

## 豊田市を対象とした交通政策導入効果のマイクロシミュレーションを用いた分析\*

### Effect Analysis of Transportation Policies using Micro-Simulation Method - A Case Study of Toyota City -

菊池輝\*, 北村隆一\*\*\*, 倉内慎也\*\*\*\*, 佐々木邦明\*\*\*\*\*, 花井卓也\*\*\*\*\*, 藤井聡\*\*\*, 森川高行\*\*\*\*, 山本俊行\*\*\*

By Akira Kikuchi, Ryuichi Kitamura, Shinya Kurauchi, Kuniaki Sasaki,  
Takuya Hanai, Takayuki Morikawa, Satoshi Fujii, Toshiyuki Yamamoto

## 1. はじめに

古典的四段階推定法による交通需要予測の限界点が指摘され<sup>1)</sup>, それに代わる方法論として個人の生活をミクロに再現するシミュレーションを用いた交通需要予測手法が, 計算機環境の進展とともに実用可能な範疇に入ってきた。この手法は個人の一日の生活における活動をシミュレーションにより特定し, それを全個人について集計することにより, 交通需要を発生から分布・分担まで時間帯別に予測可能なシステムである。この手法の四段階推定法に対して優れている点は, 交通需要を発生から配分までいくつかの段階に分解することなく, 一体的に捉えられることや, シミュレーションに用いるモデルの選択によっては, モデルシステムに一貫した行動論的背景を持たせることが可能な点などがあげられる。また, 活動を含めて個人の行動をシミュレートすることにより, 交通サービスレベルの変化による需要の変化だけでなく, 時差出勤やテレワークの普及など, 交通そのものではなく, 個人の活動に影響を与える変化に対する交通の変動が把握可能な点も長所としてあげられる。

本研究は, 以上のような利点を持つマイクロシミュレーション手法を用いて時差出勤, ノーカーデー, パークアンドライドなどの政策に対する交通量の変化を把握することを目的とし, 事例研究として豊田市にこれらの政策を導入した場合の交通量の変化を分析する。

## 2. シミュレーションモデルとその概要

### (1) 本研究で用いるシステム

本研究ではプリズム制約を考慮した個人の活動シミュレータであるPCATS<sup>2)</sup>を用いる。このシステムは京都大学の北村研究室で開発され, すでに京都市でのTDM政策<sup>3)</sup>や大阪市での将来交通計画<sup>4)</sup>に適用した事例があり, その需要予測の信頼性が確認されている。

PCATSは睡眠, 仕事, 学校を固定活動として, 自由時間の活動を規定するために, 活動継続時間決定モデル, 活動内容選択モデル, 目的地・交通機関選択モデルの3つのサブモデルにより構成されている。活動継続時間決定モデルは生存時間モデルの枠組で構築され, 他の活動内容選択モデル, 目的地・交通機関選択モデルは離散型選択モデルの枠組みで構成されている。活動継続時間決定モデルのみが, 他の2つのモデルと違い, 行動論的背景を持っておらず, また離散的な継続時間を出力することが難しい。つまり一般的な生存時間モデルに基づく活動継続時間決定モデルは, 与えられたパラメータに従い連続時間上の一点を活動継続時間として出力することになる。しかし, 実際の活動時間継続は, 時空間プリズムによってある程度固定的に定められることが多いことや, 活動シミュレーションを行った場合に, 時間制約の直前に活動が終了してしまう可能性があることになり, その短い時間に再び自由活動を行うことになる。従来<sup>5)</sup>の研究では自由活動の数が過大に出力されてしまう問題として指摘されていた。また, 他の2つのサブモデルは, 離散型選択モデルの枠組みで構成されているが, 都市圏を対象とした場合の目的地選択は, 目的地ゾーンを細かくした場合には選択肢が膨大になり, 目的地ゾーンを粗くした場合にはサービスレベル変数や予測の精度に問題が生じるなどの問題点も存在する。

