

都市マイクロシミュレーションに基づく 課題の抽出と政策立案

大谷 紀子¹・杉木 直²・宮本 和明³

¹正会員 東京都大学准教授 メディア情報学部 (〒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正会員 東京都大学准教授 都市生活学部 (〒158-8586 東京都世田谷区等々力8-9-18)
E-mail: miyamoto@tcu.ac.jp

都市マイクロシミュレーションモデルによるシミュレーションアウトプットには個々の世帯の状況とその分布、交通状況、そしてアクティビティにわたる膨大な情報が含まれている。この情報は一つのビッグデータであり、それを活用した政策課題の抽出には大きな潜在的な発展可能性がある。また、マイクロシミュレーションは同様の政策手段条件でも、複数の試行に対して多様な結果をもたらすことが特徴である。マイクロシミュレーションモデルの開発が世界的に盛んである一方で、これらのことに対して正面から取り組んでいる研究はほとんどない。本研究では、マイクロシミュレーションがもたらすビッグデータからデータマイニングによる政策課題の抽出方法に関する基本的な枠組みとアルゴリズムと、確率的に変動するシミュレーション結果に基づく合理的な政策手段の選定方法に関する基本的な方法論を提案するものである。

Key Words : *Urban Microsimulation, Policy Measures, Target Segmentation, Decision Tree*

1. はじめに

都市モデル分野においては国際的にはマイクロシミュレーションが主流となりつつある。本稿ではその中でも適用が多い、世帯の属性とその居住地および住宅タイプの変化をシミュレーションするモデルを主な対象とする。世帯マイクロシミュレーションでは、本稿でマイクロデータと呼ぶ、個々の世帯の属性状況とその分布、交通状況、そしてアクティビティにわたる膨大な情報を対象にしている。

それらの情報は、従来型の政策手段代替案を設定して将来予測を行うような適用においては、公共サービスの需要予測に用いることができる。詳細な情報であることから、従来のゾーン単位の集計値に基づくメゾスケールのシミュレーションよりは、介護や教育サービス等の多彩な公共サービスに対する需要予測も可能となる。

一方、本研究では、マイクロシミュレーションの特色を生かしての新しい適用を提案する。まず、マイクロシミュレーションに用いる個々の世帯の詳細

なマイクロデータとそれに基づくシミュレーションを政策立案とその実施手段の選択過程に活用することである。すなわち、詳細な属性を有する世帯が予測されることから、マーケティングの視点からそれらをセグメント分割し、効果的な政策手段をそれぞれのセグメントに対して用意する考え方である。これは医学分野におけるゲノム解析に基づくオーダーメイド医療に対応する考え方ということもできる。また、マイクロシミュレーションから得られる情報は一つのビッグデータであり、それを活用した政策課題の抽出にも大きな潜在的な発展可能性がある。さらに、マイクロシミュレーションは同様の政策手段の条件のもとでも、複数の試行に対して多様な結果をもたらすことが特徴である。これは政策手段のいわばリスク分析を可能にするとも考えられる。

このような可能性がマイクロシミュレーションにはあると考えられるが、マイクロシミュレーションモデルの開発が世界的に盛んであるにもかかわらず、その活用方法に関して正面から取り組んでいる研究は次章に示すようにほとんどない。

そこで、本研究では、このような適用方法に関する全体的な枠組みを構築し、個々の具体的な適用方法を提案することを目的としている。本稿では、この全体的な枠組みの構築と、その応用の一つとして、マーケティングの視点からの世帯セグメンテーションとその適用に関して報告するものである。

2. マイクロシミュレーションの応用事例

(1) 応用事例の整理対象

マイクロシミュレーションを用いた土地利用交通モデルの開発は、欧米諸国を中心に活発な取り組みがなされており、政策評価等への活用も数多く見られる。ここでは、代表的なマイクロシミュレーションモデルとして、以下の5つのモデルを取り上げ、特徴と政策評価への応用状況を整理する。

- UrbanSim^{1) 2)} : Waddellらによって米国において開発が行われている、世帯および企業の立地選択に関するマイクロシミュレーションモデル。
- TLUMIP2(2nd Generation Oregon Statewide Model)³⁾

4) : J.D. Hunt, J.E. Abrahamらを中心とする研究グループにより、米国オレゴン交通・土地利用モデル統合計画において取り組まれている経済・交通・土地利用に関する総合モデリングプロジェクト。

