都市マイクロシミュレーションに組み込む交通モデルの要件整理とモデル構造の検討

松田　弘毅[1]・杉木　直[2]・阪田　知彦[3]・鈴木　温[4]・松尾　幸二郎[5]

[1]学生会員　豊橋技術科学大学　建築・都市システム学専攻（〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1）
E-mail:matsuda.koki.dk@tut.jp
[2]正会員　豊橋技術科学大学　建築・都市システム学系（〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1）
E-mail:sugiki@ace.tut.ac.jp
[3]正会員　国立研究開発法人建築研究所　住宅・都市研究グループ（〒305-0802 茨城県つくば市立原 1）
E-mail:sakata@kenken.go.jp
[4]正会員　名城大学　理工学部社会基盤デザイン工学科（〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501）
E-mail:atsuzuki@meijo-u.ac.jp
[5]正会員　豊橋技術科学大学　建築・都市システム学系（〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1）
E-mail:k-matsuo@ace.tut.ac.jp

コンパクト・プラス・ネットワークのまちづくりは，居住地選択や交通行動の変化を通じて都市構造へ影響を与えると考えられるため，関連する計画策定のためには，土地利用と交通の相互作用を考慮した都市モデルによる将来都市構造予測に基づいた評価が必要とされている．土地利用に関しては詳細な個人・世帯属性を考慮可能な都市マイクロシミュレーションの開発が進められており，交通モデルを統合することで詳細な交通行動を考慮した将来都市構造予測分析が可能となるが，交通モデルを統合した都市マイクロシミュレーションの開発に関しては十分な研究蓄積がなされていない．そこで本研究では，都市マイクロシミュレーションへ組み込まれるべき交通モデルについて，立地適正化計画における交通に関する現状分析・施策・指標の調査に基づき要件を整理する．また，要件整理の結果選定されたアクティビティベースモデルについて，具体的なモデル構造の検討を行う．

Key Words: *urban microsimulation, transportation model, activity based model, model structure, location optimization plan*

1. はじめに

現在，我が国の人口は減少を続け，高齢者人口は，2020 年には 3534 万人となり，高齢化率は 28.7 %となり，年々上昇している．今後，総人口が減少する中，高齢者が増加することで高齢化率が上昇すると見込まれている [1]．そのため都市の低密度化や都市機能の低下などの問題が起きており，また交通の分野では，モータリゼーション等の影響により，公共交通機関が衰退している．これらの問題への対応策として，平成26年に立地適正化計画が制度化された．立地適正化計画は，居住機能や医療・福祉・公共交通等の様々な都市機能の誘導によるコンパクトなまちづくりと地域交通の再編との連携による，「コンパクトシティ・プラス・ネットワーク」のまちづくりを進めるものである [2]．

都市計画を立案・作成するにあたり，都市構造や人口動態などの分析・予測に基づいた評価が必要である．今後コンパクト・プラス・ネットワーク型の都市づくりが進められれば，交通条件等の変化により人々の居住地選択へ影響を及ぼすことが予想される．そのため，土地利用と交通の相互作用を考慮した都市モデルによる政策評価の必要性が高まっている．土地利用に関しては，近年マイクロシミュレーションによるモデリングの開発が進められている [3)-11)]．さらに交通モデルを統合することで，より詳細な交通条件を考慮して都市構造予測を行うことが可能になるが，その都市政策の視点からの交通モデルの要件は明らかになっていない．西島らが行った研究 [12)]では，立地誘導政策の評価のために，自治体の規模や立地適正化計画から現状の居住誘導政策について整理・分析を行った上で，マイクロシミュレーションモデルの改良を行っている．しかし都市機能，居住誘導政策に関する整理についてのみ行われており，交通に関する施策や評価指標などの項目について詳細な整理分析は行われていない．

また杉木らが行った研究 [13)]では，過去のマイクロシミュレーションの適用事例について整理した上で，我が国での適用に向けての課題について述べられている．その他適用状況や課題についてまとめられている研究は存在する一方で，実際にマイクロシミュレーションと交通モデルを統合した都市モデルについての研究は十分に蓄積されていない．

以上を踏まえ，本研究では，交通施策の評価や目標値の妥当性を検証するため，マイクロシミュレーションと統合する交通モデルの要件や構造の検討を行うことを目的とする．そのためにまずは全国の自治体が策定・公表している立地適正化計画を参照し

て，現状分析・政策・指標について交通に関連する内容を整理・分析し，都市政策評価のための指標，およびそれらの指標の算出のために必要な交通モデルの要件について整理を行う．さらに，要件整理に基づいて選定された交通モデルについて，具体的なモデル構造の検討を行う．

