

総合的属性からなる世帯マイクロデータ推計集合の適合度評価*

A Goodness-of-Fit Evaluation Method of Estimated Micro-Data Sets composed of Generalized Attributes*

大谷紀子**・杉木直***・宮本和明****

By Noriko OTANI**・Nao SUGIKI***・Kazuaki MIYAMOTO****

1. はじめに

マイクロシミュレーションは、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、欧米諸国の複数の研究グループによって都市モデルの開発への活用が進められている¹⁾²⁾。住宅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、各世帯には世帯主との関係および年齢等の各世帯構成員の属性と、世帯収入、自家用車の保有台数、居住地、住宅タイプ等の世帯全体に関わるものにとるまでの多くの属性が定義される。マイクロシミュレーションを実行するためには、原理的には、基準年における各属性値をすべての世帯に対して求める必要がある。しかし、国勢調査や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、わが国はもとより多くの国において禁止されている。従って、通常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追加的に個別世帯の属性情報を提供するサンプル調査を組み合わせ、個別世帯等の一般にエージェントと呼ばれる行動主体に対して複数の属性の組合せを設定したデータ（以下マイクロデータ）を作成する。マイクロデータの推定手法としては、世帯タイプをまず設定した上で各タイプに属する世帯数を推計する IPF 法や、モンテカルロ法により個々のエージェントのマイクロデータを作成する方法などが提案されている^{3)~10)}。

本研究グループでは、マイクロデータのより有効な推計方法の開発に取り組んできているが、その推計精度評価のために、マイクロデータ集合の適合度評価手法を開発してきている。これまでに、世帯の各構成員の世帯主との関係と年齢、性別に加え、その居住ゾーンと住居タイプを属性とするマイクロデータの評価方法を提案してきた^{11)~15)}。本稿では、新たに自動車保有台数と世帯所得

を属性として加えた一般的な世帯属性から構成されるマイクロデータの評価方法を提案することを目的としている。はじめに、マイクロデータの適合度評価に関する既存研究を改めて概観した上で、これまでの研究を踏まえて自動車保有台数と世帯所得を加えたマイクロデータの適合度を新たに定義する。適合度算出時の計算量はデータ数の階乗のオーダーで増加するため、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm, 以下 GA）の一手法である共生進化を適用することで実時間内での算出を実現する。まず、少数のエージェントを設定した単純なケースにおいて手法の性能を検証した後、道央都市圏パーソントリップ調査データより抽出された 4000 世帯のマイクロデータに適用し、構築された適合度評価手法の妥当性を検証する。

2. マイクロデータの適合度評価に関する既存研究

(1) クロスセクション表の適合度

マイクロデータの適合度に関しては、Pritchard らによる研究³⁾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、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いえない。

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、推定データ集合 \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)のように評価できる¹⁶⁾。値が小さいほど適合度が高いことを示す。

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

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、得られた値の平均によって全体の適合度が与えられる。以上のように属性が 3 つの場合には、計測に

* キーワード：マイクロシミュレーション，マイクロデータ，初期データ推計，適合度評価

** 正員，博士（情報理工学），東京都市大学環境情報学部情報メディア学科（〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西 3-1-1，TEL：045-910-2938，E-mail：otani@tcu.ac.jp）

*** 正員，修士（情報科学），（株）ドーコン総合計画部

**** フェロー，工博，東京都市大学環境情報学部

関する計算量の問題は生じない。

(2) 共生進化に基づく適合度算出

最適化問題の解法として広く利用されている GA は、生物の進化過程を模倣したアルゴリズムである。学習対象や形態に応じた様々な GA のモデルの 1 つとして、Moriarty らにより共生進化が提案されている¹⁷⁾⁻¹⁹⁾。共生進化では、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。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。全体解集団で部分解のより良い組合せを学習することで、1 集団を進化させる GA よりも多様な解候補からの探索が可能となる。帰納論理プログラミングや決定木生成への適用手法が提案されており、有用性が確認されている²⁰⁾⁻²²⁾。