- ILUTE⁵⁾ : TRBのIntegrated Transportation and Land Use Joint SubcommitteeのChairであるEric J. Millerを中心とし、複数のカナダの大学(Toronto大学等)による研究グループにより開発が進められている土地利用・交通マイクロシミュレーションモデル。フルマイクロシミュレーションシステムの開発を目指している。
- DELTA^{6) 7)} : 英国ケンブリッジのDavid Simmonds コンサルタントによる土地利用/経済モデルパッケージ。世帯・人口動態および立地選択に関するマイクロシミュレーションの適用が進められている。
- IRPUD^{8) 9)} : M. Wegenerによるドイツのドルトムント地域を対象とした経済・交通・立地を対象とした総合モデル。居住立地にマイクロシミュレーションを適用している。

表-1 既存マイクロシミュレーションモデルの政策評価への活用状況

モデル名	主な適用地域	適用内容・評価対象施策
UrbanSim	ホノルル, ユージーン-スプリングフィールド, ソルトレイクシティ, ヒューストン, エルパソ, シアトル, サンフランシスコ, ワシウタノー郡, セントクレア(米), アムステルダム(蘭), パリ(仏), チューリッヒ(スイス)等	<ul style="list-style-type: none"> •土地利用計画と交通計画の整合性 •総合計画と都市成長境界線の整合性 •都市周辺における開発行為の最小化 •建設及び再開発によるコンパクト化, 混合土地利用の推進 •交通需要に対する土地利用代替案の評価 •大都市圏における駐車場供給の限界 •マルチモーダルによるアクセシビリティ, アクセス, 需要及び混雑マネジメント
TRUMIP2	オレゴン州, オハイオ州(米)等	<ul style="list-style-type: none"> •長期交通計画の戦略シナリオ検討 •大規模交通施設整備事業(高速道路)の事前評価 •主要計画バイパスの沿道地域の経済・環境評価 •橋梁再構築調査(掛け替え財源等)
ILUTE	グレートトロント地域	<ul style="list-style-type: none"> •土地利用計画の評価 •温室効果ガスの排出に対する, 土地利用施策および交通政策の影響の推定
DELTA	グレートマンチェスター, 南西ヨークシャー, エディンバラ, 中央スコットランド, ストラスクライド州, ダービー, ハーロー, 南エセックス(英)等	<ul style="list-style-type: none"> •交通施設整備による影響 •鉄道再開による人口, 雇用への影響検討 •複数の交通施策によるアクセシビリティの向上評価 •空港周辺の大規模オフィスブロックの開発による交通, 雇用機会創出の分析 •地方計画策定における住宅供給, 雇用創出, 交通状況変化による影響検討 •地域交通戦略の策定 •土地利用計画に関する代替案の検証
IRPUD	ドルトムント, ノルトライン・ヴェストファーレン州(独)	<ul style="list-style-type: none"> •交通インフラ政策(道路, 公共交通)の評価 •交通需要管理(速度制限, ロードプライシング, 運賃等)の評価 •エネルギーの不足(燃料価格の上昇, 代替燃料, 代替車両)の影響評価 •土地利用政策(コンパクトシティ, 一極集中回避のための開発)の評価 •土地利用と交通政策の統合

(2) 対象マイクロシミュレーションモデルの特徴

居住立地に関しては、IRPUDの世帯・雇用動態を除く全ての段階でマイクロシミュレーションの適用がなされている。一方、産業立地に関してはTLUMIP2, DELTA, IRPUDではロジットモデルを用いた配分により算定されており、居住立地と産業立地で立地選択のモデリング手法が異なっている。

UrbanSimおよびILUTEは、ともに居住立地・産業立地に関するフルマイクロシミュレーションとなっているが、前者が世帯および従業者ベースの属性変化、立地選択を簡易に表現しているのに対し、後者は世帯構成員や従業者の変化をシミュレートした上での世帯および企業の属性変化、立地選択が表現されている。

土地供給についてはUrbanSim, TLUMIP2, ILUTEでは敷地またはグリッドセルベースのマイクロシミュレーションが採用されているのに対し、DELTA, IRPUDではゾーン単位で集計的な供給量が算定される。

以上のように、一概にマイクロシミュレーションモデルといっても、それらにおけるマイクロシミュレーションの適用範囲はモデルによって様々であり、シミュレーションアウトプットに含まれる情報の多様性も異なる点に留意が必要である。

