化の影響が大きい自動車保有率の高い地方都市圏に限定し、現時点の予測作業に於て自動車利用予測モデルの満足すべき要件を整理する。

現時点の都市圏交通需要予測で考慮すべき主要な社会経済構造の変化の方向は、一般的には、高齢化社会、全員参加社会（特に女性の社会進出）、一人に一台のパーソナルカー時代であると考えられる。特に、自動車利用に関しては、絶対量・相対量ともに、既述したように、免許の有無による相違が大きいので、性・年齢階層・職業の有無・免許の有無別の構成変化を予測要因に取り込む工夫が必要である。4段階推定法の中では、生成交通量と交通手段分担の予測方法を改良する必要がある。

これらの要因変化の生成交通量への影響と予測可能性を、表2に整理した。職業の有無・免許の有無は、18才未満は無職無免許がほとんどであるなど、性年齢階層と強い相関関係があるので、理論的には、性・年齢階層・職業の有無・免許の有無別のコーホート分析を適用することが考えられる。ただし、実際は、職業の有無の影響が性年齢階層と免許の有無でほぼ表現されてしまうと考えられること、ならびに、性年齢階層別の免許取得率・維持率に関するデータが十分に利用できないことなど、都市圏の状況に応じた簡易化が必要となる。例えば、富山・高岡都市圏では、65才未満・以上別、職業別、車の自由度別の生成原単位を適用している。ここで、車の自由度は、世帯保有と免許保有を同時に満たすものとその他に分類したもので、交通手段の選択性を強く意識した予測方法となっている。

ここでは、免許の有無が最も重要な要因であるとの判断から、性年齢別のコーホート予測をベースとして、性年齢別の免許保有率を別途推定して組み合

わせる方法を提案する。この方法は、高齢化などの性年齢別人口構成の変化、免許保有率の上昇によるトリップ原単位・車利用原単位の平均値の上昇、そして、間接的ではあるが、有職者率の増加も取り入れたものとなっている。

また、免許の有無は自動車の運転能力を示す指標であり、自動車の分担率と直接的な関係があり、予測結果の解釈等が容易となる。特に、自動車の運転と同乗を区別して予測する場合には、免許の有無は重要な選択要因の一つとなると考えられる。更に、交通量予測の安全側、即ち上限を予測する観点からは、免許保有者一人当りの保有台数は1を越える可能性があるが、一度に2台運転することは物理的に不可能であるため、免許保有者が別々に一台の自動車を使用すると考えて予測する方法が適している。

なお、実際の予測作業では、性年齢別人口構成、免許保有率、年齢別有職者率、などの変更による影響を示しうるような感度分析を行うことが望ましい。

次に、交通手段分担に関しては、性・年齢階層・職業の有無・免許の有無の相互関係を考慮し、運転可能層と運転不可能層に分けて、交通手段分担モデルを使い分ける工夫が肝要である。表3に、両毛都市圏の分析から、競合手段とモデルタイプとの対応を例示した。交通手段は、自動車の分担率が更に増加することを考えて、徒歩・二輪、自動車（運転）、

自動車（同乗）、鉄道・バスに分けた。
ここでの考え方を概説する。自動車（運転+同乗）の分担率は、全目的で60%であるが、免許保有者に限定すると87%と高く、鉄道・バスは2%、徒歩・二輪は11%である。この自動車（運転+同乗）の分担率を目的別にみると、免許保有者では、トリップ数の少ない通学で57%と低くなるのを除いて、85%を越えている。鉄道・バスの分担率は小さいため、都市圏全域のODペアについて分担率モデルを作成し将来交通量を予測するのは効率的ではない。
一方、徒歩・二輪は、年齢別では、免許非保有年齢の5-18才で75%を占め、免許ありで11%を占める。免許非保有年齢では、5-12才では徒歩66%、二輪10%に対し自動車（同乗）が25%であり、13-18才では、徒歩25%、二輪50%に対し自動車（同乗と運転）11%である。自動車（同乗）と徒歩・二輪の関係をどう扱うかが問題となる。この関係には、同乗できる自動車と運転者の利用可能性、そして徒歩・二輪との時間差や費用差が影響、ならびに、年齢による制約などが影響している。例えば、年齢の相違は可能性、そして徒歩・二輪との時間差や費用差が影響、ならびに、年齢による制約などが影響している。例えば、年齢の相違はバイクや自動車の運転能力と関連しており、通学目的ではバイク通学の禁止、2 KM未満の自転車通学禁止などの制約があ

表2．生成交通量予測における社会経済属性の選定

主な将来変化	関連変数	トリップ生成の特性	属性変化の予測可能性
①高齢化等の構成変化 ②女性の社会進出 ③免許保有の進行 ④複数保有の進行	性年齢階層 職業の有無 免許の有無 自動車台数 (世帯属性)	高齢者で減少 職業有りで増加 免許有りで増加 0台と1台に差あり 複数保有での差は小	コーホート分析 経年変化 経年変化 ロジスティック時系列曲線 (個人属性との組合せが課題)