本研究の先行研究として、世帯構成員の年齢、性別、世帯主との関係、住宅タイプ、居住ゾーンを属性とするマイクロデータの評価方法を提案している¹¹⁾⁻¹⁵⁾。まず、マイクロデータ間の距離を定義し、観測データ集合と推定データ集合の全エージェント間距離の総和の最小値を適合度とする。距離の総和は両集合のそれぞれのエージェントの組合せの数だけ存在する。エージェントの数が 20 程度以下の場合には総当たり法で最小値を求めることは容易である。しかし、計算量はエージェント数の階乗に比例して増加するため、一般的な都市モデルにおけるマイクロデータの規模を想定した場合、計算を実行することは現実的に不可能である。そこで、規模が大きい場合でも計算を可能とするために、共生進化に基づいて近似値を探索する手法を提案している。少数のエージェントを設定した単純なケースにおいて手法の性能を検証した後、4000 世帯のマイクロデータに適用し、構築された適合度評価手法の妥当性を確認している。

3. 適合度評価問題の定義

(1) 定義

観測データ集合により近い推定データ集合を決定するために、観測データ集合に対する推定データ集合の適合度を算出することを適合度評価問題と定義する。適合度評価問題では以下の事項を前提とする。

- 対象はエージェント集合であり、各エージェントは多変量の属性を持つ。本研究では、特定のゾーンまたは対象地域の世帯マイクロデータ集合である。
- 世帯属性は、まず、世帯構成員の属性と世帯全体の属性から構成される。世帯構成員の属性は各構成員の世帯主との関係という相対的質的属性と年齢等の連続的属性、性別の質的属性から構成される。世帯属性は、収入等の連続的属性と、自動車保有台数等の不連続属

性と、住居タイプ等の質的属性、さらに、居住ゾーンという空間的属性から構成される。以上の属性分類は、一般的な世帯マイクロデータの属性を包括していると考えられることから、本研究において、先に例示した属性項目をすべて含むマイクロデータに対して適合度評価方法を作成することは、一般的な世帯属性に対する方法論を作成することと同等と考えられる。従って、通常の都市モデルの適用範囲においては、その適用対象に応じて属性の追加あるいは削除も考えられるが、本研究で開発する方法論は十分に一般性を有するものと考えられる。

- 性別と世帯主との関係は次の 20 カテゴリで表現する。

本人・男	本人・女	妻	その他 1・男
息子 1	娘 1	父	その他 2・男
息子 2	娘 2	母	その他 1・女
息子 3	娘 3	息子の妻	その他 2・女
孫・男	孫・女	兄弟	姉妹
- 住宅タイプは、以下の 5 カテゴリで表現する。

持家一戸建	賃貸一戸建		
持家集合住宅	賃貸集合住宅	その他	
- 完全な情報を持つ観測データ集合が推定手法の妥当性検証のために入手可能である。
- 推定データは杉木ら⁴⁾⁻¹⁰⁾等のマイクロデータ推定手法により提供される。

(2) 表記

本稿では、先に述べた世帯の一般的属性の具体例として、世帯構成員の世帯主との関係、年齢、性別、住宅タイプ、居住ゾーン、自動車保有台数、世帯所得をから構成されるマイクロデータを扱う。観測データ集合 B と推定データ集合 E_j は、それぞれ式(2)および式(3)で表される。

$$B = \{ \{ \bar{a}_i, \bar{h}_i, r_i, c_i, m_i \} | 1 \leq i \leq N \} \quad (2)$$

$$\text{where } \bar{a}_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{i20}), \bar{h}_i = (h_{i1}, h_{i2})$$

$$E_j = \{ \{ \bar{a}_i^j, \bar{h}_i^j, r_i^j, c_i^j, m_i^j \} | 1 \leq i \leq N \} \quad (3)$$

$$\text{where } \bar{a}_i^j = (a_{i1}^j, a_{i2}^j, \dots, a_{i20}^j), \bar{h}_i^j = (h_{i1}^j, h_{i2}^j)$$

ここで、 N は観測データ数である。両集合における要素は 1 世帯分のマイクロデータであり、2 つのベクトル \bar{a}_i^j, \bar{h}_i^j (\bar{a}_i, \bar{h}_i) と 3 つのスカラー量 r_i^j (r_i), c_i^j (c_i), m_i^j (m_i) の集合である。 a_{ik} は観測データ集合における i 番目の世帯の k 番目のカテゴリに属する世帯構成員の年齢、 a_{ik}^j は j 番目の推定データ集合における i 番目の世帯の k 番目のカテゴリに属する世帯構成員の年齢を表す。当該カテゴリに属する世帯構成員がない場合、 a_{ik} と a_{ik}^j の値は 999 となる。 i を世帯番号と呼ぶ。