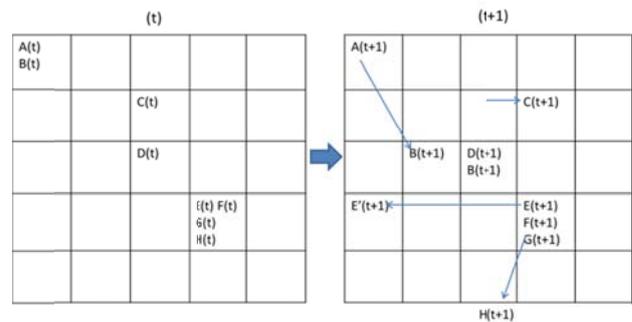
(3) 政策評価への活用状況

5つのモデルについて、主な適用地域と、適用内容・評価対象施策を表-1に示す。

適用施策の内容としては、交通に関する個別事業の評価、特に土地利用・雇用等の経済・環境面における評価の事例が多いが、総合的な政策検討やビジョン検討などにも活用されている。また、都市計画の策定、および土地利用と交通の総合的な施策の策定にも適用がなされている。

これらの応用事例におけるマイクロシミュレーションの活用の利点は、複雑な活動主体の相互作用を記述することにより、複合的な政策の評価を可能としている点、また多様な属性を考慮した分析により、対象を絞ったアウトプットや評価指標の作成が可能である点などが挙げられる。

しかしながら、既存のこれらの適用事例においても、マイクロシミュレーションが本質的に有する膨大なアクティビティに関する情報を活用するような分析はなされておらず、データマイニングによる潜在的な政策課題の抽出方法については検討の余地が残されている。



A(t): 世帯Aの時点 t における属性(世帯構成、年齢、収入、自動車保有台数等)と立地

図-1 世帯マイクロシミュレーションの概念図

3. マイクロシミュレーションの出力と特色

(1) マイクロシミュレーションの出力

図-1に世帯マイクロシミュレーションの概念図を示す。

世帯マイクロシミュレーションにおいては、個々の世帯の属性および住宅の立地点とタイプの時間変化が表現される。図-1では、世帯B, Cが対象地域内で転居し、Hは地域外に転出している。世帯Eからは子供が独立することを表現している。その他の世帯の立地点は変わらないが、時間経過に伴い各世帯の構成員の年齢は加齢し、所得や職業あるいは自動車保有台数等の属性も確率的に変化している。

図-1に示す変化は一つのシミュレーションケースに過ぎない。同じ政策手段の組み合わせのもとでも、シミュレーションの実行ごとに異なる変化がもたらされる。年齢等を除き、ほとんどの要素は確率的に変化するようにシミュレーションが実行される。

(2) 出力の特色

従来型のゾーン単位の集計量を取り扱う都市モデルは、行動モデルに非集計モデルを用いるとしても基本的にはゾーンごとの均衡に基づいて確定的な結果を出力する。まず、均衡を表現するためには、世帯を一律、あるいは、少数の世帯グループとして取り扱わざるをえない。そのため、政策手段も暗示的には世帯一般に対するものとして取り扱われる。また、シミュレーション結果は唯一解であり、取り扱いが簡単という点はあるが、現実の不確実性との乖離が大きい。

一方、マイクロシミュレーションでは、個々の世帯の詳細な属性までも表現することから、例えば、子供を持つ若い世帯と老人の独居世帯等を対象とすることができる。この例が示すように、両者の住宅

立地や交通行動をはじめ、求める公共サービスも明らかに異なる。マイクロシミュレーションで取り扱うマイクロデータは政策立案およびその手段の選択を効率化する情報を含んでいると言える。

また、シミュレーション結果の分散は政策手段がもたらす効果の分散を示すことができる。従来の均衡型をはじめとする確定予測型のモデルでは原理的に取り扱えない対象である。これは政策手段がもたらす効果・影響のリスク分析に応用が可能である。

4. マイクロシミュレーション出力に基づく政策評価

(1) 政策と政策手段

ここではまず、政策と政策手段について改めて定義しておこう。本稿で対象とする都市政策とは、概念的な実現目標であり、例えば、宮城県仙塩広域都市計画基本方針¹⁰⁾では、「多核連携集約型都市圏構造」、富山市都市マスタープラン¹¹⁾では「公共交通を軸としたコンパクトなまちづくり」等である。前者においては、さらに、「『拡大基調型』市街地形成から『集約市街地』形成へ転換」と「『土地利用開発優先型』から『交通計画・土地利用計画一体型』市街地形成へ転換」が掲げられており、これらの方向性を示すものを政策として取り扱う。