表3．個人属性グループと予測手法の対応例

属性グループ	目的	主要手段（分担率）	エント型	インターチェンジ型	注。
運転不可能層 [#]	通勤	－	－		◎：第一候補
	通学	徒・二(83)、鉄・バ(8)、同乗(7)	○	◎	○：第二候補
	業務私用	－	－		－：少数、簡略手法とする
運転可能層	通勤	徒・二(65)、同乗(30)	○	◎	#；運転不可能層は免許取得の不可能な18才未満と免許の使用が困難となる後期高齢者である。
	通学	運転(85)、徒・二(10)	◎	○	
	業務私用	－	－		
		運転(86)、徒・二(7)	◎	○	
		運転(79)、徒・二(12)、同乗(7)	◎	○	

る。これらの制約によって、年齢階層別にトリップ目的別の手段利用に固定的な面がみられる。具体的には、鉄道利用は全体の半数が13～18才の通学とその帰宅に集中し、自動車の同乗の3割は5～12才の私用とその帰宅に集中している。また、通勤・業務では、65才以上の高齢層で、免許保有率が低いことも影響し、自動車分担率が大きく減少する。

従って、この都市圏の例では、免許保有年齢の運転可能層については、ほぼ現状の免許保有者と同様に徒歩・二輪分担率は7%前後で分担率モデルで全域的に扱うほどの割合ではないこと、比較的短距離の自動車と競合性の低いトリップで利用されることから道路整備等の交通施設整備に関して固定的と考えられることから、現状の免許保有者の交通手段別分担率を適用するなど、トリップエンド型の交通手段分担モデルの検討が適切である。一方、免許非保有年齢と後期高齢者の運転不可能層については、自動車（同乗）と徒歩・二輪との分担関係は、交通手段のサービス水準、個人属性・世帯属性、あるいはトリップの行われる地域などによって説明されるが、トリップ目的により要因の強さが異なると考えられるので、トリップエンド型の交通手段分担モデルとトリップインターチェンジ型の交通手段選択モデルとの使い分けを検討すべきであると考えられる。

なお、特定方向からの都心部への交通など、特定のODに関する大量交通機関の整備・改良が政策課題となる場合には全域モデルとは別途に政策評価を目的とする非集計型の交通行動モデルを適用するなど、政策課題に応じた弾力的な運用が必要となろう。

地方都市圏では、免許保有率、複数保有世帯率、自動車分担率について同様の特性を有する都市圏が数多く存在すると考えられる。予測手順とモデルタイプに関する固定観念は大きな誤差を生む危険があるろう。

5. おわりに

この論文は、わが国の都市圏の自動車利用予測に関して、パーソナルカー時代の到来に象徴される制約要因変化を考慮した予測方法とは如何なるものであるかを、マクロ的な交通特性の比較とミクロ的な制約要因の影響分析を行って検討した。おもな知見は以下の通りである。

① わが国の地方都市圏の現状は、トリップエンド

モデルとトリップインターチェンジモデルを、都市圏の自動車保有レベルや大量交通機関網の整備状況、即ち、交通手段の選択性の程度に応じて、組み合わせ使い分けを検討すべき状況にある。

② 車庫・駐車場問題の制約の少ない地方都市圏では、交通手段の制約要因の中で、自動車利用に関連し、将来的な影響が大きく、予測可能な要因として、世帯の自動車保有台数に比べて、個人の免許の有無の方が有用である。

③ 都市圏の生成交通量予測においては、制約条件変化に伴う自動車利用を予測するために、性年齢階層別構成変化を予測するコーホート法にあわせて免許保有率の変化を推計し、性年齢階層別免許の有無別原単位と組み合わせ生成交通量を推計する方法が考えられる。

④ 都市圏の交通手段分担モデルは、運転不可能層（18才未満の無免許層と後期高齢者）と運転可能層（18才以上の免許取得層）に層別し、トリップ目的に交通手段の競合関係を考慮して、トリップエンドモデルとトリップインターチェンジモデルを組み合わせて使い分ける方法が有望と考えられる。

以上、ひとつの検討結果を整理した。地方都市圏の交通調査で、交通手段の選択性にあらためて着目し現状分析と将来予測が行われる必要がある。今後、自動車への依存度の高い都市圏に於て、個人に着目した調査を行う必要性を改めて整理する必要がある。

参考文献

1. W.Smith and Associates, Transportation and Parking for Tomorrow's Cities, 1966 (アメリカの都市交通問題と交通計画の考え方、日本交通政策研究会大都市交通政策プロジェクト研究会訳、1977年)
2. W.Brog, Round Table 34, Psychological Motivation Determinants of User Behavior, ECMT
3. U.S. D.O.T, Urban Transportation Planning General Information, 1972
4. B.V.Martin, F.W.Memmott, III, and Bone A.J., Principles and Techniques of Predicting Future Demand for Urban Area Transportation, M.I.T. Report No.3, 1961
5. 土木学会、交通需要予測ハンドブック、1981年
6. 富山・高岡都市圏第2回P.T調査報告書 将来推計編、1985年
7. 原田 昇、利用可能性を考慮したアクセス手段選択モデル、土木学会年講第IV部、1985年
8. 原田 昇、地方都市における通勤交通手段の利用可能性に関する分析、土木学会年講第IV部、1989年、pp.94-95
9. 群馬県、車の利用解析調査、1990年