

# 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

杉木 直<sup>1</sup>・宮本 和明<sup>2</sup>・大谷 紀子<sup>3</sup>・Varameth VICHIEANSAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>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、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、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、適用の場面、データ入手可能性、推定結果の妥当性等の視点からそれぞれ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。セルベースのデータ推計についてはカテゴリ集約のパターンを様々にしたケースを実施し、同様に集約したエージェントベースによる推計結果との比較より推定の頑健性を考察する。また、両手法により作成された初期年次のマイクロデータと観測データとの適合度評価を行い、マイクロ世帯推計への有効性を比較する。

**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<sup>1)2)</sup>。

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<sup>3)-7)</sup>。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<sup>8)-10)</sup>、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。

そこで本研究では、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、セルベースとエージェントベースによる手法の比較を多様

な視点から行い、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する。

比較検討は、質的および量的な視点から行う。質的な比較においては、マイクロデータの特長、属性及びそのカテゴリ、推定手法の規範、頑健性、推定アルゴリズムの複雑性、データ入手可能性、手法間の互換性について、両手法の特性やメリット・デメリットを記述する。量的な比較については、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。セルベースのデータ推計についてはカテゴリ集約のパターンを様々にしたケースを実施し、同様に集約したエージェントベースによる推計結果との比較より推定の頑健性を考察する。また、両手法により作成された初期年次のマイクロデータと観測データとの適合度評価を行い、マイクロ世帯推計への有効性を比較する。

## 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

Demingら<sup>11)</sup>によって提案され、Beckmanら<sup>12)</sup>によって人口データ推計問題<sup>13)</sup>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ら<sup>14)</sup>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。

Guoら<sup>13)</sup>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、Pritchardら<sup>7)</sup>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りない。

マイクロデータの適合度に関しては、Pritchardら<sup>7)</sup>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3つの属性( $i, j, k$ )により区分されると仮定した場合、推定集合 $\hat{N}_{ijk}$ と妥当性検証のための観測データ集合 $N_{ijk}$ 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<sup>15)</sup>。

$$SRMSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{IJK} \sum_{i,j,k} (\hat{N}_{ijk} - N_{ijk})^2}{\frac{1}{IJK} \sum_{i,j,k} N_{ijk}}} \quad (1)$$

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。

### (2) エージェントベースの推計手法

Moeckelら<sup>3)</sup>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-1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によって制限される。

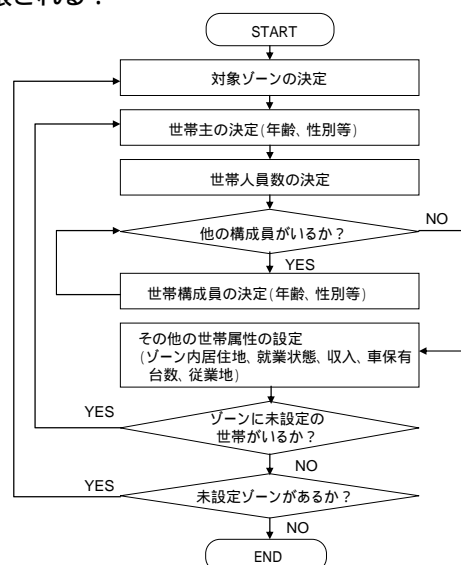


図-1 Moeckelら<sup>3)</sup>による人口・世帯データ生成手法

宮本ら<sup>4)</sup>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-2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<sup>5)-7)</sup>。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。

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

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

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<sup>16)-18)</sup>。

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

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  $\sigma$  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

