

マイクロシミュレーションにおける 可変属性セル問題と解法

大谷 紀子¹・杉木 直²・Varameth VICHIEANSAN³・宮本 和明⁴

¹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

²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

³ Member of JSCE, Lecturer, Faculty of Eng., Kasetsart University
(50 Phaholyothin Rd., Lard Yao, Jatujak, Bangkok 10900, Thailand)
E-mail: fengvmv@ku.ac.th

⁴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

土地利用マイクロシミュレーションを実施するにあたり、基準年のマイクロデータ推定が必要となる。推定データの作成では、クロス分類表において各セルに属する個体数を推定するIPF (Iterative Proportional Fitting) 法が多く用いられている。IPF法を用いる推定手法を本稿ではセルベース推定手法と呼ぶ。セルベース推定では、あらかじめ定められたカテゴリに基づいて各セルの個体数を決定する。カテゴリの設定によって推定結果、すなわちクロス分類表は変化し、さらにはシミュレーション結果にも影響を及ぼす。本論文では、シミュレーションに最適なカテゴリの設定を求める問題を“可変属性セル問題”と呼ぶ。本研究では、可変属性セル問題に焦点を当て、最適なカテゴリの組合せを探索する手法を提案する。可変属性セル問題では、マイクロシミュレーションの結果得られる政策変数を最適化の指標として使用し、政策変数の分布に有意差がみられない範囲でセル数が最小となる統合セル集合を探索する。組合せ爆発の問題に対処するため、遺伝的アルゴリズムの一種である共生進化を適用する。道央都市圏パーソントリップ調査データを使用して、提案手法の妥当性を検証する。

Key Words : Modifiable Attribute Cell Problem, Microsimulation, Estimation of Microdata

1. はじめに

土地利用マイクロシミュレーションモデルは、都市圏における土地利用と交通の詳細な変化の記述手法として、都市計画関連の各種分析への活用が進められている。複数の属性を定義した基準年マイクロデータをもとに、シミュレーションを実施するが、個人や個別世帯に関するデータの入手は一般に困難であり、プライバシー保護の観点からも望ましくない。したがって、国勢調査などの入手可能な集計データと、追加的に個別世帯の情報を提供するサンプル調査結果から、個別世帯の各属性値を推定して基準年マイクロデータを作成する。

推定データの作成では、クロス分類表において各セルに属する個体数を推定するIPF (Iterative Proportional Fitting) 法が多く用いられている。IPF法を用いる推定手法を本

稿ではセルベース推定手法と呼ぶ。セルベース推定では、あらかじめ定められたカテゴリに基づいて各セルに属する個体数を決定する。カテゴリの設定によって推定結果、すなわちクロス分類表は変化し、さらにはシミュレーション結果にも影響を及ぼす。また、カテゴリ数によりシミュレーション等にかかる処理時間も変化する。本論文では、シミュレーションに最適なカテゴリの設定を求める問題を“可変属性セル問題” (Modifiable Attribute Cell Problem; MACP) と呼ぶ。MACPは、空間データをゾーンに統合するときの可変領域ユニット問題 (Modifiable Area Unit Problem; MAUP) と類似している。

本研究では、MACPに焦点を当て、最適なカテゴリの組合せを探索する手法を提案する。複数のカテゴリを1つに結合することを“セル統合”，結合されたカテゴリに基づいて生成されたセルを“統合セル集合”と呼ぶ。

MACPでは、マイクロシミュレーションの結果得られる政策変数を最適化の指標として使用し、最適な統合セル集合を探索する。道央都市圏パーソントリップ調査データを使用して、提案手法の妥当性を検証する。

2. セルベースのマイクロデータ推定

これまでのTRANSIMをはじめとする交通需要予測マイクロシミュレーションモデル^{12,13)}では、初期データは観測できないことから推計個人データを用いており、その手法はIPF法である。