2. 交通の位置づけに関する分析

(1) 分析方法

本研究では，立地適正化計画において，交通面に関する現状分析・施策・評価指標について，キーワードにより各分析項目を実施している自治体の割合を算出し，考察を行う．また目標については，現状分析・施策・評価指標との整合性を把握するために整理を行う．そのため割合は算出せず，項目内容のみ取り扱う．

分析対象とする自治体は，国土交通省により公開されている「各都市における立地適正化計画作成の主な取組」をもとに決定した[14]．令和 5 年 3 月 31 日時点で 675 都市が具体的な取り組みを行っており，そのうち 504 都市が計画を公開している．その中で，「各都市における立地適正化計画作成の主な取組」に記されている，各自治体から計画書がダウンロード可能な 356 都市を本研究の分析対象とした．

(2) 分析結果

a) 現状分析

現状分析の項目について整理を行った結果を**図-1** に示す．利用者に関する項目を見ると，鉄道・バスの割合が多いことがわかる．一方で，路面電車やデマンド型乗合タクシーなどの交通機関は割合が低かった．これは路面電車やデマンド型乗合タクシーは，全国的には普及していないため，相対的に分析を実施している割合が低くなっていると考えられる．

勢圏に関する項目では，駅・バス停ともに高いことがわかる．このことから，公共交通空白地域の把握が，今後の居住誘導において重要視されている．

自動車関連の項目の割合は低く，交通全体に関する項目では交通手段分担率の割合が高くなった．これは，自動車のみについて分析するのではなく，各交通機関がどの程度使われているのかを把握した上で，公共交通の分担率の向上を計画の目的としているためであると考えられる．

全体を通して，利用者や勢圏，分担率の分析の割合が高いことが分かった．よってこれらの指標は計画の評価において重要な項目であることが考えられる．一方で，歩行者等に関する分析はあまりなされていないことから，技術的に評価しやすい指標が採用され，本来分析されるべき指標が評価の難しさなどの理由から採用されていない可能性がある．

b) 施策

施策の項目について整理した結果を**図-2** に示す．再編・拡大・整備では，バス，コミュニティバス，デマンド型乗合タクシーの割合が高かった．一方で，

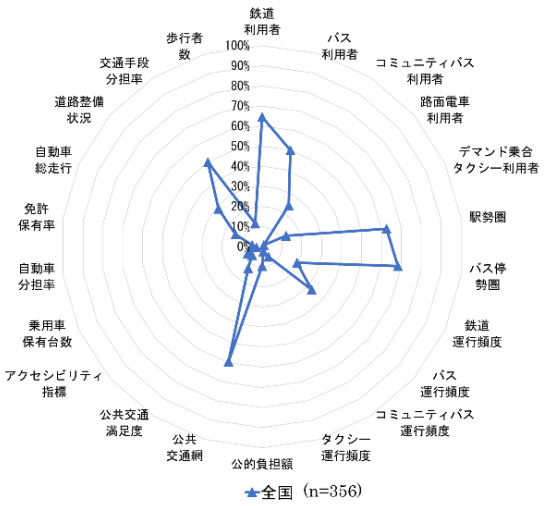


図-1 現状分析の項目別実施割合

BRT や LRT，路面電車に関する割合は低かった．このことから，現状運行している路線や交通機関を強化する施策は立案・実施しやすく，新たに路線の新設や街の改造を伴う BRT や LRT などの新交通システムは導入しづらい施策であると考えられる．

公共交通の利用環境に関しては，バス利用環境の改善や駅の関連施設整備・改善の項目が高く，前述したように既存の施設の改善など取り入れやすい施策となっている．駅の関連施設整備・改善に関しては市街地の中心として賑わいの創出のためや，公共交通の結節点の周辺施設として利用者向上につながるために設定されている割合が高くなっていると考えられる．

歩行環境については，歩道の整備や自転車利用環境が高いことがわかった．これは居住誘導や都市機能誘導を行うことで，コンパクト化された市街地を自動車や免許を持たない高齢者や子供などが行き来できるようするためであると考えられる．

交通全体に関する項目では，結節点の強化や乗継拠点の強化に関する項目が高い結果となった．市街地をコンパクト化するに伴い，多くの交通機関が 1 つの拠点に集中することになるため，混雑などの問題が起きる可能性がある．また利用環境と同様に，市街地・拠点の中心的な施設として，公共交通機関の利用者の増加を目的とする場合も考えられる．

