

非集計交通需要分析のための将来世帯属性生成システムの構築*

A Household Attributes Generation System for Long-range Travel Demand Forecasting with Disaggregate Models*

西田悟史**, 山本俊行***, 藤井聡****, 北村隆一*****
By Satoshi Nishida**, Toshiyuki Yamamoto***, Satoshi Fujii****, and Ryuichi Kitamura*****

1. はじめに

近年、交通需要予測をより精緻なものにするために、従来の四段階推定法等に代表される集計的な予測モデルに代わって、個人の行動に着目した、いわゆる非集計アプローチ（本稿では、アクティビティアプローチも含む広義のものとして非集計アプローチを位置付ける）の予測モデルが適用されるようになってきた¹⁾。非集計アプローチに基づいて、交通需要予測、および、交通政策評価手法を行うためには、モデルの説明変数として用いられる個人あるいは世帯の情報を用意しなければならない²⁾。現況での短期予測を行う場合には、パーソントリップデータ（以下、PT データ）から現況の非集計データを抽出するという方法が可能であるが、長期予測の場合には、将来時点での非集計データを生成する方法論が不可欠である。非集計モデルの有効性は繰り返し主張されているが、この方法論が確立されない限り、交通計画上極めて重要な長期需要予測に、非集計タイプのモデルを適用することができない。

本研究では、以上の認識のもと、長期的交通需要予測手法のための世帯属性生成システムを構築する。本システムで用いる個々の基本的な方法論自体は旧来から提案されているものであるが、我が国における PT データを含む種々のデータベースの利用を前提とすること、かつ、そのために必要とされるいくつかの方法論的拡張を行っている点が、その特徴である。また、本システムは、実際に、2020 年を予測時点とする大阪市の長期的な交通施策評価分析にも適用されており³⁾、大量世帯を取り扱うことが可能である点、すなわち、高い実務的実用性を持つ点も、大きな特徴である。

2. 世帯属性生成システムの構成

(1) 世帯属性の生成の考え方

我が国では国勢調査を含む多様な調査が実施されているが、非集計モデルが必要とする個人あるいは世帯レベルでの非集計情報は開示されていない。したがって、

需要予測には PT 調査で得られる非集計データに、国勢調査等から得られる集計的情報から求められる拡大係数を付与するというアプローチが頻繁にとられる。しかしながら、従来用いられてきたような性別と年齢層の組み合わせによる拡大係数を用いた場合、交通行動に大きな影響を及ぼすと考えられる世帯構成人数や自動車保有台数が母集団分布に一致する保証はない。世帯構成人数や子供の人数等は性別や年齢と相関を持つと考えられるため、母集団代表性を高めるためには全ての属性に関する同時分布に基づいて拡大係数を算出する必要がある。ただし、現時点では多数の属性からなる母集団の同時分布に関する情報は存在しない。そのため、拡大したサンプル分布と母集団の複数の属性の各周辺分布との残差平方和を最小にするという拡大係数の算出方法⁴⁾や、世帯主年齢と家族類型からなるライフステージ行列を定義し、国勢統計区毎に行列のセル内の世帯数を算出する方法として、フレータ法による拡大係数の算出⁵⁾が行われている。

これらに加え、複数の周辺分布の制約下でのエントロピー最大化の考え方にに基づき、再帰的な計算によって拡大係数を算出する IPF (Iterative Proportional Fitting) 法⁶⁾が開発されている。IPF 法による拡大係数の決定は、サンプルの複数の属性間の相関関係が、拡大した後でも保たれるため、母集団の再現性が高いという望ましい性質を持っている。すなわち、サンプルの複数の属性分布間の相関は母集団の同時分布を反映していると考えられるため、その情報を保持した上で母集団の周辺分布にも一致する拡大係数を得ることが可能である。この点に着目し、従来の研究においても、Sarmiento et al.⁷⁾では電気自動車需要予測に IPF 法を適用している。本研究でもこの利点に着目し、拡大係数の算出方法として IPF 法を採用する。なお、従来では拡大係数を付与する単位は個人であることが一般的であったが、本研究ではこれを世帯とする。これは、世帯の属性が交通行動に影響を及ぼす⁸⁾から、というだけではなく、個人属性の変化が世帯属性の変化とは不可分だからであり、この点が、本システムが従来のシステムと異なる特徴の一つである。

個人や世帯の属性の将来値を推計するには、現状の値を与件とし、現状からの変化を推計する方法が有効であると考えられる。実際、集計的な方法論として頻繁に用いられるコーホート法⁹⁾も現状値を入力とし、現状の各世代の経年変化を推計することで将来値を算出するもので

*キーワード：総合交通計画、人口分布、交通行動分析

**学生員 京都大学工学研究科土木システム工学専攻

***正員 博(工) 京都大学工学研究科土木システム工学専攻

****正員 博(工) 京都大学工学研究科土木システム工学専攻

*****正員 Ph.D. 京都大学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

TEL 075-753-5136 FAX 075-753-5916)

ある。非集計分析の分野においても、現状からの各個人や世帯の変化をシミュレートすることで将来データを推計する方法が、交通需要予測¹⁰⁾や人口予測¹¹⁾、電気自動車需要予測¹²⁾に適用されている。このうち、Goulias and Kitamura¹⁰⁾、および林・富田¹¹⁾では離散的な時刻に基づき世帯属性が変化するのに対して Kazimi and Brownstone¹²⁾では連続時刻上での変化をモデル化している。分析者が外生的に与えざるを得ない離散時刻が実際の属性変化の時刻と一致している保証はなく、その点で連続時刻を用いたモデルの方が再現性が高いと考えられる¹³⁾ものの、後者ではモデル構築により詳細なデータを必要とする。本研究ではデータの制約から属性変化を離散時刻を用いて再現する。

本研究では、以上の考え方に基づいて、PT データの拡大係数を豊富な情報から算定する世帯構成分布算出システム、および、個々の世帯の動的な構成変化を再現する世帯変遷シミュレータから構成されるシステムを構築する。以下にそれぞれのサブシステムについて述べる。