(1) IPF法

IPF法はDemingらにより提案され⁵⁾、Beckmanらにより初めて推定データ生成に適用された⁶⁾。この手法は表形式で表される各セルの数値を行および列のそれぞれの合計値に一致することを条件に繰り返し計算で修正していくものである。その際、各セルの割合は、サンプルデータ等から与えられる比率に出来るだけ近くなることを規範としている。

例えばエージェント（本研究では個人）が3属性(i, j, k)で規定されるとしよう。IPFでは3次元のクロス分類表を構成し、各セルに属するエージェントの数 N_{ijk} を求める問題となる。IPFでは属性間の相関をサンプルデータから得られる同じ形式のサンプル表の比率により表現し、推計するクロス分類表にシード値として与える。クロス分類表の各行、各列のそれぞれの合計値は国勢調査等の全数調査から与えられる。

IPF法の処理手順を以下に記す。

- 1) クロス分類表の各行と各列の周辺分布に国勢調査のデータを設定する
- 2) クロス分類表の各セルにシード値としてサンプルデータを設定する
- 3) 値が0のセルに0.01のような微小値を設定する
- 4) 各行と各列の合計を算出する
- 5) 各行と各列の周辺分布との差に基づく評価値を算出する
- 6) 評価値から調整率を算出する
- 7) 各セルの値を調整率により更新する
- 8) 評価値の変化が収束するまで4~7を繰り返す

(2) 課題

土地利用マイクロシミュレーションにおいて世帯あるいは個人の初期値データの推計は、予測結果の精度を左右するものであるが、その属性が多様性でありまた詳細な分類を必要とすることから重要な過程ということができる⁷⁾。しかし、一般に用いられるIPF法は設定条件に大

きく左右されることから、常に精度が高い推計が行えるとはいえない。各行、各列の周辺制約条件のほか、サンプル表から求められる各セルのシード値が0である場合はその処理が必要となる。

IPFを用いた研究のいくつかを例にとると、まず、宮本ら⁸⁾は同時確率最大化を基準に世帯予測を行っているが、その解法においてIPF法と同値である。Guoら¹⁾はゼロセル問題と個人と世帯の属性条件の不一致問題を緩和するようにIPF法を改良している。Pritchardら⁹⁾もIPF法で求めたものをより多様な属性をエージェントベースで割り当てる方法として、モンテカルロシミュレーションを用いる方法を提案している。最近においても推計方法の改良は進んでおり、その概要はMüllerら¹⁰⁾にまとめられている。これらの改良は有効ではあるが、基本的にはセルベースでの予測であり、それに起因する基本的な問題が残っていることに変わりはない。

3. 可変属性セル問題

(1) MAUP

空間を対象とした分析問題においてゾーンの設定の仕方によって結果が変わる問題がいわゆるMAUPである。この問題は、対象とする空間属性の観測ゾーン単位と分析に用いるゾーンの集計単位の2つの要因に起因するものである。観測ゾーンの違いは行動パラメータ等の推計に大きく影響する。また、分析ゾーンの設定の違いにより、予測結果も変化することが知られている。MAUPを定量的に示したものとしてはViegasらの研究がある¹¹⁾。この研究はリスボン都市圏の交通需要予測を対象とし、配分モデルにおけるゾーン設定の影響を示すことによりMAUPが結果の精度に無視できない影響を与えることを示している。

(2) MACPの意義

MACPは、前節で述べたMAUPと同様に、多次元のクロス分類表におけるカテゴリ設定により分析結果が変動する状況で適用される。クロス分類表の各セルはすべて同質の値であると仮定される。典型的な土地利用モデルの例としては、将来の人口や世帯数を予測する場合が挙げられる。予測は、収入や年齢、家族構成、自動車保有台数など、あらかじめ定められたカテゴリごとに行われる。しかし、カテゴリはさまざまな視点による設定が可能である。カテゴリの設定によりデータ推定結果も異なるため、世帯や人口のデータを用いる交通需要予測などにも影響を及ぼす。したがって、クロス分類表を用いたデータ推定を行なう際には、適切な予測ができるようなカテゴリ設定が不可欠といえる。