\bar{h}_i^j は i 番目の世帯の住宅タイプを表す。 h_{i1}^j の値が 0 のときは持家、1 のときは賃貸であることを意味し、 h_{i2}^j の値が 0 のときは一戸建、1 のときは集合住宅であることを意味する。その他の住宅タイプは $\bar{h}_i^j = (2, 2)$ で表される。 r_i^j 、 c_i^j 、 m_i^j はそれぞれ i 番目の世帯の居住ゾーン、自動車保有台数、世帯所得を表す。

例えば、45 歳の父親、42 歳の母親、15 歳の息子、12 歳の娘がゾーン No.3 の持家一戸建に住んでおり、2 台の自動車を保有して世帯所得が 500 万円の場合は $\{(45, 15, 999, 999, 42, 12, 999, \dots), (0, 0), 3, 2, 500\}$ と表される。

4. 適合度と適合度算出方法

(1) 適合度

推定データ集合 E_j の適合度 $Fit(E_j)$ は、5 種の距離の重みつき和の最小値で表す。定義を式(4) に示す。

$$Fit(E_j) = \min_{\sigma \in S_N} \left\{ \frac{\bar{w}_a}{N} \cdot \sum_{i=1}^N edis(\bar{a}_i, \bar{a}_{\sigma(i)}^j) + \frac{\bar{w}_h}{N} \cdot \sum_{i=1}^N mdis(\bar{h}_i, \bar{h}_{\sigma(i)}^j) + \frac{\bar{w}_r}{N} \cdot \sum_{i=1}^N tdis(r_i, r_{\sigma(i)}^j) + \frac{\bar{w}_c}{N} \cdot \sum_{i=1}^N ldis(c_i, c_{\sigma(i)}^j) + \frac{\bar{w}_m}{N} \cdot \sum_{i=1}^N ddis(m_i, m_{\sigma(i)}^j) \right\} \quad (4)$$

$$\text{where } w = w_a + w_h + w_r + w_c + w_m, \bar{w}_a = \frac{w_a}{w},$$

$$\bar{w}_h = \frac{w_h}{w}, \bar{w}_r = \frac{w_r}{w}, \bar{w}_c = \frac{w_c}{w}, \bar{w}_m = \frac{w_m}{w}$$

ここで、 S_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。 w_a 、 w_h 、 w_r 、 w_c 、 w_m はそれぞれ年齢・性別・世帯主との関係、住宅タイプ、居住ゾーン、自動車保有台数、世帯所得に対する重みである。

年齢・性別・世帯主との関係に関するデータ \bar{a}_i 、 $\bar{a}_{\sigma(i)}^j$ の距離 $edis(\bar{a}_i, \bar{a}_{\sigma(i)}^j)$ は、正規化されたユークリッド距離として、式(5)により算出する。計算時のオーバーフローと不在世帯構成員の過度の影響を回避するため、成分の差の二乗に上限値 D_{\max} を設ける。

$$edis(\bar{a}_i, \bar{a}_{\sigma(i)}^j) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{20} \min((a_{ik} - a_{\sigma(i)k}^j)^2, D_{\max})}{20 \cdot D_{\max}}} \quad (5)$$

住宅タイプに関するデータ \bar{h}_i 、 $\bar{h}_{\sigma(i)}^j$ の距離 $mdis(\bar{h}_i, \bar{h}_{\sigma(i)}^j)$ は、正規化されたマンハッタン距離として、式(6)により算出する。

$$mdis(\bar{h}_i, \bar{h}_{\sigma(i)}^j) = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^2 |h_{ik} - h_{\sigma(i)k}^j| \quad (6)$$

居住ゾーンに関するデータ r_i 、 $r_{\sigma(i)}^j$ の距離 $tdis(r_i, r_{\sigma(i)}^j)$ は、最長時間距離に対する 2 ゾーン間の時間距離の割合として、式(7)により算出する。分子はゾーン r_i とゾーン $r_{\sigma(i)}^j$ との間の時間距離であり、分母はゾーン間時間距離の最大値を表す。

$$tdis(r_i, r_{\sigma(i)}^j) = \frac{\text{time - distance } r_i - r_{\sigma(i)}^j}{\max_k (\text{time - distance } r_i - r_k^j)} \quad (7)$$