(2) 世帯構成分布算出システム

当システムは、拡大係数算定にあたって IPF 法を用いる。IPF 法とは、標本抽出データから得られる非集計データの複数の属性間のオッズ比を保持したままで、全数調査から得られる各属性の周辺分布に一致するように、各セグメントの拡大係数を算出する手法である。ここで、複数の属性間のオッズ比とは、属性間の相関関係を表わすものであり、考慮する周辺分布（属性）が2次でそれぞれの属性の分類が2つずつである場合、以下の式で表わされる。

$$\phi = \frac{p_{1,1} p_{2,2}}{p_{1,2} p_{2,1}} \quad (1)$$

ただし、 p_{ij} は属性1のカテゴリーが i 、属性2のカテゴリーが j の分類に属するセグメントのサンプルの割合を表す。また、カテゴリー数が3以上の場合や、周辺分布が3次以上の場合も同様であり、周辺分布が m 次で次元 i のカテゴリー数が n_i の場合、属性 j のカテゴリー i_j 、 $i_j + c_1$ 、属性 k のカテゴリー i_k 、 $i_k + c_2$ のオッズ比は以下の式で表わされる。

$$\phi = \frac{(p_{i_1, \dots, i_j, \dots, i_k, \dots, i_m})(p_{i_1, \dots, i_j + c_1, \dots, i_k + c_2, \dots, i_m})}{(p_{i_1, \dots, i_j + c_1, \dots, i_k, \dots, i_m})(p_{i_1, \dots, i_j, \dots, i_k + c_2, \dots, i_m})} \quad (2)$$

ただし、 c_1 は $i_j + c_1 \leq n_j$ を満たす正の整数を表し、 c_2 は $i_k + c_2 \leq n_k$ を満たす正の整数を表す。

IPF 法による拡大係数の算出手順は、以下の通りである。まず、標本抽出データにおける m 次の同時分布表において、属性 j ($j=1, 2, \dots, m$)のカテゴリーが i_j ($i_j=1, 2, \dots, n_j$)に属するサンプルの割合を次のように定義する。

$$p_{i_1, i_2, \dots, i_m} = \frac{n_{i_1, i_2, \dots, i_m}}{n} \quad (3)$$

ただし、 n は全オブザベーション数、 $n_{i_1, i_2, \dots, i_m}$ はセル $(i_1, i_2, \dots, i_m)$ におけるオブザベーション数を表す。また、属性 j における k 番目のカテゴリーの周辺分布の合計を $T_k^{(j)}$ としたときに、総数 N は次式となる。

$$N = \sum_{k=1}^{n_j} T_k^{(j)} \quad (4)$$

ここで、反復回数 t でのセル $(i_1, i_2, \dots, i_m)$ における割合の推定値を $p_{i_1, i_2, \dots, i_m}^{(t)}$ とすると、属性 j の k 番目のカテゴリーに関する割合の推定値の合計は次式となる。

$$p_{i_j=k}^{(t)} = \sum_{p \neq j} \sum_{i_p=1}^{n_p} p_{i_1, i_2, \dots, i_j=k, \dots, i_m}^{(t)} \quad (5)$$

さらに、初期値を式(6)のように仮定すると、反復回数 t での各セルの確率の推定値は、式(7)で与えられる。

$$p_{i_1, i_2, \dots, i_m}^{(0)} = p_{i_1, i_2, \dots, i_m} \quad (6)$$

$$p_{i_1, i_2, \dots, i_j=k, \dots, i_m}^{(t)} = \frac{p_{i_1, i_2, \dots, i_j=k, \dots, i_m}^{(t-1)}}{p_{i_j=k}^{(t-1)}} \left(\frac{T_k^{(j)}}{n} \right) \quad (7)$$

IPF 法では、式(7)を用いて各周辺分布の各セルの確率を順番に修正する。つまり、はじめに1番目の属性の1番目のカテゴリーに関してそのカテゴリーに属する各セルの確率を修正し、次に同一属性の2番目、3番目のカテゴリーに属する... というように全てのカテゴリーに属するセルの確率を修正した後、2番目、3番目の属性についても1番目の属性について行ったのと同様の手順を繰り返す。最後の属性まで修正を行う。式(5)、(6)、(7)の手順においては、各々のセルの拡大係数の修正が同一属性の各カテゴリー間の周辺確率の相対比に基づいて行われる。

例えば、考慮する周辺分布（属性）が2次でそれぞれの属性の分類が2つずつである場合、1番目の属性について修正を行う際には、属性1の周辺確率の相対比に基づいて修正を行うため、 $p_{1,1}$ と $p_{1,2}$ 、 $p_{2,1}$ と $p_{2,2}$ がそれぞれ共通の乗数によって修正される。次に、2番目の属性について修正を行う際には、属性2の周辺確率の相対比に基づいて修正を行うため、今度は $p_{1,1}$ と $p_{2,1}$ 、 $p_{1,2}$ と $p_{2,2}$ がそれぞれ共通の乗数によって修正される。よっていずれの修正を行った場合でも、式(1)の右辺の分母分子で乗数がキャンセルされるため、 ϕ は一定の値に保たれる。すなわち、オッズ比は修正によって影響を受けない。

この性質は、カテゴリー数が3以上の場合や、周辺分布が3次以上の場合も同様であり、IPF 法を用いた場合にはオッズ比が常に保たれるように各セルの拡大係数が修正される。

