

カテゴリ設定の影響を考慮した 初期マイクロデータ推定手法の比較

杉木 直¹・宮本 和明²・大谷 紀子³・Varameth VICHIEANSAN⁴

¹正会員 株式会社ドーコン 交通部 (〒004-8585 北海道札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1)
E-mail: ns1491@docon.jp

²フェロー 東京都市大学教授 環境情報学部 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)
E-mail:miyamoto@tcu.ac.jp

³正会員 東京都市大学准教授 環境情報学部 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)
E-mail:otani@tcu.ac.jp

⁴正会員 Kasetsart University, Assiatant Professor Fucluty of Engineering
(Phahonyothin Rd, Ladyao, Jatujak, Bangkok 10900, Thailand)
E-mail:fengvmv@ku.ac.th

本研究は、マイクロシミュレーションにおける初期年次のマイクロデータ作成について、カテゴリ設定を踏まえたセルベースとエージェントベースによる手法の比較を行い、推定結果の妥当性の観点から両手法の優位性や留意点を検討することを目的としている。比較検討においては、道央都市圏パーソントリップ調査データによるマイクロデータを観測データとして、抽出したサンプルデータを利用してセルベースについてはIPF法、エージェントベースについてはモンテカルロサンプリング手法による初期マイクロデータの作成を行う。これらの初期マイクロデータの作成は、最小カテゴリによる基本カテゴリ設定、およびカテゴリを統合した集約カテゴリ設定の2種類について実施する。それぞれの推定結果について、観測データに対するセルベースとエージェントベースの適合度評価を行い、両手法の初期年次のマイクロデータ推計への有効性を考察する。

Key Words : *Microsimulation, Micro-Data, Estimation of Micro-Data, Goodness-of-Fit Evaluation*

1. はじめに

都市モデル分野においては、土地利用と交通の詳細な変化の記述するマイクロシミュレーションへの関心が高まっており、欧米諸国を中心として、複数の研究グループによつての研究事例および実際の都市への適用事例の蓄積が進められている¹⁾²⁾。

居住立地モデルのような世帯を対象としたマイクロシミュレーションモデルの場合、各世帯には世帯収入、世帯人数、各世帯構成員の年齢、自動車保有、居住地、住宅タイプ等の多くの属性が定義されるが、シミュレーションを実行するためには、全ての世帯に対してこれらの属性を定義したシミュレーション初期年次データを用意する必要がある。しかし、住民基本台帳などから個人や個別世帯に関するデータを入手することは一般的に困難であり、またプライバシー保護の観点からも望ましくない。従つて、マイクロシミュレーションモデルでは、国

勢調査などの入手可能な集計データと、個別世帯の属性情報を追加的に提供するサンプル調査を組み合わせ、世帯や個人のデータ推計を実施する必要がある。

このような人口・世帯データの作成手法としては、世帯タイプを設定した上で、IPF法によりタイプ別世帯数を推定する方法が多く用いられている。また、これらとは異なる手法としては、モンテカルロサンプリング等を用いて個別世帯に対して複数の属性の組み合わせを設定したデータ（以降、マイクロデータ）を作成する手法が提案されている^{3)~7)}。しかしながら、以上のような手法の比較については、セルベースの人口推定のみを対象とした手法間の比較は検討されているものの^{8)~10)}、セルベースとエージェントベースに関する手法の比較については検討がなされていない。

本研究グループでは、土地利用マイクロシミュレーションにおける初期年次のマイクロデータ作成について、モデルの適用の場面や目的等を踏まえた推定手法の選択

のためのガイドライン作成に資することを目的として、セルベースとエージェントベースによる手法の質的、量的な視点からの比較に取り組んでおり、先行研究では、量的な比較については、単一のカテゴリ設定について適合度を用いた手法間の比較検証を行った¹¹⁾。本稿は、さらに複数のカテゴリ設定の下での適合度検証実験を行い、カテゴリ集約が初期分布推定に与える影響、およびカテゴリ設定に対するセルベースとエージェントベースの手法間の優位性について検証するものである。

具体的には、道央都市圏パーソントリップ調査データによるマイクロデータを観測データとして、抽出したサンプルデータを利用してセルベースについてはIPF法、エージェントベースについてはモンテカルロサンプリング手法による初期マイクロデータの作成を行う。これら初期マイクロデータ作成は、最小カテゴリと集約されたカテゴリの2種類のカテゴリ設定について行い、セルベースとエージェントベースの適合度評価を実施して、初期マイクロデータ作成への有効性を考察する。