全体を通して，MaaS や遠隔操作バスなどを含む新交通システムの割合が低いことや，路線バス・コミュニティバスの強化，利用環境改善などの割合が高いことから新たに路線の開発などを伴う新技術の導入より，既存の施設や路線の強化に関する施策が高くなっている．

c) 評価指標

評価指標の項目について整理を行った結果を**図-3** に示す．評価指標に関しては，アウトカム指標とアウトプット指標に区分し，2 自治体以上において記載のある指標を分析した．

アウトカム指標については，バスや鉄道の利用者や勢圏，歩行者の割合が高いことがわかった．これ

については現状分析と同様の傾向が得られたことから，これらは評価に必要な指標と考えられる．一方で，新交通システム，路面電車，LRT 等に関する指標，高齢者に関する指標が少なく，新たな分析指標として加える必要があると考えられる．

アウトプット指標については，項目が少なく、割合も全体的に低い結果となった．これはアウトプット指標がサービス水準そのものを測る指標であり，本来の成果を測る指標ではないため，項目数が少なくなっていると考えられる．

全体を通して，項目数が多く，出力すべき指標としての候補が広がったが，割合については現状分析と同様の項目の割合が高くなった．

d) 目標と現状分析・施策・評価指標の整合性

本節ではこれまでに整理した項目を目標ごとに分類することで，目標との整合性という視点で，各指標の重要性や不足している指標についての考察を行う．目標は項目内容のみ取り扱い，割合については算出しない．結果を**表-1** に示す．公共交通，結節点，移動性・利便性・歩行，高齢者・安心・安全の 4 分野に分けて考察を行う．

公共交通の分野については，公共交通全体に関する目標が多く，評価指標や現状分析，施策でも項目が多かった．そのためモデル分析においても，公共交通全体についての出力指標を考慮すべきであるといえる．バスや鉄道に関しては，現状分析や評価指標でも高い割合で分析が行われており，また施策とも整合しているため，目標におけるバスや鉄道の重要性が分かる．BRT やデマンド型乗合タクシー，新交通システムなどについては，分析上では割合が低かったものの施策とは整合していたため，今後の交通需要を予測するにあたり考慮すべき交通手段である．

結節点に関する分野では，目標では「まちづくりのため」や「交通の結節点の発展」があり，施策としても拠点の強化等が取り入れられているが，分析や評価指標としては取り入れられている数が少ない．そのため交通の結節点についても考慮すべき必要があると言える．

移動性・利便性・歩行に関する分野では，施策と評価指標が整合しており，今後の都市のコンパクト化に伴い、都市内を徒歩や自転車で移動することは，重要な要素であるため，出力指標として考慮すべきであると考える．

高齢者・安全・快適に関する分野では，多くの目標が設定されており，将来的にも十分に考慮すべき指標である．しかし現状では全く分析されていない．評価指標としてすでに取り入れられている項目はもちろんのこと，高齢者についての分析項目を追加すべきと考える．