(3) 問題提起

処理時間を勘案し、セル統合に用いるデータは、処理対象エリアの一部分のデータとする。セル統合により得られた最適な統合セル集合に基づいて、対象エリア全体に関するセルベースのデータ推定およびシミュレーションを行なう。セル統合の位置づけを図-1に示す。

IPF法では、詳細情報を含むサンプルデータをクロス分類表のシード値として使用するとともに、国勢調査等による統計データを周辺分布として使用する。統計データで使用されている各属性のカテゴリが、データを入手し得る最も細かいカテゴリであるため、これに基づいて設定されたセルを基本セル集合とする。基本セル集合の周辺分布には値が0となるセルはないものと仮定し、セル統合における評価基準として使用する。セル統合の例を図-2に示す。

(4) 評価

マイクロシミュレーションの出力は統計的に決定されるので、出力の評価も統計的手法で行われるべきである。シミュレーションにおいて最も重要な出力は、政策変数として定義される。得られた政策変数に基づいて政策が決定される。また、クロス分類表におけるセル数が多いほどシミュレーション等にかかる処理時間が長くなるため、可能な限りセル数を少なくすることが望まれる。

上記より、最適な統合セル集合の探索は以下の最適化問題と同等と考える。

目的関数：クロス分類表のセル数を最小にする

制約条件：基本セル集合を用いた場合と同等の政策決定がなされる

政策変数の観点から制約条件を表現すると、統合セル集合を用いて得られた政策変数の分布が、基本セル集合を用いた場合と有意差がない場合、当該統合セル集合は最適解の候補となるといえる。

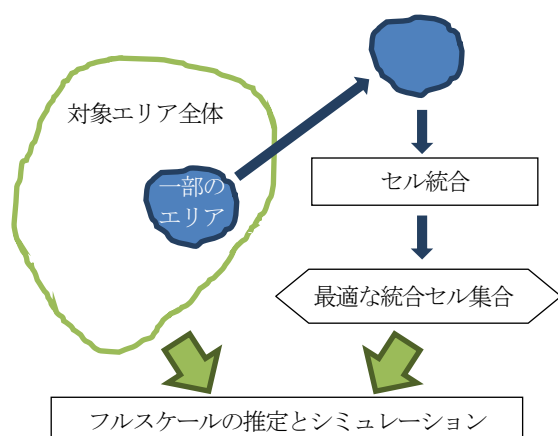


図-1 セル統合の位置づけ

					j			Σ
								Σ
								Σ
								Σ
i					x_{ij}			Σ
								Σ
								Σ
								Σ
Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	

基本セル集合



			j		Σ
					Σ
					Σ
i			x_{ij}		Σ
					Σ
Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	

統合セル集合

図-2 セル統合

(5) 処理手順

最適な統合セル集合を全探索により求める場合の手順は以下の通りである。

- 基本セル集合に基づき、IPF 法により基準年データを推定する。
- マイクロシミュレーションを複数回実行する。
- 基本セル集合におけるカテゴリを結合することにより大きなセルからなる統合セル集合、すなわちよりセル数の少ない統合セル集合を生成する。
- 生成された統合セル集合に基づき、IPF 法により基準年データを推定する。
- マイクロシミュレーションを複数回実行する。
- 統合セル集合と基本セル集合の政策変数の分布に関して T 検定を行なう。有意差がなければ、当該統合セル集合は許容可能と判断する。
- 許容可能な統合セル集合のうち、セル数が最も少ない統合セル集合を最適解として出力する。