自動車保有台数に関するデータ c_i 、 $c_{\sigma(i)}^j$ の距離 $ldis(c_i, c_{\sigma(i)}^j)$ は、式(8)により算出する。

$$ldis(c_i, c_{\sigma(i)}^j) = \frac{\left| \log(c_i + 1) - \log(c_{\sigma(i)}^j + 1) \right|}{\max_k \log(c_k + 1)} \quad (8)$$

世帯所得に関するデータ m_i 、 $m_{\sigma(i)}^j$ の距離 $ddis(m_i, m_{\sigma(i)}^j)$ は、所得差の最大値に対する 2 世帯間の所得差の割合として、式(9)により算出する。

$$ddis(m_i, m_{\sigma(i)}^j) = \frac{\left| m_i - m_{\sigma(i)}^j \right|}{\max_k (|m_i - m_k^j|)} \quad (9)$$

(2) 適合度算出方法

式(4)による適合度計算は、 $N!$ 種類の全単射から、距離和が最小となる全単射を探索する問題である。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定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り、先に提案した共生進化に基づく手法が適用できる。部分解集団と全体解集団の並行進化により要素の対応づけを決定し、全体解集団の最良個体が表す適合度をデータ間距離和の最小値として出力する。

5. 適合度評価手法の検証

(1) 適合度の正確さと計算速度

$N = 14 \sim 18$ という小規模データ集合を用いて、提案手法の正確性と迅速性を検証する実験を行なった。各世帯構成員の在否および年齢をランダムに設定してデータ集合を生成し、枝刈りつき全探索と提案手法で適合度を算出した。枝刈りつき全探索とは、距離和を算出する過程で、確実に最小値をとらない組合せであることが判明した場合、以降の計算を行なわない全探索手法である。なお、本稿の実験に用いたワークステーションのスペックは Intel Xeon 2.5GHz CPU、32GB RAM であり、各パラメータには表-1 に示す値を使用した。

$N = 14 \sim 18$ のすべてのデータ集合において、全探索と同じ適合度、すなわち正しい適合度が提案手法で得られた。各実験で計算に要した時間を表-2 に示す。全探索

では N の増加とともに計算時間が急激に増加するが、提案手法では計算時間の増加は微小であることがわかる。

表-1 パラメータ

パラメータ名	値
全体解集団の個体数	1000
部分解集団の個体数	1000
突然変異確率	0.001
最大世代数	5000
部分解個体の染色体の長さ L_p	5
成分差の二乗の上限値 D_{max}	99999

表-2 計算時間

N	全探索 [秒]	提案手法 [秒]
14	0.19	3.92
15	0.83	4.24
16	2.391	4.45
17	18.22	4.81
18	121.47	4.92

(2) 実データによる評価

実データで得られる適合度を検証するための実験を行った。道央都市圏パーソントリップ調査で得られた19394世帯分のデータのうち、4000データを抽出して観測データ集合 B とした。また、 B の一部を加工して生成したデータ集合 $E_{a1} \sim E_{a3}$ 、 $E_{b1} \sim E_{b3}$ 、 $E_{c1} \sim E_{c3}$ 、 $E_{d1} \sim E_{d3}$ 、 $E_{e1} \sim E_{e3}$ 、 $E_{f1} \sim E_{f3}$ を推定データ集合とした。なお、自動車保有台数は3台以上をすべて3として扱っている。

データ集合 E_{aj} は、以下のように B の世帯構成員の年齢を変更して生成した。

- 1) B からランダムに $j \times 400$ 個のデータを選択する。
- 2) 選択したデータにおいて、年齢加工対象の世帯構成員をランダムに1名決定する。
- 3) 半数のデータにおいて、年齢加工対象世帯構成員の年齢から5を減ずる。
- 4) 残りの半数のデータにおいて、年齢加工対象世帯構成員の年齢に5を加える。

データ集合 E_{bj} は、以下のように B の世帯構成員のカテゴリを変更して生成した。

- 1) B からランダムに $j \times 400$ 個のデータを選択する。
- 2) 選択したデータのうち単身世帯のデータについて、世帯主の性別を変更する。
- 3) 選択したデータのうち非単身世帯のデータについて、年齢加工対象の世帯構成員を世帯主以外からランダムに1名決定し、世帯主以外の空き属性に変更する。