一方、政策手段は上記に掲げた政策を実現するための具体的な施策である。宮城県ではその政策実現の手段として、主に都市計画区域周辺部分の区域区分の見直しを行い、都市圏中心や地域中心においては高密度利用を促進している。富山市では公共交通の整備の他、まちなか居住補助金制度等を実施している。

(2) 政策立案

政策立案に際しては中長期的な都市の将来予測が不可欠である。現状の単なる延長線上だけではスコープが限定的であり、場合によっては効率的でない政策に結びつく可能性がある。合理的に求められる変化を含めた将来予測に基づいた中長期的な課題を抽出し、それに対しての立案が効率的な政策につながる。そのためには都市圏全域はもちろん各地区別の課題を点検する必要がある。その際、各地区での世帯状況は必須の項目となる。マイクロシミュレーションから出力されるマイクロデータはそれに対して的確な情報を提供するものである。

(3) 政策手段の選択

従来型の都市モデルの適用をそのまま延長した適用として、例えば以下のような例があげられる。

- ・ シビルミニマムの未達成世帯の状況を判断：郊外の高齢者のみ世帯の分布状況
- ・ 公共サービス水準が改善される世帯状況：目標水準を達成する世帯数と分布状況
- ・ 公共サービスの地区別需要予測：保育園やサービスに対する需要予測

前2者の場合は予測指標の比較を通して政策手段の選択を行うことができる。3番目の対象は異なるが都市モデルの従来型の適用例の延長である。

一方、通常の商品販売戦略のためには有効なマーケティングが不可欠である。政策手段の選択においても適切なマーケティングに基づく戦略がなければ効率的な実施ができない。従来の政策手段の選択においてはこの視点がほとんど欠落していたと言えよう。これはマーケティングのアナロジーでもあるが、ゲノム医療において患者の遺伝子解析に基づいて実施されようとしているオーダーメイド医療と類似の発想と言うこともできる。

(4) 政策手段対象世帯の抽出

世帯をマーケティングの視点からセグメントに分割し、ターゲットセグメントを選定、それに対しての政策手段を選択するには次の段階が考えられる。

まず、マイクロシミュレーションモデル構築においてはその行動モデルの構築と共に初期マイクロデータを作成するためのサンプル調査が不可欠である。このアンケート調査結果から適切なデータマイニング手法を用いセグメンテーションを行う。

さらに、マイクロシミュレーションモデルが構築されれば、シミュレーション結果をもとに、政策目標との比較において個々の世帯をセグメント分割し、ターゲットセグメントとそれに対する政策手段を検討することが可能となる。この場合、マイクロシミュレーションから生み出されるデータは人工のビッグデータであり、その中から効率的なマイニングにより必要情報を抽出することが必要となる。

5. 「交通軸上の集約」政策における適用

(1) 対象政策

本研究を含む一連の研究では富山市を対象地域と

している。そのため、対象政策も「公共交通を軸としたコンパクトなまちづくり」の実現と位置づける。

マーケティングの視点からは、対象とする商品は「望ましい住み替え」であり、そのために、「購買の可能性がある世帯」を抽出し、「その世帯セグメント別の購買可能性が高まる政策手段」を選択すると表現することができる。

(2) 政策視点からのセグメント分割

ここでは簡単のため、政策視点からのターゲットセグメントの抽出について以下のように考える。なお、このセグメント抽出はあくまでもこのようなアプローチの実行可能性を検討するために仮想的に設定したものであり、富山市の判断とは全く関係がないことを断っておく。

現状立地においては、駅勢圏内に立地している世帯と駅勢圏外に立地している世帯としてセグメント分割ができる。

住み替え行動から見ると、図-2に示すように、駅勢圏内外の移動によりセグメント分割ができる。

これらのセグメントをさらに世帯属性に即して分割することにより、それぞれのセグメントがターゲットになる可能性、さらにはそれに対する政策手段の選択を検討する。

(3) アンケート調査に基づく世帯の抽出

先にも述べたとおり、本研究を含む一連の研究では富山市を対象地域としている。本研究ではその一環として実施したアンケート調査¹²⁾から得られた世帯単位の個表データに対して、次章でデータマイニングの手法を用いて世帯のターゲットセグメント抽出を試行する。