1番目の属性の1番目のカテゴリーに属する各セルの

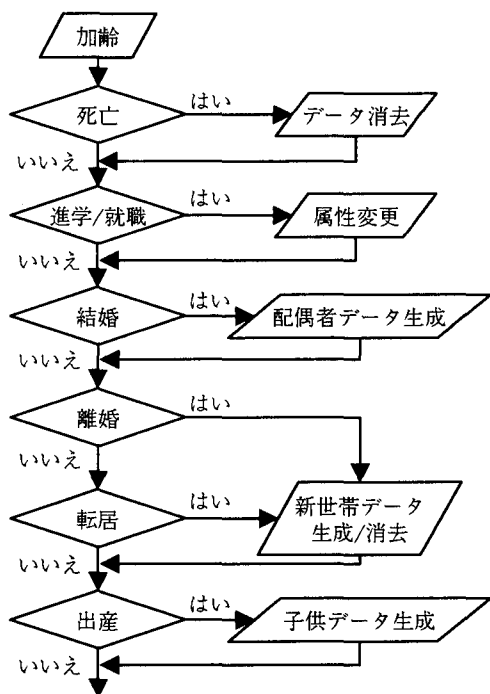


図-1 世帯変遷シミュレータのフロー

修正から最後の属性の最後のカテゴリーに属する各セルの修正までを1回の修正とし、各セルの確率の推定値が収束するまで繰り返す事によって最終的な推定値を得る。このような繰り返し計算は通常10~20回で収束する事が確認されている⁹⁾。

以上で示した IPF 法を用いて標本抽出データの拡大係数を算出することによって、よりサンプルの母集団代表性を向上させることが可能となるものと考えられる。さらに、拡大係数に応じて標本抽出データによるサンプルを複製し対象地域の母集団を近似的に作成する事が可能である。

(3) 世帯変遷シミュレータ

世帯変遷シミュレータでは、個々の世帯の属性変化を一年ごとに逐次的にシミュレートし、将来時点における非集計データを生成する。シミュレータでは、時間軸上での個々の世帯の誕生、構成変化、および、消滅を再現し、将来時点での世帯属性を得る。世帯構成変化および消滅の再現は世帯毎に行うものとし、1 世帯の構成変化を調査時点から分析対象時点である将来時点まで再現し、その世帯の将来時点での世帯構成を生成した後で、次の世帯の変遷を再現するという手順で全ての世帯の将来時点での世帯構成を生成する。

a) 世帯属性の変遷のシミュレーション方法

本シミュレータでは、個々の世帯の状態を世帯人数と各世帯構成員の個人属性（個人 ID、性別、年齢、就業状態[0. 就職するまで、1. 有職、2. 無職]、婚姻状態[0. 未婚、1. 既婚、2. 離婚]、配偶者 ID、子供数、母親の ID、最小子供年齢[その個人の子供のうち、最も若い子供の年齢]）によって表現する。そして、各年次の世帯属性の変

化を、図-1 に示したフローで算定される個々の世帯構成員の個人属性の変化の集合という形で表現する。図-1 に示したそれぞれの事象の生起確率は下記の（ ）内の変数の条件付き確率として定式化した。

- ①死亡確率：（性別、年齢）
- ②進学／新規就職確率：（性別、年齢）
- ③就業状態の変化：（性別、年齢、就業状態）
- ④婚姻：初婚の場合（性別、年齢、就業状態）、離婚の場合（婚姻期間）、再婚の場合（性別、年齢）
- ⑤転居：（進学／新規就職の有無、婚姻状態変化の有無）
- ⑥出産：（性別、年齢、子供数、最小子供年齢）

b) 世帯の分離と誕生

従来のマイクロシミュレーションアプローチにおいても、上述の個々の一世帯内の変動は考慮されていたが、長期的な世帯構成の変動を考える場合には、新規就職や結婚、離婚に伴う世帯そのものの誕生や消滅、転入による世帯の誕生を考慮することも必要である。本システムでは、世帯の誕生については、既存の世帯からの世帯構成員の分離によるものと、対象地域外からの転入によるものとを区別して取り扱っている。

世帯誕生時の世帯属性の設定については、既存世帯からの分離の場合にはモデル中で内生的に決定される一方、転入世帯の場合には、転出世帯の世帯属性、および PT データからのランダム抽出による世帯属性を用いた。なお、誕生世帯については、世帯が誕生した時点から将来予測時点までの世帯変遷をシミュレートする。

3. 本システムの適用と計算結果の考察

本研究では、新規道路網建設を中心とする施策や公共交通機関整備を中心とする施策等を代替案とする将来交通施策の評価を目的とした非集計交通需要予測システムの入力データとするため、前章に述べたシステムを用いて大阪市の将来世帯データの生成を行った。以下では、PT データを用いる際に必要となったデータ加工、及び本システムの出力結果について示す。

(1) 計算の前提

まず、標本抽出データとしては、1990 年度京阪神 PT 調査によって得られた大阪市居住者のデータを用いる。しかしながら PT データには、6 歳未満の個人データが存在しないため、1993 年～1996 年に実施された、阪神高速湾岸線開通に伴うパネル調査の第 2 回調査¹⁴⁾¹⁵⁾、および、1997 年、1998 年に実施された京都市地下鉄東西線開通に伴うパネル調査の事前調査¹⁶⁾¹⁷⁾、同じく 1997 年、1998 年に実施された阪神高速北神戸線整備に伴うパネル調査の事前調査¹⁸⁾の 3 つのアンケート調査を利用し、以下の手順で生成する。

①女性の未既婚

パネル調査のデータのうち、16歳以上の全ての女性を対象として以下に示す 72(6×3×4)のセグメント毎に既婚率を算出し、乱数を用いて PT データの女性の未既婚を決定する。

- ・女性の年齢階層（6区分）：16歳～19歳，20歳～29歳，30歳～39歳，40歳～49歳，50歳～59歳，60歳以上
- ・同一世帯内の±10歳以内の男性の数（3区分）：0人，1人，2人以上
- ・6～15歳の世帯構成員（4区分）：0人，1人，2人，3人以上

②配偶者の決定

まず、パネル調査のデータのうち、全ての既婚女性を対象として、夫婦の年齢差の分布を求める。①において PT データに含まれる女性の未既婚が決定されているため、既婚女性のいる各世帯における全ての男性に対し、夫婦の年齢差の分布から、既婚女性との年齢差に基づく配偶者確率を算出し、乱数を用いて配偶者を決定する。