以上の手順のフローチャートを図-3に示す。

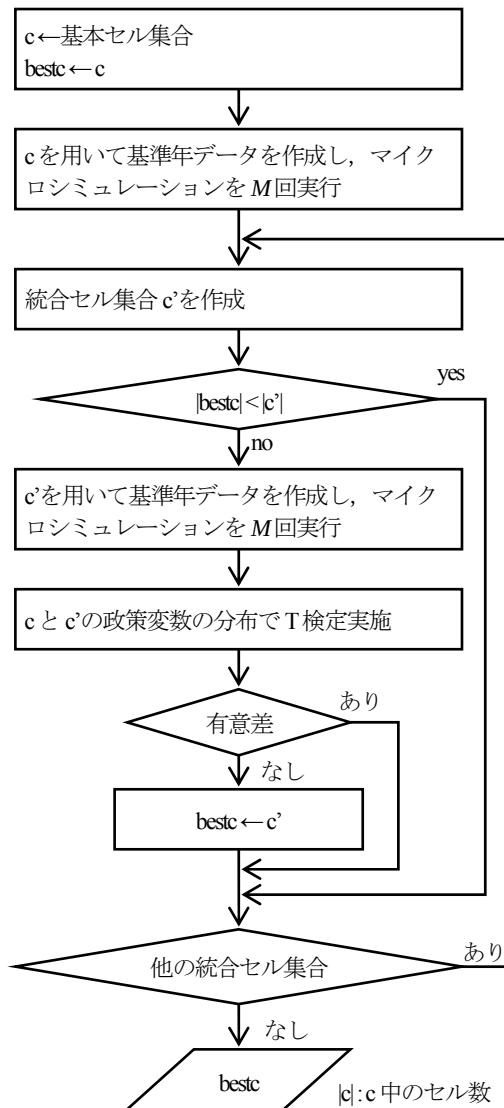


図-3 全探索によるセル統合手順

(6) 計算量

前節で述べた手順で最適な統合セル集合を探索する場合、すべてのカテゴリの組合せに関して統合セル集合を生成し、セル数と制約条件の充足を確認しなければならない。連続値属性の場合、可能なカテゴリの組合せは、統合データにおけるカテゴリが 5 カテゴリのとき 16, 10 カテゴリのとき 512, 20 カテゴリのとき 524,288 となる。連続値属性のカテゴリは隣り合うカテゴリとのみ結合されるが、カテゴリカル属性のカテゴリは結合対象のカテゴリに制約がないため、カテゴリの組合せは連続値属性より多くなる。例えば、統合データにおけるカテゴリが 5 カテゴリのとき 52, 10 カテゴリのとき 115,975, 20 カテゴリのとき 51,724,158,235,372 である。

統合セル集合の数は、すべての属性に関するカテゴリの組合せ数の積で算出されるので、通常のマイクロシミュレーションで使用するような属性数では、膨大な数になることが予想される。制約条件の充足を確認する際には、複数回のマイクロシミュレーションの実行と T 検

定が必要になるので、1 つの統合セル集合に関する処理にもある程度の時間を要する。実問題への適用を視野に入れると、実時間での探索を可能とする手法が必要不可欠であるといえる。

4. 最良統合セル集合の探索手法

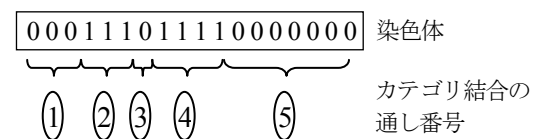
(1) 共生進化

共生進化に基づいて最適な統合セル集合を探索する手法を提案する。共生進化は、Moriarty らが提案した遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm; GA) の 1 手法である¹²⁾。共生進化の特徴は、部分解を個体とする集団と、部分解の組合せを個体とする全体解集団を保持し、両集団を並行して進化させる点にある。部分解集団では解の部分的評価を行ない、最適解に含まれ得る多様な部分解を生成する。部分解のより良い組合せを全体解集団で学習することで、1 集団を進化させる単純 GA よりも多様な解候補からの探索を行なうことができる。