3. 交通モデルの特徴

(1) 検討対象の交通モデル

本研究では，アクセシビリティベースモデル，トリップベースモデル，アクティビティベースモデルの 3 種類について検討した．

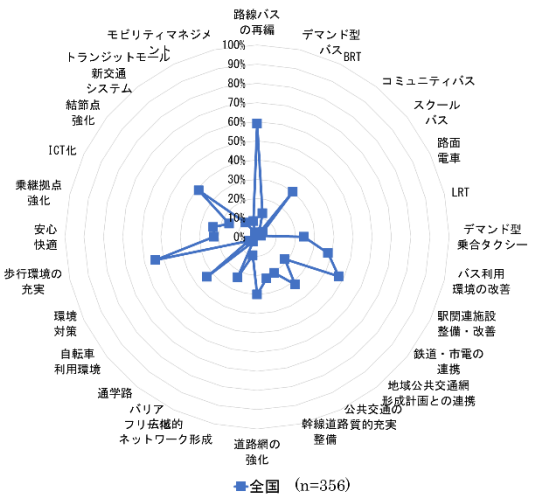


図-2 施策の項目別実施割合

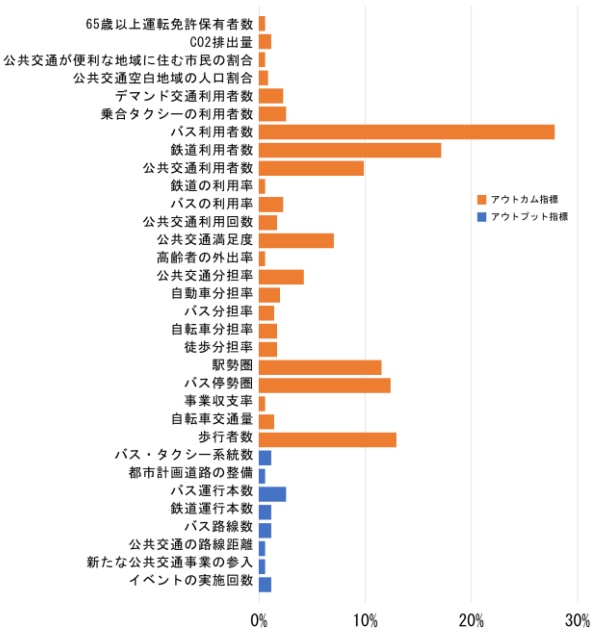


図-3 評価指標の項目別実施割合

アクセシビリティベースモデルは，施設アクセス性に関するアクセシビリティ指標を算出するモデルである．利便性を定量的に評価することができ，アクセス性は，施設アクセスリンクの重みをアクセシビリティ指標に付与することで表現される．アクセシビリティモデルを用いた既往研究として長尾ら [15] の研究がある．この研究では，個人と世帯，それらが立地する都市空間を対象としてマルチレイヤネットワークモデルを構築し，主体属性や土地利用変化，施設アクセスをネットワークで記述している．

トリップベースモデルは，ゾーンごとにトリップ

を解析対象とし，前のステップの出力を前提に次のステップを推定する段階型のモデルである．既往研究として，菊池ら[16]の研究が挙げられる．この研究では 5 年に一度全国で実施している全国都市交通特性調査の都市セグメントデータを用いて発生・分布・帰宅・分担モデルを構築し，OD 表を作成した上で，携帯基地局データによる移動量により補正を行う方法を開発し，実都市での OD 表との比較検証を行っている．

アクティビティベースモデルは，移動が個人の活動の派生需要であるという考え方の下，活動自体を解析対象とするモデルである．非集計データを扱うことで細かな表現や選択肢に関する時空間的な制約条件の反映，個人間の相互作用の考慮が可能になる．既往研究として，信夫ら[17]の研究がある．この研究では，自動運転型地域交通システム導入後の生活交通の利便性評価手法として，
交通行動の世帯構成間での相互依存性を考慮したアクティビティベースモデルを構築し，実都市への適用を行っている．

(2) 各交通モデルの特性

各交通モデルの特性を**表-2** に整理した．個人の意思決定や属性などを深く考慮すべき場合にはアクティビティベースモデルが最も優れている．一方，分析そのものの難易度や処理速度，収集データ量の項目では，アクセシビリティベースモデルが最も優れている．

4. 交通モデルの基本仕様の検討

(1) 指標と交通モデルの整合性

a) 分析した指標と交通モデルの整合性

現状分析や評価指標の分析を行った結果，主な指標として勢圏，アクセシビリティ指標，利用者の指標，交通量の指標，分担率の指標が挙げられた．**表-3** にそれぞれの整合性を示す．勢圏や交通量，分担率，歩行者数に関する指標については，アクセシビ