\*キーワード: 交通行動分析, 交通計画評価, シミュレーション

\*\*学生員 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻

〒606-8501 京都市左京区吉田本町

\*\*\*正員 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻

〒606-8501 京都市左京区吉田本町

\*\*\*\*正員 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻

〒464-8603 名古屋市千種区不老町

\*\*\*\*\*正員 山梨大学工学部土木環境工学科

〒400-8511 甲府市武田4-3-11

\*\*\*\*\*正員 中央コンサルタンツ

〒451-0042 名古屋市西区那古野2-11-23

## (2) 本研究で用いるサブモデル

(1) で述べたような問題点を考慮した上で、本研究では活動継続時間決定モデルにSplit Population Survival Model (SPSM)<sup>7)</sup>を用いることとする。SPSMは次の活動の継続時間を決める際に、従来のような生存時間モデルによってのみ活動継続時間を決定するのではなく、与えられた自由時間帯を、次に行うと決定された自由活动だけを行うのかどうかを意思決定時点で確定し、それだけを行うと決めた場合は自由時間を使い切るように活動継続時間を決定する。そうでない場合には、従来のように生存時間モデルによって活動継続時間を決定する。これによって過度に自由活动を生成する問題を解消できると考えられる。

また、活動内容選択モデルは、従来と同様にネステッドロジットモデルを採用し、上位段階に在宅か宅外活動かの選択、下位段階に自由活动の内容を選択する構造とした。目的地・交通機関選択も同様にネステッドロジットモデルを採用し、上位段階に時空間プリズム制約を考慮した目的地選択、下位段階に交通機関選択とした。

## 3. 事例研究

### (1) 使用したデータ

本研究ではPCATSシステムを都市圏レベルでの交通需要予測に適用するために、パーソントリップ調査(以下PT調査)を用いることとした。PT調査データは本来トリップベースの調査であるが、トリップの目的が尋ねられているため、宅外での活動とその継続時間が把握できる。そこでそれらを抽出して、宅外アクティビティダイアリーデータに変換して、PCATSの分析データとする。

本研究で対象とする豊田市が対象エリアに含まれる、中京都市圏PT調査の最新のものは平成3年に行なわれたが、平成7年にトヨタ自動車(株)の勤務体制が大幅に変更されたことにより、トヨタ自動車社員やその家族の生活行動パターンは変化し、トヨタ関連の従業者数が多い豊田市においては社員以外の豊田市民の交通行動にも直接・間接的に何らかの影響を与えていると考えられる。従って本研究では、平成3年のPT調査データを使用せず、平成8年に行われた中京都市圏PT調査中間年次調査のうちの小規模PT調査のデータを用いることとした。また、本研究は主に豊田市で

の政策分析を対象にしているため、小規模PT調査の中から、豊田市に住んでいる人と、調査日に一度でも豊田市に立ち寄った人のデータを用いて分析を行うこととした。

### (2) シミュレーションの前提

PCATSに基づくシミュレーションでは、個人の1日は、自由時間帯と固定時間帯に分類され、固定時間帯では、活動内容、活動場所、活動時間等の活動の要素は予め決められているとする。一方自由時間帯では、個人の自由意思で以下に示した活動および移動の各要素を決定することができるものとする。

活動要素：開始時刻、終了時刻、活動内容、活動場所  
移動要素：出発・目的地、交通機関、出発・到着時刻

また、活動内容の分類については、中京都市圏PT調査に基づき以下のように定めた。

#### <固定活動>

- ・仕事(勤務先内勤・業務活動)
- ・学校(小学校・中学校・高校・大学・塾等)
- ・睡眠<sup>\*註1)</sup>

#### <自由活动>

- ・在宅
- ・自由活动1(食事・家事・医療・日常的な買い物)
- ・自由活动2(娯楽・日常的でない買い物)
- ・自由活动3(社交・送迎・PTAの会合)
- ・自由活动4(観光・レクリエーション)

活動場所および移動の出発・目的地については、対象地域を複数のゾーンに分割することで表現することとした。なお、後に示す数値計算例では、中京都市圏PT調査対象地域を405に分割したゾーンをもちいた。また、交通機関については、自動車、公共交通機関(鉄道・バス)、その他(徒歩・自転車等)の3つを考慮することとした。

シミュレーションでは活動場所、活動時間、活動内容、および移動時に用いる交通機関の4項目を特定することになるが、すでに事例研究が行われたものと同様にこれらの意思決定を逐次的なものと考えることとした。つまり、仮想個人はまず活動内容を決定し、その次にその活動を実行する場所、およびその場所を目的地とする移動での交通機関を同時に決定し、最後にその場所においてその活動を実行する時間長を決定するものである。