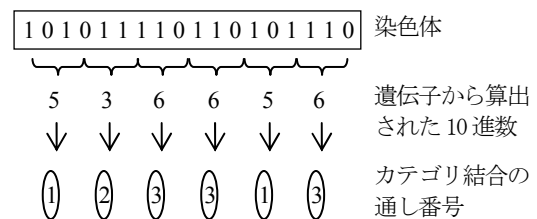
(2) 染色体設計

提案手法では、1つの属性に関するカテゴリ結合を部分解集団の個体（以下、部分解個体）として表現する。全体解集団の個体（以下、全体解個体）は L_w 組の部分解個体の組合せとし、1個体で L_w 属性からなる統合セル集合を表す。

部分解個体の染色体はビット列とする。属性が連続値の場合、隣り合う等しいビットによりカテゴリの結合状況を表示する。カテゴリカル属性の場合、等しい値によりカテゴリの結合状況を表示する。連続値属性とカテゴリカル属性に関する染色体からカテゴリ結合への変換例をそれぞれ図-4(a)と図-4(b)に示す。



(a) 連続値属性



(b) カテゴリカル属性

図-4 部分解の染色体の変換

全体解個体の遺伝子は部分解個体を参照するポインタであり、染色体は長さ L_w のポインタ列である。各ポインタにより1つの属性に関するカテゴリの組合せを表現する。 $L_w=2$ の場合の全体解個体の例を図-5に示す。

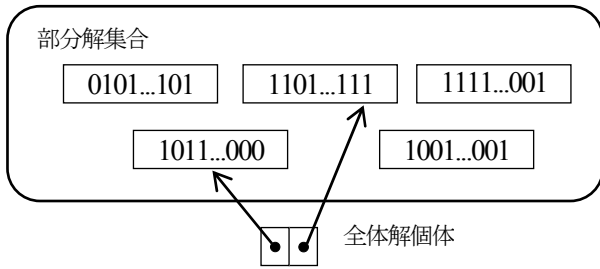


図-5 全体解集団の個体

(3) 適合度

全体解個体 I_w の適応度 $fit(I_w)$ は、式(1)で算出される。

$$fit(I_w) = \begin{cases} cel(I_w) \cdot 10000 + tvl(I_w) & \text{有意差なし} \\ \text{MAX_VALUE} & \text{有意差あり} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $cel(I_w)$ は I_w に基づく統合セル集合のセル数、 $tvl(I_w)$ はT検定で得られたT値を表す。適応度が小さいほど評価は高いものとする。T検定により基本セル集合の結果と有意差がなかった場合には、セル数がより少ないほど高く評価される。セル数が等しい場合は、T値が小さいほど評価は高い。

部分解個体は、評価の高い全体解個体から参照されているほど評価が高いと判断する。部分解個体 I_p の適応度 $fit(I_p)$ の定義を式(2)に示す。

$$fit(I_p) = \min_{I_w \rightarrow I_p} fit(I_w) \quad (2)$$

ここで、 $I_w \rightarrow I_p$ は全体解個体 I_w が I_p を参照していること、 $fit(I_w)$ は I_w の適応度を表す。

(3) 処理手順

両集団は一点交叉と突然変異により進化させる。部分解集団の世代交代では、Moriartyらが行なったニューラルネットワークの学習実験¹²⁾と同様に、上位半数の個体をそのまま次世代に残す。下位半数の個体は、上位四半数から選んだ2つの個体を親として1点交叉を行ない、生成された2つの子のいずれかと、2つの親のいずれかで置き換える。

全体解集団の世代交代モデルとしては、MGG (Minimal Generation Gap) モデル¹³⁾を採用する。MGGモデルは、局所解収束の回避と進化的停滞の抑制を意図して考案されたモデルである。