③6歳以上の子供数の決定

PT データの各世帯の各既婚女性に子供を割り当てる。世帯内に既婚女性が1人しかいない場合は、6歳～（その女性の年齢－16）歳までの世帯構成員をその女性の子供とし、世帯内に複数の既婚女性がいる場合については、年齢の低い女性から順番に、6歳～（その女性の年齢－16）歳までの世帯構成員をその女性の子供とする。

④6歳未満の子供数の決定

パネル調査のデータのうち、全ての既婚女性を対象とし、以下に示す 96（6×4×4）セグメント毎の既婚女性数を算出し、年齢階層、6歳～15歳の子供数別の0歳～5歳子供数分布を用いて、PT データの各既婚女性の6歳未満の子供数を乱数によって決定する。

- ・女性の年齢階層（6区分）：16歳～19歳，20歳～24歳，25歳～29歳，30歳～34歳，35歳～39歳，40歳以上
- ・6歳～15歳の子供数（4区分）：0人，1人，2人，3人以上
- ・0歳～5歳の子供数（4区分）：0人，1人，2人，3人以上

⑤6歳未満の子供の年齢と性別の決定

パネル調査のデータのうち、全ての既婚女性を対象とし、6歳未満の子供数 n 別に、以下に示す 48×6^n （ $6 \times 2 \times 2 \times 2 \times 6^n$ ）セグメント毎の既婚女性数を算出し、セグメントによる条件付きの0歳～5歳の子供の年齢分布を用いて、④で決定した PT データの既婚女性の6歳未満の各子供の年齢を決定する。

- ・女性の年齢階層（6区分）：16歳～19歳，20歳～24歳，25歳～29歳，30歳～34歳，35歳～39歳，40歳以上
- ・10歳～15歳の子供数（2区分）：いる，いない

表一 PT 調査での世帯数（同時分布）

		世帯人数						
		1人	2人	3人	4人	5人	6人	合計
高齢者有り								
子供の有無	6歳	0	0	0	2	1	6	9
	18歳	0	1	1	1	1	3	7
	無し	66	62	27	8	1	2	166
高齢者無し								
子供の有無	6歳	0	2	25	14	16	5	62
	18歳	0	10	34	47	8	1	100
	無し	255	81	39	27	4	1	407
合計		321	156	126	99	31	18	751

表二 大阪市北区の周辺分布

(a) 世帯人数

	1人	2人	3人	4人	5人	6人	合計
国勢調査	15653	8216	5288	5429	2002	881	37469
(%)	41.8%	21.9%	14.1%	14.5%	5.3%	2.4%	100.0%
PT調査	321	156	126	99	31	18	751
(%)	42.7%	20.8%	16.8%	13.2%	4.1%	2.4%	100.0%

(b) 高齢者の有無

	有り	無し	合計
国勢調査	8296	29173	37469
(%)	22.1%	77.9%	100.0%
PT調査	182	569	751
(%)	24.2%	75.8%	100.0%

(c) 子供の有無

	6歳未満	18歳未満	いない	合計
国勢調査	3191	5422	28856	37469
(%)	8.5%	14.5%	77.0%	100.0%
PT調査	71	107	573	751
(%)	9.5%	14.2%	76.3%	100.0%

- ・8歳，9歳の子供数（2区分）：いる，いない
- ・6歳，7歳の子供数（2区分）：いる，いない
- ・0歳～5歳の子供の年齢（6区分）：0歳，1歳，2歳，3歳，4歳，5歳

6歳未満の子供の性別の決定については、「日本の将来推計人口」平成9年1月推計に基づき、性別の比を男：女=105.6：100として乱数により決定する。

このようにして作成された6歳未満の世帯構成員のデータを、各既婚女性、すなわち、各母親のいる世帯に加えるものとする。また、これに付随して、世帯構成員数などのデータも変更するものとする。

なお、上記の作業は現状における PT 調査において世帯属性に関する情報が十分得られていない事によるものであり、将来的には、PT 調査によってそれらの情報を得る事によって、より正確な予測が可能となるものと考えられる。本シミュレーションで用いた各事象の生起確率の具体的な設定について付録に示す。

一方、IPF 法を用いて拡大係数を決定する際の周辺分布については、平成2年度国勢調査から得られる世帯構成に関する情報のうち、大阪市内各区（24区）別に得られる以下のデータを用い、各属性の区分から定まる36セグ

表-3 計算結果

		世帯人数					
		1人	2人	3人	4人	5人	6人
高齢者有り							
子供の有無	6歳	0	0	0	80	51	252
	18歳	0	43	36	47	60	149
	無し	2853	3016	1102	426	68	113
高齢者無し							
子供の有無	6歳	0	84	885	647	947	244
	18歳	0	497	1417	2558	558	58
	無し	12800	4576	1848	1671	317	65
合計		15653	8216	5288	5429	2002	881

表-4 拡大係数

		世帯人数					
		1人	2人	3人	4人	5人	6人
高齢者有り							
子供の有無	6歳	0	0	0	39.8	51.0	42.1
	18歳	0	42.8	35.9	46.9	60.1	49.6
	無し	43.2	48.6	40.8	53.3	68.3	56.3
高齢者無し							
子供の有無	6歳	0	42.2	35.4	46.2	59.2	48.9
	18歳	0	49.7	41.7	54.4	69.7	57.5
	無し	50.2	56.5	47.4	61.9	79.3	65.4

表-5 世帯トリップ数分布(%)

		トリップ数					
		0	1	2	3	4	5+
生データ		11.4	0.7	23.5	3.6	17.1	43.6
従来法		11.2	0.8	23.8	3.6	17.2	43.6
IPF法		10.7	0.8	23.0	3.6	16.5	45.2