表-1 目標と現状分析・施策・評価指標との整合性

目標		施策 分類		現状分析 項目	施策	アウトカム指標	アウトプット指標
公共交通	・公共交通の持続 ・サービスレベル ・新たな需要創出 ・公共交通の利用促進 ・公共交通網の形成 ・効果的な公共交通の構築 ・公共交通の充実 ・公共交通全体の活性化 ・自動車に頼らずに暮らせる環境	公共交通全体（他の施策目標とも関連）	交通面	・交通手段分担率 ・乗用車保有台数 ・自動車分担率 ・免許保有率 ・自動車総走行 ・アクセシビリティ指標	・地域公共交通網形成計画との連携 ・モビリティマネジメント	・公共交通分担率（利用率）（自動車・自動車以外の分担率） ・公共交通利用回数 ・公共交通利用者 ・公共交通を利用するようにしている割合 ・1便当たりの乗客数増加率 ・アクセシビリティ ・自動車交通量 ・自動車総走行台キロ	・公共交通の路線距離 ・公共交通軸数 ・人材確保の取組回数 ・イベント実施回数 ・自主運行の実施地区
			意識面（満足度）	・公共交通満足度		・公共交通全体の満足度 ・車を利用しない市民の日常移動に対する満足度	
			財政面	・公的負担額		・公共交通利用金額 ・事業収支率	
			人口割合等			・公共交通空白地域の人口割合 ・公共交通が便利な地域に住む市民の割合 ・公共交通沿線地域の人口密度 ・自宅から都心や拠点に公共交通で30分以内に行ける人口 ・自家用車を利用しなくても困らない	
			交通網	・公共交通網			
			利用環境		・ICT化 ・公共交通の質的充実	・ICカード利用者 ・乗車カード利用率	
		バス		・バス利用者 ・コミュニティバス利用者 ・バス停勢圏 ・バス運行頻度 ・コミュニティバス運行頻度	・バス路線の再編・維持 ・デマンド型バスの再編・維持 ・市営バスの再編・維持 ・スクールバスの再編・維持 ・バス利用環境の改善	・バス分担率 ・バスの利用率（路線バス・コミュニティバス） ・バス利用者（路線・コミュニティ・市民・循環バス） ・バス停勢圏 ・バス利用回数	・バス路線数 ・バス運行本数 ・バス・タクシー系統数 ・バス待ち時間
		BRT			・BRTの再編・維持	・BRT利用者 ・BRT勢圏 ・BRT利用率	・BRT運行本数
		デマンド乗合		・デマンド乗合タクシー利用者	・デマンド型乗合タクシーの再編・維持	・乗合タクシー利用者 ・デマンド交通利用者 ・デマンド利用回数	・デマンド交通整備率
		鉄道		・鉄道利用者 ・駅勢圏 ・鉄道運行頻度	・鉄道・市電との連携	・鉄道分担率（利用率） ・鉄道利用者 ・駅勢圏 ・鉄道利用回数	・鉄道運行本数 ・快速・急行の停車駅の維持
		路面電車 LRT モノレール		・路面電車利用者	・路面電車の再編・維持 ・LRTの再編・維持	・モノレール利用者	
		タクシー		・タクシー運行頻度		・一般タクシー利用者	・バス・タクシー系統数
		飛行機				・航路利用者	
		新交通			・新交通システムの整備		・新たな公共交通事業の参入
結節点	・交通結節点に都市機能が集約された便利なまちづくり ・交通結節点	駅関連施設			・駅関連施設の整備・改善	・駅周辺施設の利用者	
		乗継拠点 結節点			・乗り継ぎ拠点強化 ・結節点強化 ・トランジットモールの整備	・結節点利用者	・交通結節点における結節数
移動性 利便性 歩行	・地域間の移動性の確保 ・移動手段が確保されたまち ・交通利便性の向上	道路網		・道路整備状況	・道路網の強化 ・広域ネットワーク形成 ・幹線道路整備		・都市計画道路の整備率
		自転車			・自転車利用環境	・自転車交通量 ・自転車分担率	
		環境			・環境対策	・CO2排出量	
		歩行		・歩行者数	・歩行環境の充実 ・通学路の整備	・歩行者数 ・徒歩分担率 ・1日の平均歩数	
高齢者安心快適	・安全・安心の推進 ・高齢者が外出しやすい環境整備 ・安心して住み続けられる環境づくり	安心 高齢者			・安心・快適 ・バリアフリー化	・高齢者の外出率 ・65歳以上運転免許保有者数	・歩道バリアフリー化

リティベースモデルでは表現できない．

b) 求められる機能と交通モデルの整合性

目標において高齢者が取り上げられているため，分析や施策で取り上げられる必要があるにもかかわらず，現状では分析上あまり行われていなかった．そのため属性別の各指標の算出が必要であると考えた．また新交通システムや MaaS，同乗交通についても，項目としてあまり取り入れられていなかったが，今後の公共交通として考慮すべき項目であると考えられる．

検討した指標と交通モデルの整合性を示したものを**表-4** に示す．属性別の各指標については，アクティビティベースモデルでは全てカバーできるが，他の 2 モデルでは可能な指標とそうでない指標に分かれた．また新交通システムや MaaS，同乗交通についてもアクティビティベースモデルのみがカバーしきれている．

(2) 基本仕様の検討結果

3.(2)で各モデルにおいて考慮可能な特性を比較したところ，データの処理に関しては劣ったものの，その他の機能に関しては，アクティビティベースモデルが最も優れていた．また立地適正化計画の分析結果を踏まえて，現状の分析において重要とされる評価指標は，公共交通勢圏人口，アクセシビリティ指標，利用者数の指標，交通量の指標，分担率の指標，歩行者数の指標の 6 種類であった．これらの項目についてカバー出来ている交通モデルはトリップベースモデルとアクティビティベースモデルであった．さらに，将来的に考慮すべき項目として，属性別の勢圏人口，アクセシビリティ指標，交通量・利用者数・歩行者数，分担率などに加えて，新交通システム，MaaS 同乗交通の 7 項目を挙げた．結果としてアクティビティベースモデルが最も多く全ての項目において評価できることが明らかとなった．