### (3) 各サブモデルの推定結果

平成8年小規模PT調査は抽出率が0.8%と低く、豊田市在住者と豊田市に関連したトリップを行い、サブモデル推定に用いることができるサンプル数は681であった。本来マイクロシミュレーション手法を用いる場合には、各個人の行動特性を正確に再現する必要があるが、行動特性が異なると考えられるカテゴリー、例えば就業者と、非就業者のように分けてモデルを構築することが望ましいが、サンプル数が少ないため、各パラメータの安定性を高めるために、サンプル全体を一つのカテゴリーにして推定を行った。各サブモデルの推定結果を以下の表に示す。

表－1 活動継続時間モデル

| 生存時間モデル | 活動別継続時間規定関数                                    |       |       |       |       |
|---------|------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 変数名     | 自由1                                            | 自由2   | 自由3   | 自由4   | 在宅    |
| 定数項     | -0.07                                          | -0.09 | -0.50 | -0.24 | -1.08 |
| 50歳以上がミ |                                                |       | 0.15  |       |       |
| 男性がミ    | -0.13                                          | -0.08 |       | -0.13 |       |
| 車保有台数   |                                                |       |       |       | 0.01  |
| 5歳以下人数  |                                                |       | 0.09  |       |       |
| Time1   |                                                |       |       |       | -1.50 |
| Time3   | 0.23                                           | 0.07  |       | 0.24  |       |
| Time5   |                                                |       | 0.23  |       |       |
| Time6   |                                                |       | 0.26  |       |       |
| First   | -0.06                                          | -0.19 | -0.13 | -0.31 |       |
| 余裕時間    |                                                |       |       |       | 0.01  |
| 活動実行モデル | 活動別実行規定関数                                      |       |       |       |       |
| 定数項     | 1.91                                           | 28.1  | 4.97  | 3.74  | 1.87  |
| 50歳以上がミ |                                                | -10.4 |       | -4.72 |       |
| 免許保有がミ  | 0.83                                           |       |       | -2.49 | -0.69 |
| 世帯人数    |                                                |       |       |       | 0.18  |
| 5歳以下人数  |                                                |       |       |       | -0.28 |
| Time2   |                                                | -12.8 |       |       |       |
| Nwork   |                                                |       |       |       | -1.63 |
| 余裕時間    | -1.31                                          | -15.4 | -9.56 | -0.67 |       |
| ただし     |                                                |       |       |       |       |
| 50歳以上がミ | 1:50歳以上、0:そうでないとき                              |       |       |       |       |
| 男性がミ    | 1:男性、0:女性                                      |       |       |       |       |
| 免許保有    | 1:運転免許を保有している、0:保有していない                        |       |       |       |       |
| 保有台数    | その世帯で保有している自動車の台数                              |       |       |       |       |
| 世帯人数    | 家族の人数                                          |       |       |       |       |
| 5歳以下人数  | 5歳以下の子供の人数                                     |       |       |       |       |
| Time1   | 1:活動開始時刻と次の固定活動開始時刻の中間時刻が3:00～12:00 0:そうでないとき  |       |       |       |       |
| Time2   | 1:活動開始時刻と次の固定活動開始時刻の中間時刻が12:00～18:00 0:そうでないとき |       |       |       |       |
| Time3   | 1:活動開始時刻と次の固定活動開始時刻の中間時刻が18:00～24:00 0:そうでないとき |       |       |       |       |
| Time5   | 1:活動開始時刻と次の固定活動開始時刻の中間時刻が18:00～21:00 0:そうでないとき |       |       |       |       |
| Time6   | 1:活動開始時刻と次の固定活動開始時刻の中間時刻が21:00～24:00 0:そうでないとき |       |       |       |       |
| First   | 1:対象となる活動がその日の1番目の活動である 0:そうでないとき              |       |       |       |       |
| Nwork   | 1:学生・主婦・無職・その他、0:そうでないとき                       |       |       |       |       |
| 余裕時間    | 次の固定活動開始時刻までの時間                                |       |       |       |       |