メント毎に拡大係数を算出する。

- ・世帯人数別世帯数（6区分）：世帯人数が1人～6人以上
- ・高齢者の有無別世帯数（2区分）：1. 65歳以上の世帯構成員がいる、2. いない
- ・子供の有無別世帯数（3区分）：1. 6歳未満の子供がいる、2. 18歳未満の子供がいる（6歳未満の子供はいない）、3. 18歳未満の子供がいない

ここで、より多くの属性を考慮するほどセグメント数が大きくなり、各セグメントに属するサンプル数が減少することに注意が必要である。セグメントに属するサンプル数が少ないと、極端な拡大係数が算出される可能性が高くなり、結果として母集団代表性に対する信頼性の低い拡大係数となることが考えられる。よって今回のケースでは、世帯主の性別年齢別分布も考慮する属性の候補として考えられたものの使用していない。

(2) 計算結果

a) 拡大係数の算出

以上の前提のもと、世帯属性シミュレーションを実行した。ここでは、世帯構成分布算出システムにおけるIPF法を用いた拡大係数の算出方法を大阪市北区を例にとって説明する。まず、同時分布として、PTデータを用い各

表-6 世帯自動車保有台数分布(%)

		保有台数					
		0	1	2	3	4	5+
生データ		55.9	37.6	5.4	0.8	0.2	0.1
従来法		55.6	37.9	5.4	0.8	0.2	0.1
IPF法		55.3	37.7	5.7	0.9	0.2	0.1

表-7 大阪市の人口と世帯数（1995年）

	総人口	総世帯数
実測値(千人)	2602	1084
予測平均値(千人)	2629	1063
平均誤差(%)	1.03	-1.98
予測値の分散(千人)	4254	1956
変動係数 ⁺	0.00078	0.00132

⁺(標準偏差)/(平均値)

セグメント毎の世帯数を集計したものを表-1に示す。さらに、周辺分布として国勢調査から得られる大阪市北区の周辺分布、及び、対応するPT調査データの世帯数を表-2に示す。表-2より国勢調査データの分布とPT調査データの分布は異なっていることが分かる。国勢調査データを用い、従来のPT調査で用いられてきた拡大手法をこれら3変数に適用して拡大係数を算出しようとした場合、国勢調査データに世帯人数別世帯数、高齢者の有無別世帯数、子供の有無別世帯数の3つの属性の同時分布が必要となる。しかしながら国勢調査ではそのような同時分布は公開されていない。

PTデータを（国勢調査の全世帯数/PTデータの全世帯数）倍した後、IPF法を用い、周辺分布に合致するように計算した結果が表-3である。表-3に示した行列の最右列と最下行が表-2と合致していることが分かる。また、PT調査データのオッズ比も保たれている事が確認出来る。表-3の各セグメント毎の世帯数をPTデータにおける各セグメント毎の世帯数（表-1）で除したものを各セグメント毎の拡大係数とし表-4に示す。表-4より今回考慮した属性に基づく算出結果では各々のサンプルに与えられる拡大係数が極端な値を取ることは無かった。ただし、考慮する属性を増やしたり、PT調査データのサンプル数が少ない場合には極端な拡大係数を取ることも考えられるため、適用に際して注意が必要であることに変わりはない。

以上の手順で大阪市内各区毎に拡大係数を算出した。

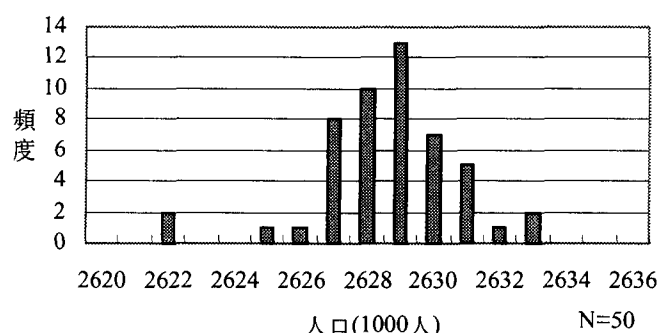
b) IPF法と従来法の比較

世帯構成分布算出システムによって算出された拡大係数の有効性を確認するために、PTデータの拡大係数を全て1としてデータをそのまま用いた場合、従来用いられている市区町村、性別、年齢層別に算出した拡大係数を個人毎に適用した場合、世帯構成分布算出システムで算出した拡大係数を世帯毎に適用した場合のそれぞれについて、世帯全体でのトリップ数分布を表-5に示す。表-5より、世帯全体でのトリップ数は、拡大係数を1とした場合、従来の拡大係数を用いた場合、IPF法を用

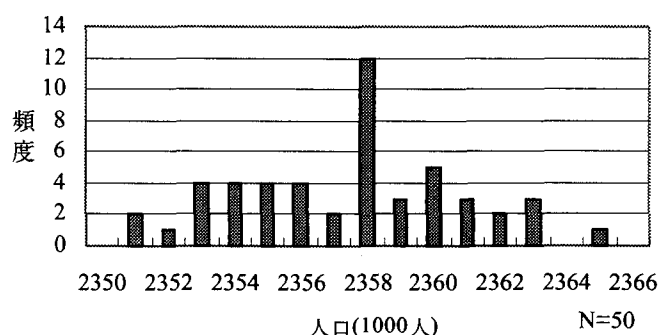
表一 8 1995 年・2020 年の比較

		1995	2020	2020/1995
総人口	平均値(千人)	2629	2357	0.90
	分散(人)	2062	3289	1.60
	変動係数 [†]	0.00078	0.00140	1.78
総世帯数	平均値(千人)	1063	1155	1.09
	分散(人)	1399	2180	1.56
	変動係数 [†]	0.00132	0.00189	1.43

[†](標準偏差)/(平均値)



図一2(1) 人口予測値分布(1995 年度)



図一2(2) 人口予測値分布(2020 年度)

表一 9 子供の有無別世帯数分布 (%)