一世代の処理の流れを以下に示す。

Step 1 基準年データ作成、

1-1 基本セル集合からIPF法で基準年データを作成

1-2 マイクロシミュレーションをM回実行

Step 2 初期の部分解集団を生成

Step 3 初期の全体解集団を生成

Step 4 全体解集団の個体を評価

4-1 各個体から統合セル集合を作成

4-2 統合セル集合からIPF法で基準年データを作成

4-3 マイクロシミュレーションをM回実行

4-4 T検定を実施して適応度を算出

Step 5 部分解集団の個体を評価

Step 6 部分解集団を進化

Step 7 全体解集団を進化

Step 8 Step 4～7をG回繰り返す

Step 9 最良全体解を出力

5. 評価実験

提案手法の有用性を示すために、非常に単純なマイクロデータを用いて検証を行なった。

(1) 属性

連続値属性である年齢と、カテゴリカル属性である就業状態の2属性を扱う。すなわち、IPF法では2次元のクロス分類表が処理対象となる。年齢の最も細かいカテゴリは、0～9歳、10～14歳、15～19歳、…、85～89歳、90歳以上の18カテゴリである。就業状態の最も細かいカテゴリは、第1次産業、第2次産業、第3次産業、学生、主婦・その他の5カテゴリである。

(2) マイクロシミュレーションモデル

マイクロシミュレーションでは、基準年の個人データに対して、加齢、死亡、出生、就業状態の変化という4つのイベントを発生させ、5年後の個人データを生成する。シミュレーションの流れを図-6に示す。加齢以外のイベントでは、各イベントの推移確率に基づいてモンテカルロシミュレーションを実行する。死亡が発生した場合には個人データは削除され、出生が発生した場合には個人データが追加される。

(3) 政策変数

最適な統合セル集合を求める際の政策変数は発生交通量とする。発生交通量 TG は、対応する年齢と就業状態別の発生交通原単位に人口を乗じて算出される。算出式を式(3)に示す。ここで、 α_{ij} と N_{ij} はそれぞれ年齢 i 、就業状態 j の発生交通原単位と人口を表す。

$$TG = \sum_i \sum_j \alpha_{ij} N_{ij} \quad (3)$$

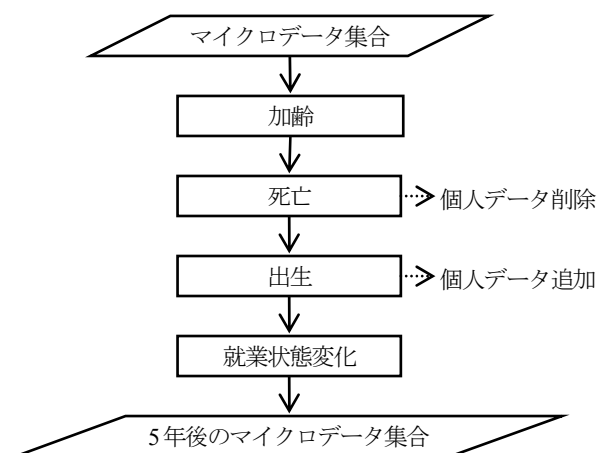


図-6 マイクロシミュレーションの手順

(4) データ

評価実験データとして、道央都市圏パーソントリップ調査データを使用した。102,739人の個人データのうち、5,000データを無作為に抽出し、クロス分類表のシード値とした。周辺分布には、年齢と就業状態のカテゴリごとに集計した値を設定した。

マイクロシミュレーションにおける死亡と出生の推移確率は、死亡と出生に関する統計データでの5年間の平均発生率をもとに算定した。就業状態の変化率は、全データにおける年齢別就業状態の変化から算定した。