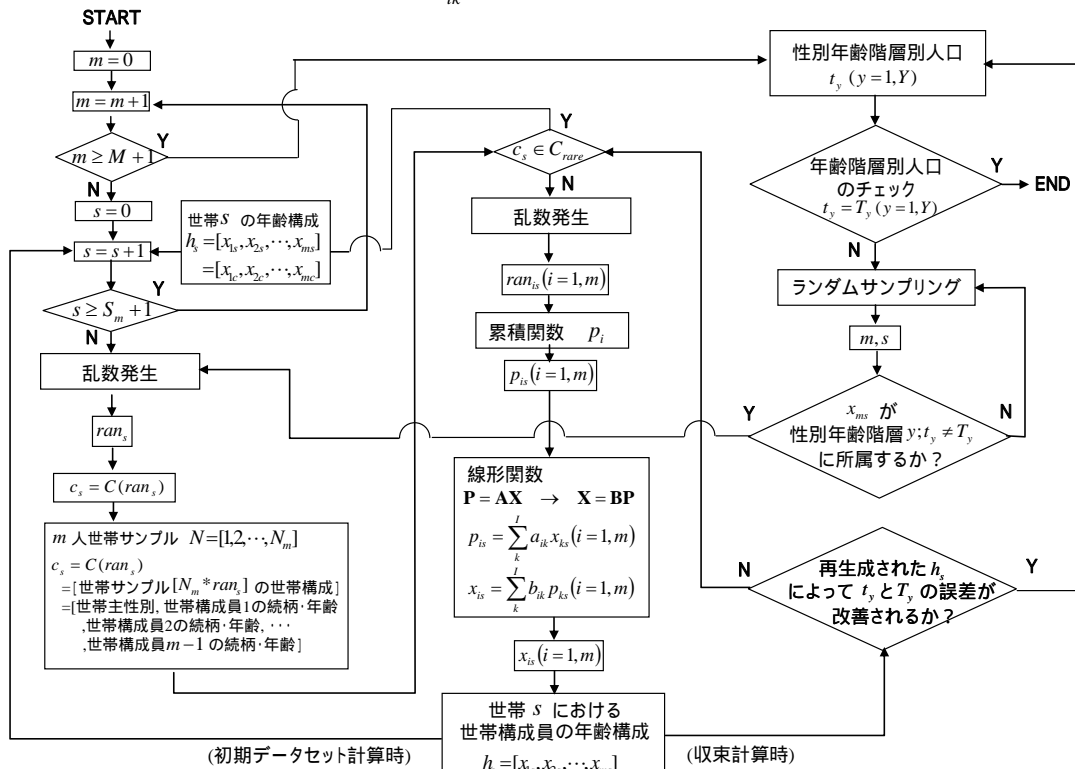


図-2 宮本ら<sup>4)</sup>による初期マイクロデータ推定システムのフロー

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. マイクロデータ推定手法の質的比較

本節では、マイクロデータ推定手法の質的な比較として、マイクロデータの特性、属性及びそのカテゴリ、推定手法の規範、推定結果の頑健性、推定アルゴリズムの複雑性、データ入手可能性、手法間の互換性の視点から、セルベースおよびエージェントベースの特性やメリット・デメリットについて検討を行う。

#### (1) マイクロデータの特性

セルベースの推定手法においては、限定的な属性の組み合わせによって定義される多次元の表における各セルに所属するエージェントの世帯数が推定され、マイクロデータとしては直接的には推定されない。マイクロデータは各セルを定義する代表的な属性カテゴリに従った特性を持つことになる。従って、これらは個々のマイクロデータではなく、同じ属性を持つ人口や世帯数データである。

エージェントベースの推定手法においては、個々のエージェントが直接的に推定される。このため、推定されたマイクロデータは、各々が固有の属性を持ち、また多様な属性の組み合わせが考慮可能である。

#### (2) 属性及びカテゴリ

より複雑なマイクロデータを作成する場合、セルベースの推定手法であるIPF法には限界がある。行列のセルに対して初期に入力するサンプルデータの信頼性の観点において非常に高い基準を必要とする。IPF法では、0のセルを0.1もしくは0.01に設定するため、これらの設定は確率に影響を与えるが、理論的な根拠はない<sup>3)</sup>。

また、このようなセル要素の問題に加え、改良されたIPF法を含むこれらのセルベースのアプローチには次のような問題がある。

- ・属性およびそれらのカテゴリを任意に設定することができない。
- ・年齢や収入などは本来連続変数であるが、カテゴリを離散的に設定する必要があり、これらの設定はゾーニングにおけるMAUP (Modifiable Area Unit Problem) と同様のMTUP (Modifiable Type Unit Problem) とも呼ぶべき問題

を引き起こす。

- ・属性数が増えるほどゼロセル問題が顕著になり、信頼性が低下する。

IPF法は、限られた数の属性を設定することによって、コンピュータの計算負荷量を削減することを目的として考案されたものであるという側面もあるが、属性カテゴリの組み合わせが膨大になってしまう傾向があり、その一方で大部分のセルが0になってしまう。

#### (3) 推定手法の規範

セルベースの推定手法であるIPF法の計算過程は、エントロピー最大化という明確な規範を持っている。このため、その解法についても固定的なアルゴリズムが構築されている。