表－2 活動内容選択モデル

| 活動パターン選択<br>(上位レベル) | 在宅 宅外自由活動 |       |       |       |
|---------------------|-----------|-------|-------|-------|
| 定数項                 |           |       |       | -0.79 |
| 男性がミ                | 1.72      |       |       |       |
| 保有台数                |           |       |       | -0.15 |
| ログサム変数              |           |       |       | 0.74  |
| 自由活動選択<br>(下位レベル)   | 自由1       | 自由2   | 自由3   | 自由4   |
| 定数項                 |           | -3.53 | -1.83 | -9.28 |
| 50以上がミ              | 0.86      |       | 0.95  |       |
| 男性がミ                | 1.22      | 2.45  |       | 2.01  |
| 免許保有                |           |       | 1.50  |       |
| Nowtime1            | 1.54      |       |       |       |
| Nowtime3            |           | 0.85  |       | 1.54  |
| Nowtime4            |           |       | -0.93 |       |
| ProbL               |           | 1.45  |       | 6.70  |

ただし

男性がミ 1:男性 0:女性  
 保有台数 その世帯で保有している自動車の台数  
 50以上がミ 1:50歳以上 0:そうでないとき  
 免許保有 1:運転免許を保有している 0:保有していない  
 Nowtime1 1:現在時刻が11:00～14:00 0:そうでないとき  
 Nowtime3 1:現在時刻が3:00～12:00 0:そうでないとき  
 Nowtime4 1:現在時刻が12:00～18:00 0:そうでないとき  
 ProbL 想定活動時間分布が余裕時間以下である確率

表－3 交通機関・目的地選択モデル

| 目的地選択<br>(上位レベル)  |        |         |       |
|-------------------|--------|---------|-------|
| 人口密度              | -1.74  |         |       |
| 第三次産業人口           | 1.61   |         |       |
| 駅数                | -0.146 |         |       |
| 内々がミ              | 1.10   |         |       |
| ログサム変数            | 0.917  |         |       |
| 交通機関選択<br>(下位レベル) | 公共交通   | 自動車     | その他   |
| 定数項               |        | -2.23   |       |
| 時間(時間)            |        | -3.57   |       |
| 費用(円)             |        | -0.0073 |       |
| 免許保有              |        | 2.09    |       |
| 保有台数              |        | 0.461   |       |
| SameCode          |        |         | 1.20  |
| 18以下がミ            | 2.21   |         |       |
| Ntime1            |        |         | 0.768 |
| Ntime2            | -1.60  |         |       |
| Ntime5            |        |         | 0.71  |
| Ntime6            | -1.77  |         |       |
| dd1               | -1.98  |         |       |
| dd4               |        |         | -1.41 |

ただし

人口密度 当該ゾーンの人口密度(万人/km<sup>2</sup>)  
 第三次産業人口 当該ゾーンの三次産業従業者数(万人)  
 駅数 当該ゾーンに存在する駅の数  
 内々がミ 1:内々トリップ 0:そうでないとき  
 免許保有 1:運転免許を保有している、0:保有していない  
 保有台数 その世帯で保有している自動車の台数  
 SameCode 1:現在場所と次の固定活動が同じゾーン 0:そうでないとき  
 18以上がミ 1:18歳以下 0:そうでないとき  
 Ntime1 1:現在時刻が7:00～9:00 0:そうでないとき  
 Ntime2 1:現在時刻が9:00～11:00 0:そうでないとき  
 Ntime5 1:現在時刻が15:00～19:00 0:そうでないとき  
 Ntime6 1:現在時刻が19:00～21:00 0:そうでないとき  
 dd1 1:現在の場所が自宅で次の固定活動も自宅 0:そうでないとき  
 dd4 1:現在の場所が自宅で次の固定活動が自宅や勤務先以外 0:そうでないとき

#### (4) 政策導入の効果測定

(3) で得られたパラメータをPCATSに投入してシミュレーションを行い、以下の政策に対する交通量の変化を分析した。ただし、シミュレーションの対象となる仮想個人は、推定に用いたサンプルをPT調査データの拡大係数に従って拡大した410,522人である。

- ・時差出勤の導入に対する交通量の変化
- ・ノーカーデーへの協力が得られた場合
- ・公共交通機関の所要時間の短縮

これらの政策の具体的な表現として以下のような仮定をいた。

- ・仮想個人の出勤時刻が朝8時から9時の間にある場合に、その半数の出勤時刻を1時間遅らせる
- ・サンプルの半数を免許不保持に属性を変更する
- ・公共交通機関のLOSデータを以下のように変更する  
所要時間20分未満： 変更無し  
所要時間20分以上40分未満： (所要時間+20分)/2  
所要時間40分以上： 時間-10