以上を踏まえて，マイクロシミュレーションに組み込むべきコンパクト＋ネットワークを考慮した交通施策の評価に適した交通モデルは，アクティビティベースモデルであると結論付けた．

5. アクティビティベースモデル

(1) アクティビティベースモデルの基本構造

a) モデルの概要

モデル構造の検討をするにあたり，本研究では，藤井らによって開発された生活行動マイクロシミュレーション PCATS[18]や，川島ら[19]によって開発されたアクティビティベースモデルを参考とした．

本モデルは，生活行動を固定活動と自由活動に分類し，交通手段は自動車，公共交通，徒歩，自転車，送迎の中から選択する．

b) 分析フロー

アクティビティベースモデルの分析フローを**図-4** に示す．まず STEP1 では，全員分の固定活動有無を決定し，全員の車の有無について決定した後，固定活動の有無と車の有無別のリストを作成する．固定活動がありと判定された人に対して固定活動の目的地と活動開始・継続時間を決定する．

表-2 各交通モデルの特性

	アクセシビリティベースモデル	トリップベースモデル	アクティビティベースモデル
個人・世帯属性	○	△	◎
手段選択	×	○	○
経路選択	○	◎	◎
免許保有率	×	○	○
トリップチェイン	×	△	◎
誘発交通	×	○	◎
時間帯	×	△	◎
行動論（意思決定）	△	○	◎
データ量（効率）	◎	○	△
処理の難易度	◎	○	△
処理時間	◎	○	△

表-3 分析した指標と交通モデルの整合性

求められる機能		アクセシビリティベースモデル	トリップベースモデル	アクティビティベースモデル
属性別	勢圏人口	○	△	○
	アクセシビリティ指標	○	△	○
	交通量・利用者数・歩行者数	×	△	○
	分担率	×	△	○
新交通システム		×	○	○
MaaS		×	△	○
同乗交通		×	×	○

表-4 求められる機能と交通モデルの整合性

	アクセシビリティベースモデル	トリップベースモデル	アクティビティベースモデル
公共交通勢圏人口	○	○	○
アクセシビリティ指標	○	○	○
利用者数	×	○	○
交通量指標	×	○	○
分担率指標	×	○	○
歩行者	×	○	○

STEP2-1 では，固定活動がある人で車がある人に対して，交通手段を決定する．

STEP2-2 では，固定活動がある人で車が無い人に対して，交通手段を決定する．この STEP では，車が無い人を考慮するため，始めに送迎されうるかの判定を行う．その際，世帯内での車の有無，世帯内で車を運転できる人がいるかどうか，送迎する側の人が固定活動を行うかどうかについて，判定を行う．その後，送迎されうる人とそうでない人の交通手段の決定を行う．

STEP3-1 では，車が無い人の自由活動を決定する．固定活動がある人の処理は，まず固定活動前の自由活動の有無の決定を行う．ある場合は，送迎されうるかの判定後，目的地の決定，活動開始・継続時間，交通手段の決定を行う．その後固定活動後の自由活動の有無について判定を行い，自由活動に関する同様の処理を行う．自由活動の複数回の有無について判定を行った後，無しであれば帰宅の処理を行う．固定活動が無い人の処理は，自由活動の有無について決定した後，ありの場合，送迎されうるかの判定を行う．その後目的地，活動開始・継続時間，交通手段の決定を行う．その後自由活動が複数回あるかどうかを判定し，複数回無い場合は帰宅の処理を行う．

STEP3-2 では，車がある人の自由活動を決定する．

送迎をするかの判定を行う．ありの場合，送迎を行い，その後自由活動の有無の判定を行う．固定活動がある人に対しては，固定活動前と固定活動後の自由活動の有無の判定を行い，ある場合には目的地，活動開始・継続時間，交通手段の決定を行う．その後複数回あるかどうかの判定を行い，無しであれば帰宅の処理を行う．固定活動が無い人に対しては自由活動の有無を判定し，ある場合には目的地，活動開始・継続時間，交通手段の決定を行う．その後複数回あるかどうかの判定を行い，無しであれば帰宅の処理を行う．