2. 人口・世帯データ推計および適合度評価手法

(1) セルベースの推計手法

Deming¹²⁾によって提案され、Beckman¹³⁾によって人口データ推計問題¹⁴⁾への適用がなされたIPF法は、人口データ作成における一般的な手法である。同様の手法は、都市圏における世帯データ作成を対象として宮本¹⁵⁾によって提案されており、周辺分布を制約とした同時確率最大化問題として記述されているが、解法の点でこれらは基本的にIPF法と同一である。

IPF法では、多次元のテーブルにおける各セルの世帯数が生成される。次元は、限定的な数の世帯属性によって定義される。次元や属性間の相関性を考慮するためにサンプルデータセットが用いられる。低い次元への分配には国勢調査等のセンサスデータによって与えられる周辺分布に一致することが条件となる。IPF法によって推定されたデータはマイクロシミュレーションにおいても十分活用可能であるが、個々のマイクロデータではなく、タイプ別の世帯数や人口データである。

Guo¹⁴⁾はゼロセル値問題、および世帯および個人レベルの属性の両方に関する統計的分布のコントロールの無能力さに関して緩和し、IPF法を改良した。また、Pritchard⁷⁾も、モンテカルロシミュレーションを用いて各エージェントにより多くの属性を考慮する機能を追加し、IPF法を改良した。これらは非常に有用な拡張であるが、IPF法を用いる限りセルベースのアプローチであることには変わらない。

マイクロデータの適合度に関しては、Pritchard⁷⁾によ

る研究がなされている。マイクロデータに関する観測データは入手できないことが前提とされているために、観測データについては公表されている属性別人口データよりIPF法を用いて作成したクロスセクション属性の表を用いている。このような集計的なクロスセクション属性の表による観測データの人口特性に対する推定データ集合の適合度を検証しているが、真の観測マイクロデータ集合を知ることができるならば、このような手法では十分な適合度を検証しているとは言えない。

世帯が2つの属性(i, j)により区分されると仮定した場合、推定集合 \hat{N}_{ij} と妥当性検証のための観測データ集合 N_{ij} 間の適合度は、距離ベースの平均平方標準誤差(SRMSE)指標を用いて、式(1)のように評価することが可能である¹⁶⁾。

$$SRMSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{IJ} \sum_{i,j} (\hat{Z}_{ij} - Z_{ij})^2}{\frac{1}{IJ} \sum_{i,j} Z_{ij}}} \quad (1)$$

この指標は値が小さいほど、適合度が高いことを示す。各タイプの適合度指標を各観測データ集合に対して順に計算し、これらの平均によって全体の適合度が与えられる。このように属性が3つの場合には、計測に関する計算量の問題は生じない。

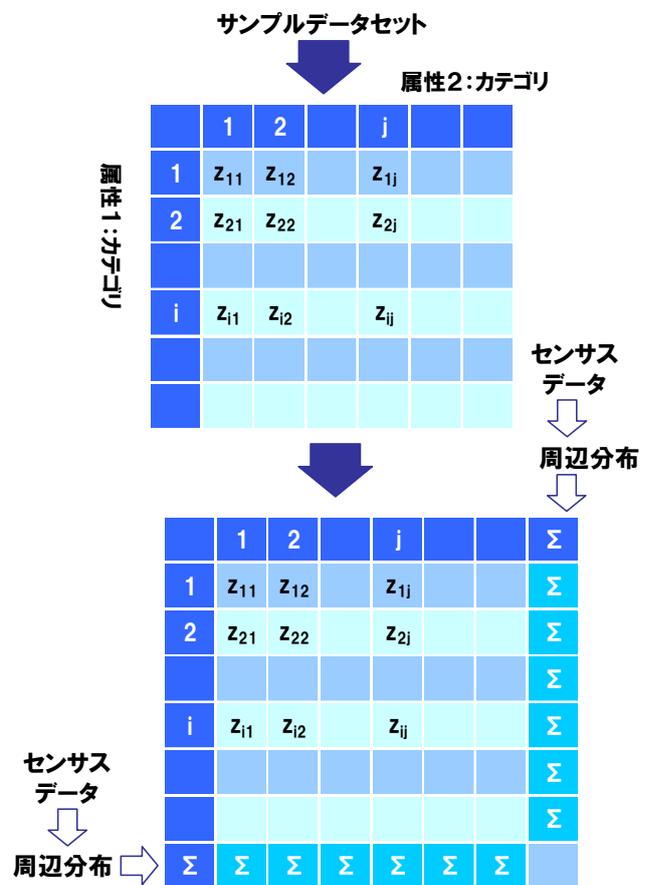


図-1 IPF法によるセルベースの人口データ推計

(2) エージェントベースの推計手法

Moeckelら³⁾はエージェントベースの手法を採用している。モンテカルロサンプリング手法が用いられており、図-2に示すようにマイクロシミュレーションモデルの実行に必要な多くの属性を、世帯の構成員ごとに考慮することが可能である。この場合、考慮可能な属性数は選択された属性間に有意義な関係が存在するかのみによって制限される。