しかしながら、モンテカルロシミュレーションによって行われるエージェントベースの推計においては、定式化等において明確な規範がない。個々のエージェントの属性は、サンプルデータによって得られる属性値の確率分布に従って確率的に推定されるため、これらは尤度最大化にベースを置くものと解釈されるが、数学的な解釈に基づく定式化等はなされていない。

#### (4) 推定結果の頑健性

IPF法を用いるセルベースの推定手法においては、前述のように計算アルゴリズムが固定的であるため、推定されるセルベースのデータは一意となる。

モンテカルロシミュレーションによって行われるエージェントベースの推計においては、試行毎に推定結果が異なり、それらの中から初期時点のマイクロデータとして用いるものを選択する必要がある。

#### (5) 推定アルゴリズムの複雑性

セルベースの推定手法であるIPF法のアルゴリズムは、既存研究において改良が加えられたいくつかのパターンはあるものの、一般的には単純である。

これに対し、モンテカルロシミュレーションを用いるエージェントベースの推定アルゴリズムは、図 - 1 および図 - 2 に示すように複雑であり、その推定フローは恣意的な側面がある点は否めない。エージェントベースによる手法は、最適化問題というよりは、シミュレーションによる解法であると言える。

#### (6) データ入手可能性

セルベースの推定手法、エージェントベースの推定手法ともに、推定において必要とされるデータは、国勢調査等のセンサスデータによって一般的に入手可能な属性カテゴリごと総量である集計データと、アンケート調査等によって入手されるサンプルデータである。この点に

において、両手法に大きな相違はない。

#### (7) 手法間の互換性

セルベースの推定手法においては個々のエージェントは直接的には推定されず、各セルを定義する代表的な属性カテゴリによって属性値が定義される。改良されたIPF法では、モンテカルロシミュレーションを用いてその他の多様な属性を付加する手法が提案されているが、IPF法を基本としている以上、セルベースのデータの域を出るものではない。従って、これらのセルベースの推定で取り扱える属性の種類は限定的であり、エージェントベースのデータへの変換には限界がある。

一方、エージェントベースの推定手法では、個々のマイクロデータを直接的に推定するため、集計によってセルベースのデータへ容易に変換可能である。

### 4. マイクロデータ推定手法の量的比較

本節では、マイクロデータ推定手法の量的な比較として、セルベースとエージェントベースによる初期マイクロデータの作成を行い、セルベースの結果を用いた推定の頑健性、および両手法により作成された初期年次のマイクロデータと観測データとの適合度評価に基づくマイクロ世帯推計への有効性の検証を行う。

#### (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量的比較を行う。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、母集団からサンプ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。その際、IPFについてはセルの統合パターンを複数設定した推定を行う。

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、セルの統合パターンによ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。