これらの仮定を導入することによって、通勤のピーク分散が図られたり、公共交通のサービスレベル向上に伴い、公共交通の利用率が向上するなどの効果が期待される。この政策を導入した場合の活動シミュレーションより、仮想個人の時間帯別の機関別OD交通量を算出し、バックグラウンドに流れる交通とあわせて愛知県内の道路ネットワークに流し、各リンクの時間帯別の交通量をDEBNetSによって計算した。そこから得られる豊田市内を通過するリンクの交通量の合計の時間的推移を、現況OD交通量をDEBNetSに流して計算した交通量との比にして図-1に示した。図-1を見ると、時差出勤導入によって全ての時間において交通量が増加している。リンク毎に見ると交通量が増加したものと減少したものがあるが、豊田市全域の全時間帯の合計では約4%の増加になっている。これは始業、終業時刻が分散したことにより、通勤ラッシュが緩和され、結果として各リンクの通過所要時間の低下による経路需要の変化が起きたものと思われる。シミュレートしたサンプルだけを見ると、トータルのカートリップ数はほぼ同じであるため、この需要は豊田市付近を通過していた車輛が、経路を変更して豊田市内に通過、流入した結果と思われる。同時に示したノーカーデーへの協力や、公共交通機関の改善による効果も、仮想個人の自動車利用トリップの減少の割合に比較

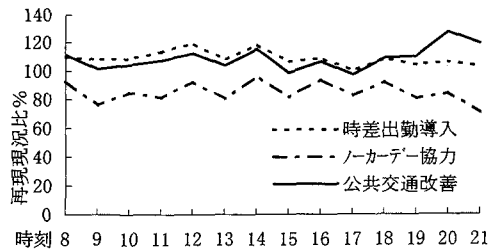


図-1 豊田市内通過リンクの交通量の合計の推移

して、豊田市内の交通量はの変動はそれほど大きくなく、公共交通の改善による転換需要喚起は逆に豊田市内の道路交通量を増加させている。

#### 4. おわりに

本研究は生活行動シミュレータPCATSと道路交通シミュレータDEBNetSを用いて、各種の交通政策を豊田市に導入した場合の効果を、豊田市内のリンク交通量の変化を取り上げて分析した。その結果、周囲の交通が容量以上になっている場所での自動車交通減少のための政策の導入は、経路需要は他からの経路変更や、誘発された交通需要によってその効果が明確に現れない可能性があることが指摘できる。

本システムにはいまだ数多くの課題を抱えているが、今後サンプルを増加させて、現況の再現性を高めることにより、一層正確な交通需要の予測が可能になると考えられる。

謝辞：本研究は名古屋大学大学院生長澤貴憲君の協力によって成立している。ここに記して感謝の意を表します。

\*<sup>1)</sup>睡眠については、PT調査データからでは睡眠時間が判らないことから、午前3時を在宅の固定活動とした。

#### 参考文献

- 1) 北村隆一：交通需要予測の課題—次世代手法の構築にむけて、土木学会論文集，No. 530/IV-30，pp. 17-30，1996。
- 2) 藤井 聡，大塚祐一郎，北村隆一，門間俊幸：時間的空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築，土木計画学研究・論文集，No. 14，pp. 643-652，1997。
- 3) 藤井 聡，奥嶋政嗣，菊池輝，北村隆一：Event-Based Approachに基づく簡便なミクロ交通流シミュレータの開発：生活行動と動的交通流を考慮した実用的な交通政策評価手法の構築を目指して，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第4部，pp. 694-695，1998。
- 4) 藤井聡，菊池輝，北村隆一，山本俊行，藤井宏明，阿部昌幸：マイクロシミュレーションアプローチによるTDM・TCM政策の効果分析—京都市における交通政策による地球環境問題への対策の検討—，土木計画学研究・講演集，No. 21(2)，pp. 301-304，1998。
- 5) 川田均・飯田祐三・白水靖郎：総合交通政策の評価に関する事例研究，土木計画学研究・講演集，No. 22，1999。（発表予定）
- 6) Econometric Software Inc.：LIMDEP—Chapter 32 Parametric Model of Duration，pp. 811-813，1996。
- 7) 高尾徳，森川高行，倉内慎也，佐々木邦明：勤務体制変更に伴う活動時間変化のモデル分析，土木計画学研究講演集，No. 21(2)，pp. 783-786，1998。