発生交通原単位は、パーソントリップ調査で得られた交通量データから算定した。年齢と就業状態ごとの発生交通原単位を表-1に示す。

表-1 発生交通原単位

		就業状態				
		第一次産業	第二次産業	第三次産業	学生	主婦・その他
年 齢	0-9	0.0000	0.0000	0.0000	1.3314	0.0000
	10-14	0.0000	0.0000	0.0000	1.2484	0.0000
	15-19	1.0000	1.0263	1.0313	1.1039	0.3898
	20-24	0.5417	0.9881	1.0834	1.1686	0.6547
	25-29	0.5938	0.9874	1.1623	1.2256	0.9020
	30-34	0.6875	1.0687	1.2414	1.4118	1.1135
	35-39	0.7556	1.0299	1.2230	1.3158	1.1586
	40-44	1.1452	1.0982	1.2257	1.7500	1.1827
	45-49	0.8395	1.0557	1.1766	1.0000	1.0617
	50-54	0.5376	0.9573	1.1143	1.5000	0.9776
	55-59	0.6759	0.9680	1.0839	1.0000	0.9670
	60-64	0.6744	1.0147	1.0749	1.0000	1.0041
	65-69	0.5513	0.9585	1.0638	1.0000	0.9738
	70-74	0.3455	1.0000	0.9914	0.0000	0.8722
	75-79	0.3947	0.9286	0.9135	0.0000	0.7164
	80-84	0.3529	0.7500	0.7162	0.0000	0.5078
	85-89	1.0000	1.0000	0.6087	0.0000	0.3996
	>90	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000	0.2021

単位：トリップ 人・

(5) 設定条件

実験で用いられたパラメータを表-2に示す。Intel Xeon 2.5GHz CPU, 32GB RAM.のワークステーションにより、セル統合を10回実施した。

表-2 パラメータ

パラメータ	値
全体解集団の個体数	500
部分解集団の個体数	500
突然変異率 P_m	0.01
T検定における 率	0.05
マイクロシミュレーションの回数 M	10
最大世代数 G	500

(6) 結果

すべての 行において、就業状態は“主婦・その他”

以外の4つのカテゴリが1つに結合され、計2つのカテゴリで表現されるという結果が得られた。各産業に する人と学生には交通に関して同等の があり、主婦等とは異なることを意 する。

年齢カテゴリの結合状況を表-3に示す。また、得られたカテゴリ結合に基づくクロス分類表のセル数、T検定で得られたT値、統合セル集合における政策変数の平均と分、基本セル集合における政策変数の平均と分を 表-4に示す。

表-4より、実験No.1では最もセル数が少なく、T値が小さい統合セル集合が得られているため、最も良い結果であるといえる。ここで、表-3に示すように、実験No.1で得られた6つの年齢カテゴリをそれぞれA～Fと呼ぶことにする。カテゴリAに属する人 は、 , 小学生、中学生、高 生であり、 常的に単 で交通を利用する

会が少ない年齢 といえる。カテゴリBに属する人は、大学生と 手の社会人であり、ほとんどが である可能性が高い。通学・通 に加え、 を しむために 積 的に交通を利用する年齢 といえる。カテゴリCは、仕 と子供のために交通を利用する い 婦が多数を めると考えられる。カテゴリDに属する人 は、

よりも仕 で移動することが多い多 な社会人である。カテゴリEに属する人 は、 して を活動的に している年齢 であり、カテゴリFに属する人 は、あまり移動せずに家で 生を しんでいる世代と考えられる。

表-3 年齢カテゴリの組合せ

実験 No.	年齢カテゴリ																		
	0 - 9	10 - 14	15 - 19	20 - 24	25 - 29	30 - 34	35 - 39	40 - 44	45 - 49	50 - 54	55 - 59	60 - 64	65 - 69	70 - 74	75 - 79	80 - 84	85 - 89	90 -	
1	A			B			C	D				E					F		
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			