宮本ら⁴⁾は、これらのアプローチを発展させたモンテカルロサンプリングによるエージェントベースの人口・世帯データ推定システムを構築している。その開発当初におけるシステムは4人世帯の構成員の年齢を推計するものであり、図-3に示すような推計フローである。

この推計システムは連続変数および離散変数を含む総合的な属性からなる初期マイクロ世帯データの推定システムへと拡張されている⁵⁾⁷⁾。この推計システムは、サンプルマイクロデータによって得られる各属性間の相関性に関する情報、および既存統計による各ゾーンのコントロールトータル情報を利用して、シミュレーション基準時点のマイクロデータを推定するものである。これらのシステムでは、相関する属性変数をモンテカルロシミュレーションで決定する際に、無相関変数である主成分を介して行う手法、および周辺制約に対する調整手法を提案している。

本研究では、以上の推計システムを簡略化した手法を、エージェントベースの推計に用いる。

以上の初期マイクロデータ推計システム構築においては、2つのマイクロデータの適合度を評価するための指標についても合わせて検討がなされている。

観測データ A と j 番目の推計データ E_j は、式(2)および式(3)のようなベクトルで表される。

$$A = \{ \mathbf{a}_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iZ}) \mid 1 \leq i \leq N \} \quad (2)$$

$$E_j = \{ \mathbf{e}_i^j = (e_{i1}^j, e_{i2}^j, \dots, e_{iZ}^j) \mid 1 \leq i \leq N \} \quad (3)$$