子供の有無	6歳未満	18歳未満	いない	全体
1990	5.8	16.26	77.94	100
2020	2.6	5.49	91.9	100

いた場合の順で多いことが見て取れる。また、表一6に示す世帯の自動車保有台数の分布についても同様の傾向が見られる。IPF法を用いた場合と従来法の場合とで分布が異なるという結果から、対象地域の人々の交通行動について世帯を単位として解析する場合には、従来の拡大係数の設定方法では母集団の分布が十分再現されていない可能性のある事が示されたものと考えられる。

c) 実測値との比較

また、平成2(1990)年度のPTデータを入力データとし、本シミュレータを50回実行する事により、平成7(1995)年度の大阪市の総人口、総世帯数を予測し、実測値と比較した結果を表一7に示す。表一7から、実測値との平均誤差は、それぞれ1.03%、-1.98%にとどまり、シミュレーションの信頼性を裏付ける結果となった。

d) 長期的な将来時点におけるシミュレーション結果

さらに、1995年度の予測と同様に、50回のシミュレーションの実行によって、2020年度の大阪市人口、世帯数を予測した結果を表一8に示す。表一8より、2020年度には1995年度に比べて総人口が減少することがわかる。年代別の人口を比較した結果から、40歳までの人口が特に減少している反面、高齢者の人口は増加していることが確認されており、少子化、高齢化を象徴した形となった。また、人口が減少したにも関わらず、総世帯数は増加している。世帯構成員別に見てみると、世帯構成員が1人である世帯が増加する一方で、世帯構成員が多い世帯は激減しており、表一9からもわかるように子供のいる世帯数が激減しており、晩婚化、少子化の傾向が顕著に見られる。

また、予測値の分散については、全体としては、2020年の予測値分散の方が、1995年の分散よりかなり大きくなるという結果が得られた。セグメント別の予測結果には、世帯構成員人数が多い世帯数や6歳未満の世帯構成員のいる世帯数において、分散が減少しているものも確認されたが、これは、平均値の減少による影響と考えられる。実際に、変動係数を比較してみると、全ての項目において増加していることがわかる。分散が大きくなった理由は、長期予測値は短期予測値よりも、より多くのランダムな要素に影響を受けるためであると考えられる。このことは、高位・低位の予測の可能性を示しており、シミュレーションを用いた利点であるといえる。

1995年度と2020年度の予測結果の分布を図一2に示す。図一2より、2020年度の予測分布は1995年度の予測分布に比べて最頻値付近での集中がみられ、分布形状が異なったものとなっている。この原因としては、線形回帰モデル等とは異なり、本シミュレーションが高度な非線形性を有しているため、シミュレーション中の各々の確率分布の交互作用が時間軸上で複雑に影響を及ぼしているためであると考えられる。このような結果が得られたことは、本シミュレーションシステムの適用に際し予測値の確率分布形を前もって特定の確率分布形と仮定することなく、分布の形状をも内生的に予測できる可能性を示している。したがって、複数の値の組み合わせからなる複数点予測やより実地的な信頼区間の算出等、不確実性を考慮した予測値の実務的活用が可能となるものと考えられる。今後は個々の確率分布の設定と予測値の分布形の関係についてより詳細な分析を行う必要があるものと考えられる。

4. 結論と今後の課題

本研究では、非集計モデルを用いた将来交通需要予測をより精緻なものにするために、将来時点での世帯属性データを得るためのシミュレータを構築した。本システムは多くのサブシステムから構成され、また、多くの誤

差項を含むものであるが、大阪市を対象とした適用事例から、おおむね予測値と実測値が一致しており、本シミュレーションの再現性が確認された。さらに、本シミュレーションを複数回行うことによって得られた総人口分布、総世帯数分布は、予測年次を長期化した際に最頻値付近での集中が見られたが、将来値を予測する上で予測値分布の形状が内生的に得られることは、シミュレータを用いる利点であると考えられる。適切なパラメータの設定がなされれば、信頼性の高い将来予測が可能であるものと期待される。実用面からみても、シミュレータで用いた確率分布を一部変更することにより、変更した以外の事象に対する波及効果等をシミュレータ内で再現する事が可能となるため様々なケースに対応した予測が可能であり、ケース間比較を行うことでより精緻な高位、低位の予測が可能であると考えられる。

今後の課題としては、他都市においてもシミュレーションを適用し、同様の挙動が得られるかどうかを確認することが必要である。各事象の生起確率についても、転居・転入に関するデータ等、本シミュレーションでは母集団の分布が入手できなかったためにパネル調査から得られる分布を用いたものについて、母集団データが得られればより精緻な予測が可能になると考えられる。また、シミュレータで用いた確率分布を、世帯属性を説明変数として取り入れてパラメータ化し、離散選択モデルなどを適用することが挙げられる。さらに、世帯属性変化が時間軸に沿って再現できることから、収入や自動車保有の時間軸上での変化をモデルシステムに取り入れることも可能であると考えられる。

一方、IPF法を用いて拡大係数を決定する際には、世帯主の性別年齢別世帯数などの、より多くの周辺分布を取り入れることが考えられる。しかしながら、セグメント数を増やすことによって、セグメント内のオズバベーション数が激減し、データの信頼性が低下する危険性がある。データの信頼性が低い場合には、IPF法によってサンプルのオズ比を保持する意味も失われるため、今後はサンプル数と最適なセグメント数の関係についても検討を加える必要がある。

付録

本研究において、世帯変遷シミュレータを大阪市の将来世帯データの作成に適用するにあたっては、2(3)a)で述べた、世帯構成変化の再現を時間軸上で行う際の各事象の生起する確率に関して、国勢調査、大阪市統計書、出生動向基本調査等、各種の統計資料より、以下に示す方法により設定している。

①死亡

死亡率については、「日本の将来推計人口」平成9年1月推計において算出されている、性別年齢階層別の死亡率を用いた。

②進学／新規就職

進学／新規就職確率については、学生が進路を決定するのは特

定の学年時のみであることから、年齢が15歳、18歳、20歳、22歳の時に限り正の確率を持つものとし、それ以外の年齢では全て0の確率を持つものとした。なお、ここでは留年や浪人等により進学時期がずれる場合がある事については考慮していない。