データ集合 E_{cj} は、以下のように B の住宅タイプを変更して生成した。

- 1) B からランダムに $j \times 400$ 個のデータを選択する。
- 2) はじめの4分の1のデータにおいて、 h_{i1}^j の0と1を反転する。
- 3) 次の4分の1のデータにおいて、 h_{i2}^j の0と1を反

転する。

- 4) 次の4分の1のデータにおいて、 h_{i1}^j と h_{i2}^j の0と1を反転する。
- 5) 最後の4分の1のデータにおいて、 h_{i1}^j と h_{i2}^j の0と1を2に変更し、2を0と1のいずれかに変更する。データ集合 E_{dj} は、以下のように B の居住ゾーンを変更して生成した。

- 1) B からランダムに $j \times 400$ 個のデータを選択する。
- 2) 居住ゾーンを別の居住ゾーンに変更する。

データ集合 E_{ej} は、以下のように B の自動車保有台数を変更して生成した。

- 1) B のうち、自動車保有台数が0でないデータからランダムに $j \times 200$ 個のデータを選択し、自動車保有台数から1を減ずる。
- 2) B のうち、自動車保有台数が3台以上でなく、1)で選択しなかったデータからランダムに $j \times 200$ 個のデータを選択し、自動車保有台数に1を加える。

データ集合 E_{fj} は、以下のように B の世帯所得を変更して生成した。

- 1) B からランダムに $j \times 400$ 個のデータを選択する。
- 2) 半数のデータにおいて世帯所得を0.8倍する。
- 3) 残りの半数のデータにおいて世帯所得を1.2倍する。

上記6つの手順で $j = 1 \sim 3$ としてそれぞれ3つずつデータ集合を生成した。 j が大きいほど観測データ集合からの変更割合が高いデータ集合となる。

各推定データ集合に関して、 w_a 、 w_b 、 w_r 、 w_c 、 w_m をそれぞれ1として、提案手法による適合度計算を5回ずつ繰り返したときの適合度の平均と標準偏差を表-3～表-8に示す。この6表より、観測データからの変更割合が高くなるほど、高い適合度が算出されていることがわかる。また、その標準偏差は適合度指標値より2～3桁小さいことから、適合度指標としての信頼性が確保されていることがわかる。この4000世帯における計算時間は820秒程度である。

表-3 年齢変更データにおける適合度

データ	平均	標準偏差
E_{a1}	0.2235	0.0012
E_{a2}	0.2248	0.0010
E_{a3}	0.2249	0.0010

表-4 構成員カテゴリ変更データにおける適合度

データ	平均	標準偏差
E_{b1}	0.2445	0.0004
E_{b2}	0.2484	0.0005
E_{b3}	0.2502	0.0011

表-5 住宅タイプ変更データにおける適合度

データ	平均	標準偏差
E_{c1}	0.2719	0.0003
E_{c2}	0.2758	0.0005
E_{c3}	0.2798	0.0002

表一6 居住ゾーン変更データにおける適合度

データ	平均	標準偏差
E_{d1}	0.2628	0.0002
E_{d2}	0.2629	0.0004
E_{d3}	0.2639	0.0003

表一7 自動車保有台数変更データにおける適合度

データ	平均	標準偏差
E_{e1}	0.1063	0.0153
E_{e2}	0.1211	0.0138
E_{e3}	0.1258	0.0088

表一8 世帯所得変更データにおける適合度

データ	平均	標準偏差
E_{f1}	0.1097	0.0078
E_{f2}	0.1173	0.0040
E_{f3}	0.1182	0.0118

6. おわりに

本研究では、一般的な世帯属性を考慮し、その具体的な例として、世帯構成員の世帯主との関係、年齢、性別、住宅タイプ、居住ゾーン、自動車保有台数と世帯所得から構成されるマイクロデータの適合度算出手法を提案した。本研究で開発した手法は、都市マイクロシミュレーションにおいて対象となるマイクロデータに対して一般的に適用可能なものといえる。

本研究で開発したマイクロデータ集合間の適合度評価は次の視点から重要である。すなわち、この評価は、マイクロデータ推計手法の段階的な開発において、改良の度合を客観的に判断するための資料を提供するものである。なお、この場合は、開発用に既知のマイクロデータが用意されていることが前提である。そして、このように開発されたマイクロデータ作成手法はその有効性がある程度確認されていることとなる。そのため、実際の都市圏への適用に際して、その手法で求められたマイクロデータの信頼性に対して根拠を与えるものとなる。これは、複数の異なる推計手法が存在した場合の手法の選択においても同様に考えられる。