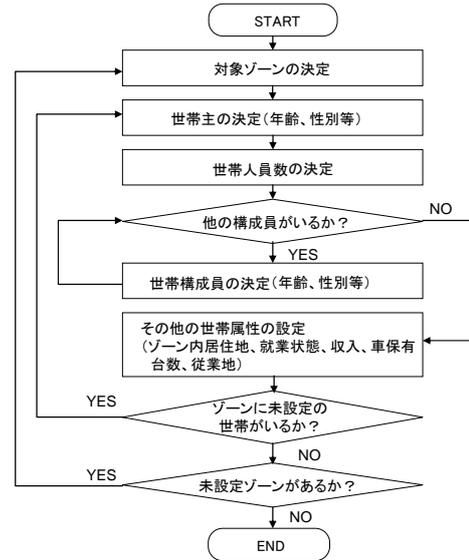


図-2 Moeckelら³⁾による人口・世帯データ生成手法

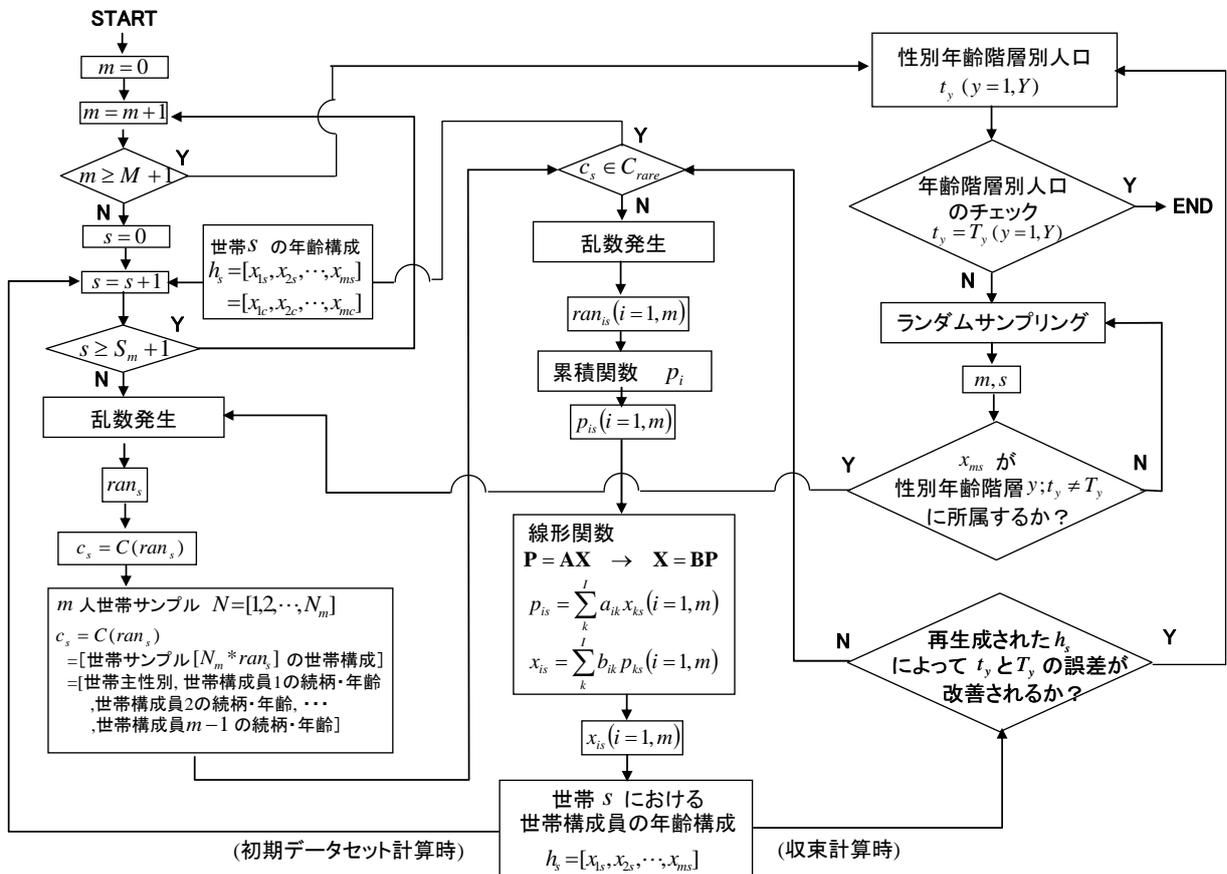


図-3 宮本ら⁴⁾による初期マイクロデータ推定システムのフロー

ここで、 Z は属性数、 N はエージェント数、 a_{ik} および e_{ik}^j は観測データと j 番目の推計データにおける i 番目のエージェントの k 番目の属性値である。

2つのデータ集合の類似度を評価する際、一般的には平均と分散が使用される。しかし、全要素の分布ではなく、個々の要素の適合性に基づいて評価するために、式(4)に示すような2要素間距離の二乗和の最小値 $Dis(\mathbf{a}_i, \mathbf{e}_k^j)$ を適合度とする手法を提案している¹⁷⁾⁻¹⁹⁾。

$$Dis(\mathbf{a}_i, \mathbf{e}_k^j) = \sum_{l=1}^Z \min((a_{il} - e_{kl}^j)^2, DiffMax) \quad (4)$$

推計データ集合 E_j と観測データ集合 A との類似度を表す評価値 $Fit(E_j)$ は式(5)で定義される。

$$Fit(E_j) = \min_{\sigma \in R_n} \sum_{i=1}^N Dis(\mathbf{a}_i, \mathbf{e}_{\sigma(i)}^j) \quad (5)$$

ここで、 R_n は集合 $\{1, 2, \dots, N\}$ から集合 $\{1, 2, \dots, N\}$ へのすべての全単射の集合を表し、 $\sigma(i)$ は全単射 σ による i の像を表す。

R_n は $N!$ 個の要素を持つので、1つの推計データ集合の評価値を求めるには、距離和の算出を $N!$ 回繰り返す必要がある。距離和の算出は複雑な処理ではないが、 $N!$ は N の増加に従って急速に増加するため、マイクロデータシミュレーションに用いる規模の推計データ集合の評価では計算量爆発の問題が生じる。評価値計算は、 $N!$ 個の全単射から、距離和を最小とするような全単射を探索する問題といえる。すなわち、距離和が最小となるように、観測データ集合の各要素を推計データ集合のいずれかの要素と対応付ける組合せ最適化問題である。さまざまな組合せ最適化問題で有用性が示されている遺伝的アルゴリズム (GA) の適用により、実時間での評価値算出が期待される。具体的な近似値の探索手法としては、GA の一手法である共生進化を採用している。

3. カテゴリ設定を考慮したマイクロデータ推定手法の比較

(1) 検討手法

本研究では、図-4に示す検討フローに従って、マイクロデータ推定手法の比較を行う。具体的な検討対象データは人口データとし、個人年齢と所属する世帯の人数の2属性を考慮する。

検討対象とするマイクロデータの各属性値が全て把握可能な観測データを母集団とし、母集団からサンブ

ルデータを用意する。また、周辺分布として検討対象とする属性のカテゴリごとの集計値を設定する。これらを用いて、セルベースについてはIPF法、エージェントベースについてはモンテカルロシミュレーションにより、それぞれの初期分布を作成する。