・15歳時（中学校卒業時）

第85回「大阪市統計書」（平成9年度版）より、平成9年の全中学卒業者に対する高校進学者、就職者、無業者の全数が得られる。これを、中学校卒業者の全数で除することにより進学／新規就職確率とした。

・18歳時（高校卒業時）

中学校卒業後進路率と同様に、第85回「大阪市統計書」（平成9年度版）より、平成9年の全高校卒業者に対する4年制大学、短期大学および専門学校進学者、就職者、無業者の全数が得られる。これを、高校卒業者の全数で除することにより進学／新規就職確率とした。なお、この確率は15歳時において高校に進学したもののみに適用する。ここで、短期大学、および、専門学校はどちらも2年制と仮定した。

・20歳時（短期大学、専門学校卒業時）

短期大学および専門学校の卒業者についても、第85回「大阪市統計書」（平成9年度版）より、平成9年の全卒業者に対する就職者、無業者の全数が得られる。これを、卒業者の全数で除することで、進学／新規就職確率とした。なお、この確率は、18歳時において短期大学、専門学校に進学したもののみに適用する。また、ここでは短期大学、専門学校からの4年制大学への編入などは考慮していない。

・22歳時（大学卒業時）

4年制大学の卒業者についても、第85回「大阪市統計書」（平成9年度版）より、平成9年の全卒業者に対する就職者、無業者の全数が得られる。これを、卒業者の全数で除することで、進学／新規就職確率とした。ここで大学卒業後の進路として、大学院への進学は考慮していない。

③就業状態の変化（転職、退職、再就職）

転職率、離職率、再就職率については、平成4年「就業構造基本調査報告」により、平成4年時点における、1年前との各就業異動者数（継続就業者、転職者、新規就業者、離職者、継続無業者）の全数がそれぞれ求まる。これにより、転職者、退職者の数をそれぞれ前年度の就業者の総数で除したものをそれぞれ転職率、退職率とし、再就職者の数を前年度の無業者の総数で除したものを再就職者数とした。なお、ここでの就業状態の変化は、②で述べた学校卒業時以外の全ての就業状態の変化を含み、在学者以外の、就業者、無職者の全てにこの確率を適用する。

④婚姻（初婚）

初婚確率については、平成4年「日本人の結婚と出産」より生涯未婚率を13.8%とし、男女別結婚年齢分布から算出した確率を、男女別に各年齢の結婚率として用いた。この確率は、在学者を除く、全未婚者に対して適用する。また、結婚が決定した場合には、配偶者の年齢、及び、配偶者の就業状態を決定する必要がある。配偶者

の年齢に関しては、PT データの加工の際に伴侶者の決定の際に用いた年齢差分布を用いて乱数により決定する。配偶者の就業状態に関しては、平成4年「就業構造基本調査報告」の平成4年時の性別年齢別就業状態別分布を用いて乱数により決定する。

⑤婚姻（離婚）

離婚確率については、平成8年「人口動態統計」において、平成8年の同居期間別離婚件数分布が得られる。同居期間の区分は、1年未満、1年～2年、2年～3年、3年～4年、4年～5年、5年～10年、10年～15年、15年～20年、20年、の9区分である。また、平成7年度国勢調査より、平成7年の夫婦数の全数が、夫の年齢別、妻の年齢別毎に得られる。この2つのデータから同居期間別の離婚率を算出した。

また、離婚時には、当該夫婦の子供の親権を決定する必要がある。平成8年「人口動態統計」より、平成8年における当該夫婦の子供の数別の、妻が親権を持つ子供の数別離婚件数分布が得られる。ここで、夫妻が親権を決定しなければならない子供に対しては、夫か妻のどちらかが、全ての子供の親権を持つものとして、当該夫婦の子供数別の、離婚時における子供の扶養率を算出した。

⑥婚姻（再婚）

再婚確率については、平成8年「人口動態統計」において、平成8年における、男女別の再婚者の総数が得られる。また、平成9年度の国勢調査によって、男女別に、配偶者と死別、離別している者の全数が得られる。これらを除すことによって、1年当りの男性の再婚率を4.39%、女性の再婚率を1.12%とした。再婚時の配偶者の年齢と就業状態の決定については、初婚時と同一の確率を用いる事とした。

⑦世帯からの転出

世帯からの転出に関しては、事象そのものの観測によるデータが存在しなかったため、状態の観測によるデータを用いて確率を算出する事とした。シミュレーションでは、世帯からの転出は新規就職時、及び、結婚時のみとし、それ以外のタイミングにおける転出は、両者のどちらかに含まれるものとして確率を算出した。

・就職による転出率

加工したPT データのうち、在学者以外の独身男性、および独身女性を対象にして、両親との同居の有無別の分布を求め、この分布から算出した値を、就職による転出率とした。男性の就職による両親との別居率は63.01%、女性の就職による両親との別居率は44.14%であった。

・結婚による両親との別居率

就職による転出率と同様に、加工したPT データのうち、結婚している夫婦で男性の年齢が40歳以下の夫婦を対象にして、両親との同居の有無別の分布を求め、この分布から算出した値を、結婚による両親と別居率とした。計算結果は、80.78%となった。

⑧出産

出産確率に関しては、はじめに完結子供数を決定し、現時点での子供数が完結子供数に達していない場合のみ、出産率を用いて乱数により出産を決定する。ただし、出産率は現時点での子供数により異なるものとした。

・完結子供数

平成4年「日本人の結婚と出産」より、完結出生児数分布として得られる、0人3.1%、1人9.3%、2人56.4%、3人26.5%、4人以上4.8%という確率を用いる事とした。

・第1子出生確率

平成4年「日本人の結婚と出産」より得られる、結婚後経過年数別(1年未満、1年～2年、2年～3年、3年～4年、5年～6年、6年以上、の6区分)の第1子出生数の分布から、結婚後経過年数別第1子出生確率を算出した。