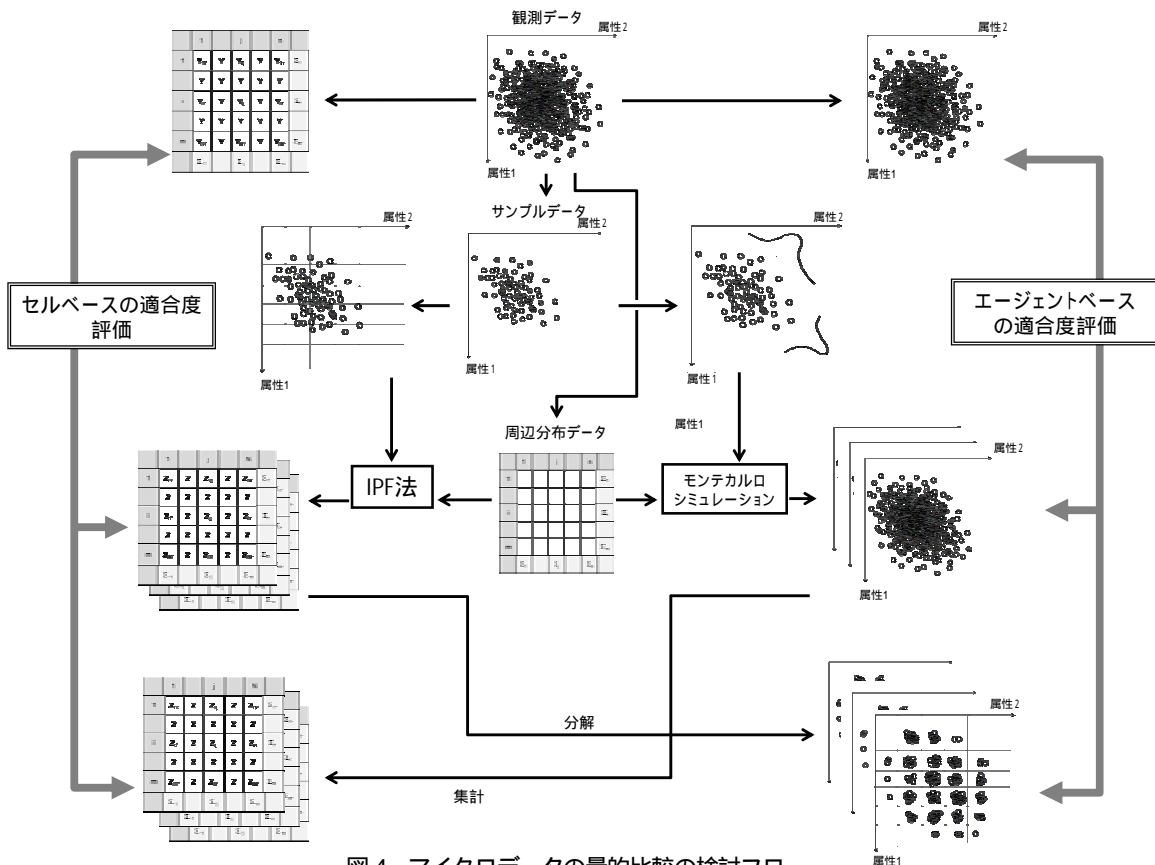


図4 マイクロデータの量的比較の検討フロー

## (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。

検証に用いる個人の属性については、年齢は[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た。

## (3) 初期分布データの推定

IPF法による推定においては、表-1に示すようなカテゴリ集約を設定した。年齢18カテゴリ、世帯人数7カテゴリである最小カテゴリをBASEケースとし、隣接する年齢カテゴリを均等に集約した「A:年齢集約」を4ケース、隣接する世帯人数を2~4に集約した「B:世帯人数

表-1 IPF法におけるカテゴリ集約設定

ケース	年齢 カテゴリ数	世帯人数 カテゴリ数	IPF セル数
BASE	18	7	126
A:年齢集約	A-1	9	7
	A-2	6	7
	A-3	3	7
	A-4	2	7
B:世帯人数 集約	B-1	18	4
	B-2	18	3
	B-3	18	2
C:年齢・世帯 人数集約	C-11	9	4
	C-12	9	3
	C-13	9	2
	C-21	6	4
	C-22	6	3
	C-23	6	2
	C-31	3	4
	C-32	3	3
	C-33	3	2
	C-41	2	4
	C-42	2	3
	C-43	2	2
	D:年齢不均 一集約	D-1	3[5-8-5]
D-2		3[4-10-4]	7
D-3		3[3-12-3]	7
D-4		3[2-14-2]	7
D-5		3[1-16-1]	7

集約」を3ケース、これらの組み合わせによる「C:年齢・世帯人数集約」を12ケース、年齢を不均一に3カテゴリへ集約した「D:年齢不均一集約」を5ケース設定した。これらのケースごとに、IPF法を用いた初期分布推定を行う。

モンテカルロシミュレーションによる初期分布の推定は、図-2に推定フローを示したシステムを用いて行った。推定に用いるパラメータ等については、宮本ら<sup>4)</sup>において推定されたものを適用している。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。

## (4) 適合度の算出

セルベースの適合度算定は、式(1)の平均平方標準誤差(SRMSE)指標を用いて行う。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表1のカテゴリで集約しセルベースのデータに変換する。観測データについても同様の集計を行い、セルの統合パターンによる両手法の初期分布推定結果の適合度について感度分析を行う。

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う。IPFによりセルベースで推定された初期分布を、カテゴリ集約パターンごとに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する。

## 5. おわりに

本研究では、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、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方法を提案した。道央都市圏パーソントリップ調査データを用いた両手法による初期マイクロデータの推定結果、およびこれらのセルベースでのカテゴリ集約結果の比較による推定の頑健性、マイクロデータの観測データとの適合度評価によるマイクロ世帯初期分布推計への有効性の検証結果については講演時に報告予定である。

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) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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/ -4, pp.79-88, 1986.
- 15) Knudsen, D. C. and Fotheringham, A. S. : Matrix Comparison, Goodness-of-Fit, and Spatial Interaction Modeling, *International Regional Science Review*, Vol. 10, No. 2, pp. 127-147, 1986.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 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.