比較検討はセルベースおよびエージェントベースの適合度により行う。セルベースの適合度算定においては、モンテカルロシミュレーションにより推定された初期分布をIPF法と同様の属性カテゴリで集計する。同様に集計された観測データに対する両手法の初期分布推定結果の適合度を算定し、カテゴリ設定に対する推定の頑健性を検証する。エージェントベースの適合度算定においては、IPFによりセルベースで推定された初期分布を、所属するセルの属性値を用いてマイクロデータに分解する。観測データに対する両手法によるエージェントベースの初期分布の適合度を算出し、マイクロデータ推定における有用性を検証する。

(2) 利用データ

本研究では、第4回道央都市圏パーソントリップ調査データを用いて、両手法による初期分布の推定、および観測データに対する適合度評価を行う。第4回道央都市圏パーソントリップ調査では、19,394世帯について世帯構成員の詳細情報を含むマイクロデータが取得されている。このうち、10,000世帯をランダム抽出したデータを母集団データセットとしてケーススタディを行う。母集団データは単身世帯から7人世帯までの様々な世帯構成からなり、人口は24,115人分のデータである。また、各世帯の構成員を性別年齢5歳階級別に集計し、人口に関する周辺制約データを作成した。

母集団に対してサンプリング調査が実施されたことを想定し、母集団データセットより1,000世帯を抽出し、IPF法及びモンテカルロシミュレーションのためのサンプルデータとして用いた。

(3) カテゴリ設定

カテゴリ設定は、基本カテゴリと集約カテゴリの2種類設定し、カテゴリ設定による適合度への影響を検証する。

検証に用いる個人属性のうち、年齢については [0-4歳, 5-9歳, 10-14歳, 15-19歳, 20-24歳, 25-29歳, 30-34歳, 35-39歳, 40-44歳, 45-49歳, 50-54歳, 55-59歳, 60-64歳, 65-69歳, 70-74歳, 75-79歳, 80-84歳, 85歳以上] の計18カテゴリ、世帯人数については [1人, 2人, 3人, 4人, 5人, 6人, 7人以上] の計7カテゴリを最小単位とし、これらの最小カテゴリによる設定を、基本カテゴリとする。また集約カテゴリについては、年齢については3カテゴリごとに集約した計6カテゴリ、世帯人数