・第2子出生確率

平成4年「日本人の結婚と出産」より得られる、第1子出産経過年数別(1年未満、1年～2年、2年～3年、3年～4年、5年～6年、6年以上、の6区分)の第2子出生数の分布から、第1子出産経過年数別第2子出生確率を算出した。

・第3子以降出生確率

平成4年「日本人の結婚と出産」より得られる、第2子出産経過年数別(1年未満、1年～2年、2年～3年、3年～4年、5年～6年、6年以上、の6区分)の第3子出生数の分布から、第2子出産経過年数別第3子出生確率を算出した。ここで、第4子以上の出生数分布については、データが存在しないため、第2子出産経過年数別第3子出生確率と同一の確率を用いた。

なお、出生が決定された場合には、子供の性別を決定する必要があるが、これについては、PT データを加工する際に6歳未満の世帯構成員の性別の決定に用いたのと同じの確率を用いた。

参考文献

- 1) 藤井聡、菊地輝、北村隆一：マイクロシミュレーションによる CO2 排出量削減に向けた交通施策の検討：京都市の事例、交通工学、vol.35, No.4, pp.11-18, 2000
- 2) 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.
- 3) 飯田祐三、岩辺路由、菊池輝、北村隆一、佐々木邦明、白水靖郎、中川大、床沢正敏、藤井聡、森川高行、山本俊行：マイクロシミュレーションアプローチによる都市交通計画のための交通需要予測システムの提案、土木計画学研究・講演集、No. 22(2), pp. 853-856, 1999.
- 4) 三浦裕志、石田東生、鈴木勉：パーソントリップ調査における複数の個人属性を考慮した拡大方法の開発、土木計画学・講演集、No. 21(2), pp. 65-68, 1998.
- 5) 青木俊明、稲村肇、増田聡、高橋伸輔：地区レベルでみた都市の居住特性の変化、土木学会論文集、No. 625/IV-44, pp. 79-88, 1999.
- 6) Beckman, R. J., Baggerly, K. A. and McKay, M. D.: Creating synthetic baseline populations, *Transportation Research A*, Vol. 30A, pp. 415-429, 1996.

- 7) Sarmiento, S., Brownstone, D. and Kim, S.: Sample weight construction for the clean-fuel vehicle demand forecasting model: constructing sample weights with unknown joint population distributions, mimeograph.
- 8) Kostyniuk, L. P., and Kitamura, R.: Life cycle and household time-space path: empirical investigation, *Transportation Research Record*, No. 879, pp. 28-37, 1982.
- 9) 青木俊明, 稲村肇, 増田聡: 小地区単位における都市の居住特性の将来予測, 土木計画学研究・講演集, No. 21(2), pp. 523-526, 1998.
- 10) Goulias, K. G. and Kitamura, R.: Travel demand forecasting with dynamic microsimulation, *Transportation Research Record*, No. 1357, pp. 8-17, 1992.
- 11) 林良嗣, 富田安夫: マイクロシミュレーションとランダム効用モデルを応用した世帯のライフサイクル-住宅立地-人口属性構成予測モデル, 土木学会論文集, No. 395/IV-9, pp. 85-94, 1988.
- 12) Kazimi, C. and Brownstone, D.: Competing risk hazard models for demographic transactions, Working Paper, University of California, Irvine, 1995.
- 13) 北村隆一: やさしい交通シミュレーション 6. TDM 評価シミュレーション, 交通工学, Vol. 33, No. 3, pp. 87-108, 1998.
- 14) 藤井聡, 木村誠司, 北村隆一: 選択構造の異質性を考慮した生活圏推定モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.613-622, 1996.
- 15) 藤井聡, 北村隆一, 柘植英章, 大藤武彦: 阪神・淡路大震災が交通行動に及ぼした影響に関するパネル分析, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp. 327-332, 1997.
- 16) 北村隆一, 西井和夫, 酒井弘, 藤井聡, 山本俊行: 個人の行動を考慮した京都市地下鉄東西線開通による総合的影響分析, 交通安全対策振興助成研究報告書(地域研究), Vol. 10, pp. 27-44, 1999.
- 17) 山本俊行, 阿部昌幸, 藤井聡, 北村隆一: 個人の自由目的来訪活動における滞在時間・出費・来訪頻度同時選択モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp. 561-567, 1999.
- 18) 梅木亮, 山本俊行, 北村隆一: 世帯における自動車利用の競合を考慮した交通機関選択行動の分析, 土木計画学研究・講演集, No. 22, pp. 385-388, 1999.

非集計交通需要分析のための将来世帯属性生成システムの構築

西田悟史, 山本俊行, 藤井聡, 北村隆一

将来交通需要予測に非集計交通行動分析手法を適用する場合には, 将来時点の非集計世帯属性データを用意する必要がある。本研究では, 現在時点の非集計データを基に, 現在時点の複数の周辺分布に合わせた拡大係数を算出し, その上で個々の世帯の属性変化をシミュレートするシステムを構築した。構築したシステムを大阪市の将来予測に適用した結果, 構築したシステムと従来の拡大係数では現在時点のトリップ数や自動車保有台数の分布が異なること, 1990年のデータを基に1995年度を予測対象年とした場合に実績値をおおよそ再現出来ていること, 2020年では人口予測値の分布に最頻値付近での集中が見られる等の知見を得た。

A Generating System of Household's Attributes of the Future for Disaggregate Travel Demand Analyses

Satoshi Nishida, Toshiyuki Yamamoto, Satoshi Fujii and Ryuichi Kitamura

A generating system of future household's attributes is developed in this study. The system creates the weight for each sample case obtained from the disaggregate survey to match present multiple aggregate marginal distributions, and simulates the demographic changes in each sample household along the time dimension. The simulation results applied to Osaka City suggest that the distributions of the number of trips or vehicle-holdings differ from those obtained by a conventional weighting method, that the system predicts population and number of households for the year 1995 fairly well using the data from 1990, and that the distribution of the predicted 2020 populations by repeated simulations has a high kurtosis.