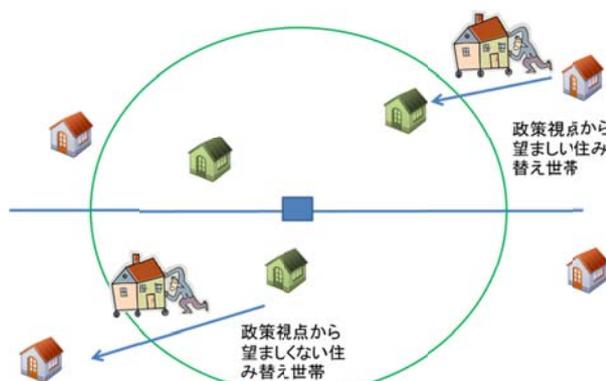


図-2 住み替え行動からの世帯セグメント分割

6. 政策手段対象世帯抽出のためのデータマイニング

(1) データマイニング手法

データマイニングの手法としては、統計的手法のほか、決定木や相関ルール、ニューラルネットワーク、サポートベクターマシンなどの機械学習技術が挙げられる。効果的なデータマイニングを実施するためには、データの形式や構造、目的に応じて、適切な手法を選択する必要がある。

本研究におけるデータマイニングでは、マイクロシミュレーションで得られた個々の世帯の詳細な属性データから、政策手段の対象となる世帯の特徴を抽出することを目的としている。すなわち、政策手段の対象となる世帯と対象とならない世帯を分類するための規則を生成することが目的であるといえる。前章で述べた富山市の「交通軸上の集約」政策に対しては、「望ましい住み替え」を行なう世帯と行わない世帯の特徴の相違を明確化することが重要である。得られた特徴に基づいて政策を検討することを勘案すると、ニューラルネットワークのように処理過程がブラックボックスである手法ではなく、分類の基準が明確に表現される決定木のような分類手法が適している。

(2) 決定木

決定木とは、分類規則の木構造による表現技法である。分類対象となる事例は、複数の属性と各属性に相当する属性値、および事例が属するクラスとなり、決定木は属するクラスが既知の事例を用いて生成される。

決定木の非終端ノードには属性、アークのラベルには属性値に関する条件、終端ノードには分類結果となるクラスが割り当てられる。1つの非終端ノードと、その下に結合しているアークの組によって1つの分類条件を表現する。事例の各属性値に従って根ノードから終端ノードまで決定木をたどることで、事例の属するクラスが判定される。根ノードから終端ノードまでの経路が1つの分類規則を表し、非終端ノードとアークによる分類条件の連言が前件、終端ノードが後件となる。

降水の分類規則を表した決定木の例を図-3に示す。「状態」「直径」「電」の順でノードをたどる経路が、「降水の状態が氷粒であり、かつ直径が5mm未満であれば電である」という分類規則を表している。

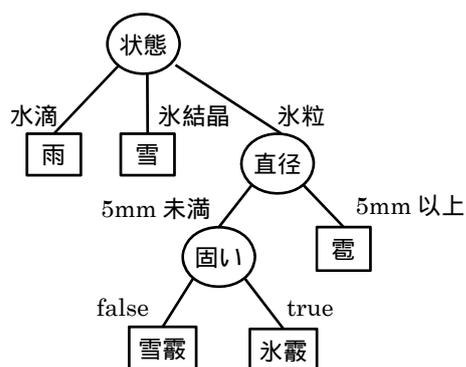


図-3 決定木の例

(3) 決定木生成手法

決定木を生成する際には、事例をできるだけ正確に分類できるように、木の形状および各ノードとアーケラベルへの値の割当てを決定する。これまでに決定木生成に関するさまざまなアルゴリズムが提案されており、代表的なシステムとしてはCART¹³⁾、ID3¹⁴⁾、C4.5¹⁵⁾などが挙げられる。これらのシステムでは、分類誤り率による枝刈りやブースティングアルゴリズム等の利用により、未知事例分類において高い正解率を得ている。しかし、正解率の高い決定木は複雑でノード数が多いという傾向が一般に知られている。ノード数は決定木の表す分類規則の解釈の容易さを大きく左右する。

進化計算アルゴリズムの一種である共生進化を用いて決定木を生成する手法が提案されており、C4.5よりも正解率が高く、簡素な決定木が生成できることが示されている¹⁶⁾。本研究では、本手法に基づき決定木を生成する。

(4) アンケート調査に基づく決定木

富山市を対象地域として実施したアンケート調査では、各世帯の過去の転居履歴が得られている。最寄駅からの距離が2km以内のゾーンを駅勢圏内、2km以上のゾーンを駅勢圏外と定義して、以下の5つのクラスを設定する。