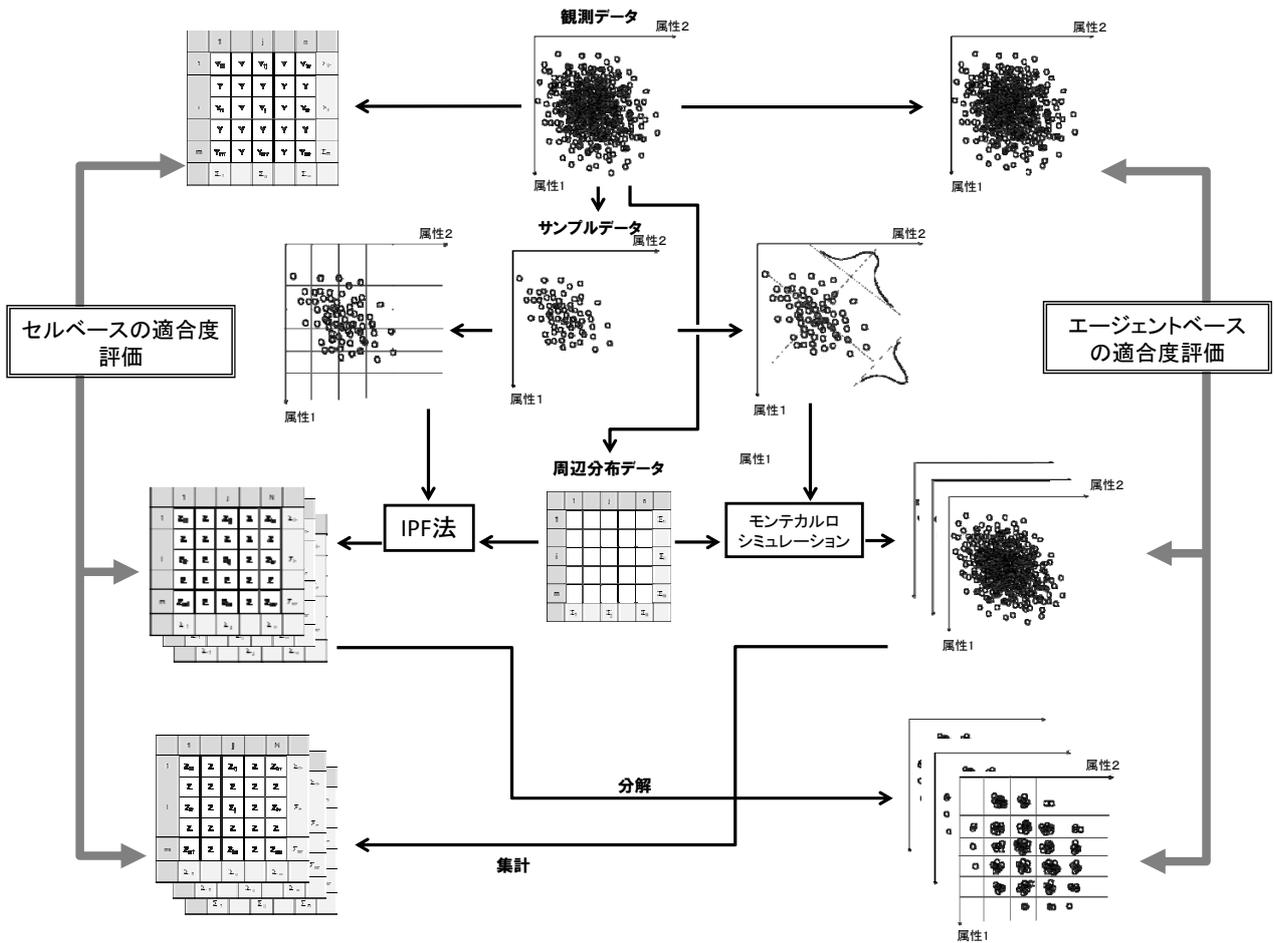


図-4 マイクロデータの量的比較の検討フロー

表-1 IPF法におけるカテゴリ集約設定

集約カテゴリ		1		2		3			
基本カテゴリ		1	2	3	4	5	6	7	
集約カテゴリ	基本カテゴリ	世帯人数							
		1人	2人	3人	4人	5人	6人	7人-	
1	1	年齢	0-4						
	2		5-9						
	3		10-14						
2	4		15-19						
	5		20-24						
	6		25-29						
3	7		30-34						
	8		35-39						
	9		40-44						
4	10		45-49						
	11		50-54						
	12		55-59						
5	13		60-64						
	14		65-69						
	15		70-74						
6	16		75-79						
	17		80-84						
	18		85-						

については「1～2人，3～4人，5人以上」のように集約した計3カテゴリを設定する。以上の設定を，表－1に示す。

(4) 初期分布データの推定

初期分布データの作成は，母集団に対して8ケースのサンプリングを行って得られたサンプルデータを用いて行う。

セルベースの推定は，サンプルケースごとに，基本ケースと集約ケースについて，IPF法を用いた初期分布推定を行う。

エージェントベースの推定は，サンプルケースごとに，図－2に推定フローを示したモンテカルロシミュレーションによる初期分布推定システムを用いて行う。推定に用いるパラメータ等については，宮本ら⁴⁾において推定されたものを適用する。システムにより，構成員の年齢，世帯人数を属性として持つ世帯データが推定されるため，年齢と所属する世帯の人数を属性として持つ個人ベースのマイクロデータが作成可能である。

(5) セルベースの適合度検証

セルベースの適合度算定は，式(1)の平均平方標準誤差 (SRMSE) 指標を用いて行った。エージェントベースの初期分布推定については，表－1のカテゴリ設定に従って，基本カテゴリ，集約カテゴリについてそれぞれ個人数の集計を行い，セルベースのデータに変換した。観測データについても同様の集計を行い，カテゴリ設定ごとに両手法の初期分布推定結果の適合度を算出した。

基本カテゴリ設定および集約カテゴリ設定に対するセルベースの適合度算出結果を表－2，表－3にそれぞれ示す。

基本カテゴリ設定については，サンプルケースごとの適合度の平均値を見る限りにおいては，エージェントベースの推定手法の方がセルベースの推定手法よりも若干良好な結果となった。サンプルNo.2，5，6については両手法の適合度がほぼ同程度の値か，セルベースの方がややよい結果となっているが，それ以外のサンプルNo.1，3，4，7，8では，エージェントベースの方の適合度がセルベースに対して大きく改善されている。

これに対し集約カテゴリ設定では，多くのサンプルケースでセルベースの方がやや高い適合度となった。ただし，平均値において両手法の差は小さく，手法間の優位性には大きな相違が存在しない。これは，IPF法で用いる初期サンプルにおいて，基本カテゴリ設定ではいくつかのゼロセルが存在するが，カテゴリの集約によりゼロセルがなくなることにより，初期データ推定の精度が向上するためと考えられる。