各個人の活動について処理を行い，決定した後，STEP4 において経路選択を行う．



図-4 アクティビティベースモデルの分析フロー

(2) 各活動の決定方法

a) 活動内容選択モデル

アクティビティダイアリー(AD)データにより固定活動選択確率および自由活動選択確率を算出し，モンテカルロ法により確率的に活動内容を決定する．固定活動の有無を(1)，固定活動種別選択確率を(2)，自由活動の有無を(3)，自由活動種別選択確率を(4)に示す．

$$P_{agw}^{FIX} = \frac{N_{agw}^{FIX}}{N_{agw}} \tag{1}$$

$$P_{agw}^{fix} = \frac{T_{agw}^{p}}{T_{agw}^{p}} \tag{2}$$

$$P_{agw}^{FREE} = \frac{N_{agw}^{FREE}}{N_{agw}} \tag{3}$$

$$P_{agw}^{free} = \frac{T_{t1}^{q}}{T_{agw}^{Q}} \tag{4}$$

ここで，P_{agw}^{FIX}は固定活動選択確率，N_{agw}は年齢階層a，性別g，職業wの総人口，N_{agw}^{FIX}は固定活動P^{FIX}の年齢階層a，性別g，職業wの総人口，P_{agw}^{fix}は固定活動種別選択確率，T_{agw}^{p}は固定活動Pの年齢階層a，性別g，職業wの総トリップ数，T_{agw}^{p}は固定活動種類pの年齢階層a，性別g，職業wの総トリップ数，P_{agw}^{FREE}は自由活動選択確率，N_{agw}^{FREE}は自由活動P^{FREE}の年齢階層a，性別g，職業wの総人口，P_{agw}^{FREE}は自由活動種別選択確率，T_{agw}^{Q}は活動分類Qの年齢階層a，性別g，職業wの総トリップ数，T_{t1}^{q}は活動内容qの$t1$時のトリップ数である．

b) 目的地選択モデル

人口指標や経済指標を説明変数とする多項ロジットモデルを用いて目的地を決定する．

$$P_{dest} = \frac{e^{V_i}}{\sum_i e^{V_i}} \tag{5}$$

$$V_i = \sum_k a_k X_i + b \tag{6}$$

ここでP_{dest}は目的地選択確率，V_iは個人iの効用関数，X_iは説明変数，a_k, bはパラメータである．また目的地選択をするにあたり学校等の目的別の目的地集合を作成し，その中での確率を決定する．

c) 活動開始・継続時間モデル

AD データより活動開始時刻，活動継続時間を算出し，得られた割合に基づき，モンテカルロ法により決定する．活動開始時刻を(7)，活動継続時間を(8)に示す．

$$P_{st} = \frac{T_{wt_1}^{p}}{T_{w}^{p}} \tag{7}$$

$$P_{DT} = \frac{T_{wt_1t_2}^{p}}{T_{wt_1}^{p}} \tag{8}$$

ここでP_{st}は活動開始時刻選択確率，T_{w}^{p}は就業状態w，活動内容pのトリップ数，$T_{wt_1}^{p}$は就業状態w，活動内容pのt_1時におけるトリップ数，P_{DT}は活動継続時刻選択確率，$T_{wt_1t_2}^{p}$は就業状態w，活動内容pのt_1時にt_2時間活動したトリップ数である．

d) 交通機関選択モデル

AD データより，車・公共交通・送迎と歩行者系（徒歩・自転車）の割合を算出し，その割合をもとに選択肢集合を割り当てる．その後，それぞれの選択肢集合に対して個人・世帯属性，トリップ属性等を説明変数とする多項ロジットモデルを用いて交通手段の決定を行う．車・公共交通・送迎についての式を(9)，(10)，歩行者系（徒歩・自転車）についての式を(11)，(12)で示す．

$$P_{ji} = \frac{e^{V_{jn}}}{\sum_{j \in An} e^{V_{jn}}}, (j \in An) \tag{9}$$

$$V_{ji} = \sum_k \theta_k X_{jnk}, (j \in An) \tag{10}$$

$$P_{li} = \frac{e^{V_{ln}}}{\sum_{l \in An} e^{V_{ln}}}, (l \in An) \tag{11}$$

$$V_{li} = \sum_k \theta_k X_{lnk}, (l \in An) \tag{12}$$

ここでP_{ji}, P_{li}は交通機関選択確率，V_{jn}, V_{ln}は個人nの交通機関j, lの効用関数，θ_kはパラメータ，X_{jnk}, X_{lnk}は個人nの交通機関j, lの効用を表す要因である．

6. おわりに

本研究では，交通施策の評価や目標値の妥当性を検証するために，マイクロシミュレーションと統合するための交通モデルの要件整理と交通モデルの基本的な構造の検討を行った．その結果アクティビティベースモデルが最も適していると結論づけられ，その推定フローや処理方法についての検討を行った．