表-4 各実験結果のセル数・T値・平均・分

実験 No.	セル数	T 値	最適統合セル集合		基本セル集合	
			平均	分	平均	分
1	12	0.00001	80633.18	19935.55	80633.18	2927.17
2	12	0.02827	80646.60	5833.19	80647.52	4834.36
3	14	0.00000	80606.33	5730.79	80606.33	2391.77
4	14	0.00002	80619.00	6547.07	80619.00	8089.14
5	14	0.00002	80632.68	4592.51	80632.68	11669.11
6	14	0.00004	80632.69	11631.89	80632.68	11669.11
7	16	0.00000	80637.61	7331.42	80637.61	4301.23
8	16	0.00000	80634.69	5146.09	80634.69	2699.15
9	16	0.00001	80648.38	6871.71	80648.38	7299.12
10	18	0.00001	80665.76	7040.16	80665.76	4559.85

5. おわりに

本研究では、マイクロシミュレーションのセルベースデータ推定における可変属性セル問題に焦点を当て、最適な統合セル集合を探索する手法を提案した。本稿では、提案手法の有用性を示すために、2属性のみの個人データという単純な 例に適用した結果を報 した。しかし、提案手法では、多属性データにおける計算量 大の問題に対処するために共生進化を適用していることから、より多くの属性を持つデータにも適用可能である。

謝辞：本論文は、平成23～25年度 学研究 補 (基 研究 (B)、 題番号：23360228,研究 題 ： 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 りまとめたものである。ここに記して 意を表したい。

参考文献

- 1) Guo, J. Y., and Bhat, C. R. : Population Synthesis for Microsimulating Travel Behavior, *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2014, pp. 92-101, 2007.
- 2) Ryan, J., Maoh, H. and Kanaroglou, P. S. : Population Synthesis for Microsimulating Urban Residential Mobility,

the 89th TRB Meeting Compendium of Papers, DVD, Washington, D.C., 2010.

- 3) Auld, J., and Mohammadian, A. : Efficient Methodology for Generating Synthetic Populations with Multiple Control Levels, *the 89th TRB Meeting Compendium of Papers*, DVD, Washington, D.C., 2010.
- 4) Auld, J., Rashidi, T. H. and Mohammadian, A. : Evaluating Transportation Impacts of Forecast Demographic Scenarios Using Population Synthesis and Data Transferability, *the 89th TRB Meeting Compendium of Papers*, DVD, Washington, D.C., 2010.
- 5) 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, No. 4, pp. 427-444, 1940.
- 6) Beckman, R. J., Baggerly, K. A. and McKay, M. D. : Creating Synthetic Baseline Populations, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 30, No. 6, pp. 415-429, 1996.
- 7) Lee, B. H. Y., and Waddell, P. : Residential Mobility and Location Choice: Nested-Logit Model with Sampling of Alternatives, *the 89th TRB Meeting Compendium of Papers*, DVD, Washington, D.C., 2010.
- 8) 宮本和明, , 範 : 非集計行動分析に基づく都市圏 需要モデル, *土木学会論文集*, Vol. 365, No. 4, pp. 79-88, 1986.
- 9) Pritchard, D. R. and Miller, E. J. : Advances in Agent Population Synthesis and Application in an Integrated Land Use / Transportation Model, *the 88th TRB Meeting Compendium of Papers*, DVD, Washington, D.C., 2009.
- 10) Müller, K., and Axhausen, K. W. : Population Synthesis for Microsimulation: State of the Art, *the 90th TRB Meeting Compendium of Papers*, Web, Washington, D.C., 2011.
- 11) Viegas J. M., Martínez, L. M. and Silva, E. A. : Effects of the Modifiable Areal Unit Problem on the Delineation of Traffic Analysis Zones, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 36, No. 4, pp. 625-643, 2009.
- 12) Moriarty, D. E., and Miikkulainen, R. : Efficient Reinforcement Learning through Symbiotic Evolution, *Machine Learning*, Vol. 22, pp. 11-32, 1996.
- 13) Sato, H., Yamamura, M. and Kobayashi, S. : Minimal Generation Gap Model for GAs Considering Both Exploration and Exploitation, *Proc. of 4th International Conference on Soft Computing*, pp. 494-497, 1996.