さらに、より広範に考えると、本計算手法は都市モデリング以外の他の研究分野にも応用可能なものであると考えられる。

本論文は、平成 20~21 年度科学研究費補助金（基盤研究 (B)、課題番号：20360232、研究課題名：詳細属性情報を含む世帯の空間分布予測のための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, CD-ROM, 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 年度~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) Pritchard, D. R. and Miller, E. J.: Advances in agent population synthesis and application in an integrated land use / transportation model, Compendium of the 88th Transportation Research Board Annual Meeting, DVD, 2009.

4) 杉木直, 宮本和明, Varameth VICHENSAN: 土地利用マイクロシミュレーションにおける初期マイクロ世帯データの推定手法, 第 39 回土木計画学研究発表会論文集, CD-ROM, 2009.

5) Miyamoto, K. and Sugiki, N.: An estimation method of household micro-data for the base year in land-use micro simulation, Proc. of CUPUM'09, CD-ROM, 2009.

6) 杉木直, 宮本和明, 大谷紀子, Varameth VICHENSAN: 質的属性を含む初期マイクロ世帯データの推定手法, 第 40 回土木計画学研究発表会論文集, CD-ROM, 2009.

7) Miyamoto, K., Sugiki, N., Otani, N. and Vichiensan, V.: Agent-based estimation method of household microdata for base year in land use microsimulation, Compendium of the 89th Transportation Research Board Annual Meeting, DVD, 2010.

8) 杉木直, 宮本和明, 大谷紀子, Varameth VICHENSAN: 居住属性を含む初期マイクロ世帯データの推定手法, 第 41 回土木計画学研究発表会論文集, CD-ROM, 2010.

9) 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, Proc. of 12th WCTR'10, USB, 2010.

10) 杉木直, 宮本和明, 大谷紀子, Varameth VICHENSAN: 総合的属性からなる世帯マイクロデータの推計方法, 第 42 回土木計画学研究発表会論文集, CD-ROM, 2010.

11) 大谷紀子, 杉木直, 宮本和明: 土地マイクロシミュレーションにおける観測マイクロデータ集合と推定集合の適合度評価, 第 39 回土木計画学研究発表会論文集, CD-ROM, 2009.

12) Otani, N., Miyamoto, K. and Sugiki, N.: Goodness-of-fit evaluation method between observed and estimated sets of micro-data in land-use micro-simulation, Proc. of CUPUM'09, CD-ROM, 2009.

13) 大谷紀子, 杉木直, 宮本和明: 土地利用マイクロシミュレーションにおける質的属性を含むマイクロデータの適合度評価, 第 40 回土木計画学研究発表会論文集, CD-ROM, 2009.

14) 大谷紀子, 杉木直, 宮本和明: 居住情報を含む世帯マイクロデータの推定集合の適合度評価, 第 41 回土木計画学研究発表会論文集, CD-ROM, 2010.

- 15) Otani, N., Sugiki, N. and Miyamoto, K.: Goodness-of-fit evaluation method between two sets of household micro-data for land-use microsimulation models, Proc. of 12th WCTR'10, USB, 2010.
- 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) Moriarty, D. E. and Miikkulainen, R.: Efficient learning from delayed rewards through symbiotic evolution, Proc. of 12th International Conference on Machine Learning, pp.396-404, 1995.
- 18) Moriarty, D. E. and Miikkulainen, R.: Efficient reinforcement learning through symbiotic evolution, Machine Learning, Vol.22, pp.11-32, 1996.
- 19) Moriarty, D. E. and Miikkulainen, R.: Hierarchical evolution of neural networks, Proc. of IEEE World Congress on Computational Intelligence, pp.428-433, 1998.
- 20) 大谷紀子, 大和田勇人: 共生進化に基づく帰納論理プログラミングの予測精度の向上, 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.4, pp.431-438, 2002.
- 21) 大谷紀子, 志村正道: 共生進化に基づく簡素な決定木の生成, 人工知能学会論文誌, Vol.19, No.5, pp.399-404, 2004.
- 22) 大谷紀子, 貝原巳樹雄, 志村正道: ポリマー判別のための2段階判別決定木, 人工知能学会論文誌, Vol.21, No.3, pp.295-300, 2006.