以上の結果より，セルベースの推定は，カテゴリ数が少ない場合には初期データ推計手法として有効であるが，詳細なカテゴリの初期データを作成する際には，データ推計の精度が下がる可能性があり，

エージェントベースの推計手法を採用する方が望ましいと考えられる。

(6) エージェントベースの適合度検証

エージェントベースの適合度算定は，式(4)および式(5)に示したマイクロデータの適合度指標を用いて行った。IPF法により基本カテゴリ，集約カテゴリそれぞれに対して推定されたセルベースの初期分布については，所属するセルの属性値を用いてマイクロデータに分解し，観測データに対する両手法によるエージェントベースの初期分布の適合度を算出した。

基本カテゴリ設定および集約カテゴリ設定に対するエージェントベースの適合度算出結果を表－4，表－5にそれぞれ示す。各サンプルケースに対する結果は，各6回ずつの適合度算出試行による平均値と標準偏差である。

基本カテゴリ設定については，各サンプルに対する適合度の試行平均値では，サンプルNo.5を除いてエージェントベースの推定手法の方がセルベースの推定手法よりも良好な結果となった。また，標準偏差が小さいことから，エージェントベースの推定手法の方がセルベースの推定手法よりも安定した初期分布推定結果が得られているといえる。

集約カテゴリ設定については，いずれのサンプルケースについても，エージェントベースの方がセルベースの適合度よりも大幅に高い適合度となっている。これは，セルベースの初期分布推定においては，エージェントベースへのデータ変換の際に，カテゴリ集約設定に応じて，最小カテゴリに対して平均的に割り付ける変換が行われ，集約されたカテゴリ内でのばらつきの情報が失われるため，母集団に対する推定の精度が大きく低下するためである。

よって，マイクロシミュレーションで用いられるエージェントベースの初期マイクロデータ作成においては，エージェントベースの推定手法の方が優位性が高く，カテゴリが集約されるほどその傾向は顕著となるといえる。

4. おわりに

本研究では，マイクロシミュレーションにおける初期年次のマイクロデータ作成について，セルベースについてはIPF法，エージェントベースについてはモンテカルロサンプリング手法による比較を行い，その際のカテゴリ設定の影響について検証を行った。その結果，セルベースの適合度，エージェントベースの適合度ともに詳細なカテゴリ設定ほどエージェントベースの推定が有効であり，セルベースの推定手法ではデータ推計の精度が低下する可能性が明らかとなった。

表-2 セルベースの適合度算定結果：基本カテゴリ設定

サンプル No.	個人サンプル数	適合度（セルベース）	
		セルベース推定 (IPF)	エージェントベース推定 (MCS)
1	2,346	0.184	0.170
2	2,357	0.183	0.192
3	2,434	0.208	0.171
4	2,415	0.184	0.175
5	2,416	0.213	0.219
6	2,452	0.163	0.162
7	2,443	0.220	0.182
8	2,467	0.223	0.167
平均		0.197	0.180

表-3 セルベースの適合度算定結果：集約カテゴリ設定

サンプル No.	個人サンプル数	適合度（セルベース）	
		セルベース推定 (IPF)	エージェントベース推定 (MCS)
1	2,346	0.046	0.050
2	2,357	0.055	0.079
3	2,434	0.044	0.070
4	2,415	0.063	0.058
5	2,416	0.071	0.082
6	2,452	0.043	0.045
7	2,443	0.096	0.088
8	2,467	0.082	0.062
平均		0.063	0.067

表-4 エージェントベースの適合度算定結果：基本カテゴリ設定

サンプル No.	個人サンプル数	適合度（エージェントベース）			
		セルベース推定(IPF)		エージェントベース推定(MCS)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
1	2,346	3,997	27.3	2,539	15.5
2	2,357	4,189	38.1	2,932	17.5
3	2,434	2,976	34.5	2,369	16.8
4	2,415	3,517	51.8	3,028	13.6
5	2,416	2,969	12.1	3,336	16.8
6	2,452	2,486	50.8	2,444	22.6
7	2,443	3,116	22.9	2,594	9.3
8	2,467	3,782	40.5	2,863	13.1

表-5 エージェントベースの適合度算定結果：集約カテゴリ設定

サンプル No.	個人サンプル数	適合度（エージェントベース）			
		セルベース推定(IPF)		エージェントベース推定(MCS)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
1	2,346	19,100	12.0	2,539	15.5
2	2,357	18,824	18.5	2,932	17.5
3	2,434	19,397	12.6	2,369	16.8
4	2,415	19,217	13.0	3,028	13.6
5	2,416	19,495	10.9	3,336	16.8
6	2,452	19,790	43.9	2,444	22.6
7	2,443	18,462	11.5	2,594	9.3
8	2,467	19,474	23.2	2,863	13.1