今後は，時間的な制約等を考慮した詳細な処理に

ついての検討を行うとともに，実都市を対象とした具体的なモデルの構築や交通施策を対象とした評価を行ってゆく予定である．

謝辞：本研究は JSPS 科研費 20K04721 および 23H01530 の助成を受け実施しました．ここに感謝の意を表します．

参考文献

1) 国土交通省：令和 4 年版交通政策白書, “https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_fr_000129.html”
2) 国土交通省：立地適正化計画の意義と役割　～コンパクトシティ・プラス・ネットワーク～, ”https://www.mlit.go.jp/en/toshi/city_plan/compactcity_network2.html”
3) Waddell, P. UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning, Journal of the American Planning Association, 2002, Vol.68, No.3, pp.297-314.
4) Hunt, J.D.; Donnelly, R.; Abraham, J.E.; Batten, C.; Freedman, J.; Hicks, J.; Costinett, P.J.; Upton, W.J. Design of a statewide land use transport interaction model for Oregon, Proceedings of 9th world conference on transport research, 2001.
5) Abraham, J.E.; Garry, G.R.; Hunt, J.D. The Sacramento Pecas model, Transportation research board annual meeting, 2005.
6) Hunt, J.D.; Abraham, J.E. Pecas-for spatial economic modelling: theoretical formulation. System documentation technical memorandum 1 working draft, 2009.
7) Salvini, P.; Miller, E.J. ILUTE: An operational prototype of a comprehensive microsimulation model of urban systems, Netw Spat Econ, 2005, Vol.5, No.2, pp.217–234
8) Moeckel, R.; Spiekermann, K.; Wegener, M. Creating a synthetic population, Proceedings of 8th international conference on computers in urban planning and urban management, 2003.
9) Strauch, D.; Moeckel, R.; Wegener, M.; Gräfe, J.; Mühlhans, H.; Rindsfüser, G.; Beckmann, K.J. Linking transport and land use planning: the microscopic dynamic simulation model ILUMASS, Geodynamics, 2005, pp.295–311.
10) Ettema, D.; de Jong, K.; Timmermans, H.; Bakema, A. PUMA: multi-agent modelling of urban systems, Modelling land-use change, Springer, 2007, pp.237–258.
11) Chengxiang, Z.; Chunfu, S.; Jian, G.; Chunjiao, D.; Hui, Z. Agent-based joint model of residential location choice and real estate price for land use and transport model, Comput Environ Urban Syst, 2016, Vol.57, pp.93–105.
12) 西島佑輝也，杉木直，松尾幸二郎：居住誘導政策評価のためのマイクロシミュレーション型都市モデルの改良と適用，令和 2 年度土木学会中部支部研究発表会・講演集，2021
13) 杉木直，宮本和明，北詰恵一，Verameth VICHIENSAN：土地利用―交通モデルにおけるマイクロシミュレーションの適用状況，第 35 回土木計画学研究発表会・講演集，2007
14) 国土交通省：立地適正化計画の策定状況, “https://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/toshi_city_plan_fr_000051.html”
15) 長尾将吾，杉木直，倉内文孝，松尾幸二郎：マルチレイヤネットワークを用いた社会ダイナミクスのシミュレーション，第 62 回土木計画学研究発表会・講演集，2020
16) 菊池雅彦，井上直，岩舘慶多，茂木渉，森尾敦：全国 PT データと携帯基地局データを用いた地方都市での OD 表の推計，第 55 回土木計画学研究発表会・講演集，2017
17) 信夫柾人・杉木直・松尾幸二郎：将来世帯構成・交通行動の相互依存性を考慮した生産空間における自動運転型地域公共交通システム導入の評価，土木計画学研究発表会・講演集，2020
18) 藤井聡，大塚祐一郎，北村隆一，門間俊幸：時間的空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築，土木計画学研究・論文集，1997
19) 川島直樹，杉木直，鈴木温，松尾幸二郎：新たなモビリティサービス導入下でのライフスタイル変化を踏まえた都市モデルによる都市構造の将来予測分析，第 66 回土木計画学研究発表会・講演集，2022

（2023.10.13 受付）

REQUIREMENTS FOR TRANSPORTATION MODEL INCORPORATED IN URBAN MICRO-SIMULATION AND MODEL STRUCTURE DEVELOPMENT

Koki MATSUDA, Nao SUGIKI, Tomohiko SAKATA, Atsushi SUZUKI and Kojiro MATSUO