- クラスA: 駅勢圏内から駅勢圏内への転居
- クラスB: 駅勢圏内から駅勢圏外への転居
- クラスC: 駅勢圏外から駅勢圏内への転居
- クラスD: 駅勢圏外から駅勢圏外への転居
- クラスE: 転居なし

ここで、クラスBが「望ましくない住み替え」、クラスCが「望ましい住み替え」である。アンケート調査で得られた5089世帯のデータのうち、過去に富山市内から富山市内への転居の経験がある世帯、

および転居経験のない世帯のデータで、重大な欠損値がない11733世帯のデータを抽出し、上記の5クラスに分類する決定木を生成する。「望ましい住み替え」と「望ましくない住み替え」に加えて、転居しない世帯や、駅勢圏内外が変化しない転居をする世帯に関して特徴を抽出することで、政策選択に関してさまざまな検討が可能となる。

8. おわりに

本稿では、従来の都市モデル分野ではほとんど検討されていなかった新しい適用方法として、マーケティング手法を応用したターゲット世帯の抽出とそれに対する政策手段の選択というアプローチを提案した。また、そのためのデータマイニングに関しても試行している。

現時点では世帯マイクロシミュレーションモデルを平行して構築していることから、マイクロシミュレーションに基づく適用ができる段階にはない。そのため、アンケート調査で得られたマイクロデータに基づいて試行した。本稿の段階では、アンケートデータ数の制約から必ずしも十分な結果が得られたとは言えないが、基本的な方法論に関しては確認出来たと考えられる。

今後、マイクロシミュレーションモデルの構築と合わせ、本稿で提案したアプローチを実行可能なものにしていく予定である。

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) Waddell, P., Boring A., Noth, A., Freier N., Becke M. and Ulfarsson G.: Microsimulation of Urban Development and Location Choices: Design and Implementation of UrbanSim. Networks and Spatial Economics, Vol.3, No.1, pp.43-67, 2003.
- 2) Waddell, P. and Ulfarsson G.: Introduction to Urban Simulation: Design and Development of Operational Models. In Handbook in Transport, Vol.5, pp.203-236, 2004.
- 3) Hunt, J.D., Donnelly, R., Abraham, J.E., Batten, C., Freedman J., Hicks, J., Costinett, P.J. and Upton, W.J.: Design of a Statewide Land Use Transport Interaction Model for Oregon, Proceedings of 9th World Conference

- on Transport Research, CD-ROM, 2001.
- 4) Weidner, T.: The Current State of the TLUMIP Models, Forth Oregon Symposium on Integrating Land Use and Transport Models, 2005.
(http://www.oregon.gov/ODOT/TD/TP/docs/Modeling/4symp/1116_900.pdf)
 - 5) Salvini, P. and Miller, E.J.: ILUTE: An Operational Prototype of a Comprehensive Microsimulation Model of Urban Systems, Networks and Spatial Economics, Vol.5, pp.217-234, 2005.
 - 6) Simmonds, D.: The design of the DELTA land-use modelling package, Environment and Planning B. Vol.26, pp.665-684, 1999.
 - 7) Feldman, O., Ballas, D., Clarke G., Gibson, P., Jin, J., Simmons, D. and Stillwell, J.: A Spatial Microsimulation Approach to Land-Use Modelling, Proceedings of CUPUM '05, CD-ROM, 2005.
 - 8) Wegener, M. and Spiekermann, K.: The Potential of Microsimulation for Urban Models, Microsimulation for Urban and Regional Policy Analysis, European Research in Regional Science 6, pp.147-63, 1996.
 - 9) Wegener, M.: The IRPUD Model: Overview. (http://www.raumplanung.uni-dortmund.de/irpud/pro/mod/mod_e.htm)
 - 10) 宮城県: 仙塩広域都市計画基本方針. (<http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/44508.pdf>)
 - 11) 富山市: 富山市都市マスタープラン. (<http://www.city.toyama.toyama.jp/toshiseibibu/toshiseisakika/toshikeikaku/toshimasutapuram.html>)
 - 12) 福岡裕介, 宮本和明, 北詰恵一, 鈴木温: 富山市における住宅立地と交通に関する実態分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-ROM, 2013(掲載予定).
 - 13) Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., and Stone, C.J.: Classification and Regression Trees, Wadsworth & Brooks, 1984.
 - 14) Quinlan, J.R.: Induction of Decision Trees, Machine Learning, Vol.1, No.1, pp.139-159, 1986.
 - 15) Quinlan, J.R.: C4.5: Programs for Machine Learning, Morgan Kaufmann, 1993.
 - 16) 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.