謝辞：本論文は、平成23～25年度科学研究費補助金(基盤研究(B), 課題番号: 23360228, 研究課題名: 縮退状況における都市マネジメントのための世帯マイクロシミュレーションシステム)の研究成果の一部を取りまとめたものである。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) Wegener, M. : Overview of land-use transport models, Proc. of CUPUM'03, 2003.
- 2) 宮本和明, 北詰恵一, 鈴木温 : 世界における実用都市モデルの実態調査とその理論・機能と適用対象の体系化, 平成 18～19 年度科学研究費補助金(基盤研究(C), 課題番号:18560524)研究成果報告書, 2008.
- 3) Moeckel, R., Spiekermann, K. and Wegener, M. : Creating a Synthetic Population, *Proceedings of CUPUM '03*, CD-ROM, 2003.
- 4) Miyamoto, K., Sugiki, N., Kitazume, K., Suzuki, A. and Vichiensan, V. : An estimation method of household micro-data for the base year in land-use micro simulation, *Proceedings of CUPUM'09*, CD-ROM, 2009.
- 5) Miyamoto, K., Sugiki, N., Otani, N. and Vichiensan, V. : An agent based estimation method of household micro-data for the base year in land-use microsimulation, *TRB 89th Annual Meeting Compendium of Papers*, DVD, 2010.
- 6) Miyamoto, K., Sugiki, N., Otani, N. and Vichiensan, V. : An agent based estimation method of household micro-data including housing information for the base year in land-use microsimulation, *Selected Proceedings of 12th WCTR*, Web-Journal, 2010.
- 7) Sugiki, N., Otani, N. and Vichiensan, V., Miyamoto, K. : Agent-Based Household Micro-Datasets: An Estimation Method composed of Generalized Attributes with Probabilistic Distributions from Sample Data and Available Control Totals by Attribute, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.8, 2011.
- 8) Pritchard, D. R., and Miller, E. J. : Advances in Agent Population Synthesis and Application in an Integrated Land Use / Transportation Model, *TRB 88th Annual Meeting Compendium of Papers*, DVD, 2009.
- 9) Müller, K. and Axhausen, K.W : Population synthesis for microsimulation: State of the art, *TRB 90th Annual Meeting Compendium of Papers*, Web, 2011.
- 10) Lee, D. H. and Yingfei, F. : A Cross Entropy Optimization Model for Population Synthesis used in Activity-based Micro-Simulation Models, *TRB 90th Annual Meeting Compendium of Papers*, Web, 2011.
- 11) 杉木直, 宮本和明, 大谷紀子, Varameth VICHENSAN: 初期マイクロデータの推定手法に関するエージェントベースとセルベースの比較, 第 43 回土木計画学研究発表会論文集, CD-ROM, 2011.
- 12) Deming, W. E. and Stephan, F. F. : On a Least Squares Adjustment of a Sampled Frequency Table When the Expected Marginal Totals Are Known, *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 11, pp. 427-444, 1940.
- 13) Beckman, R. J., Baggerly, K. A. and McKay, M. D : Creating Synthetic Baseline Populations, *Transportation Research A*, Vol. 30, No. 6, pp. 415-435, 1996.
- 14) Guo, J. Y. and Bhat, C. R : Population Synthesis for Microsimulating Travel Behavior, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.2014, pp. 92-101, 2007.
- 15) 宮本和明, 安藤淳, 清水英範 : 非集計行動分析に基づく都市圏住宅需要モデル, 土木学会論文集, Vol.365/IV-4, pp.79-88, 1986.
- 16) Knudsen, D. C. and Fotheringham, A. S. : Matrix Comparison, Goodness-of-Fit, and Spatial Interaction Modelling, *International Regional Science Review*, Vol. 10, No. 2, pp. 127-147, 1986.
- 17) Otani, N., Sugiki, N. and Miyamoto, K. : Goodness-of-fit evaluation method between observed and estimated sets of micro-data in land-use micro-simulation, *Proceedings of CUPUM '09*, CD-ROM, 2009.
- 18) Otani, N., Sugiki, N. and Miyamoto, K. : Goodness-of-fit evaluation method between two sets of household micro-data for land-use microsimulation models, *Selected Proceedings of 12th WCTR*, Web-Journal, 2010.
- 19) Otani, N., Sugiki, N. and Miyamoto, K. : Goodness-of-Fit evaluation method of agent-based household micro-data sets composed of generalized attributes, *TRB 90th Annual Meeting Compendium of Papers*, Web, 2011.