世帯マイクロシミュレーションによる将来都市構造予測への交通モデルの導入に関する基礎的検討

阪田　知彦[1]・鈴木　温[2]・杉木　直[3]・正木　俊行[4]・田　寛之[5]

[1]正会員　国立研究開発法人建築研究所住宅・都市研究グループ上席研究員（〒305-0802 茨城県つくば市立原1）E-mail:sakata@kenken.go.jp (Corresponding Author)
[2]正会員　名城大学教授　理工学部社会基盤デザイン工学科（〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1丁目501番地）E-mail: atsuzuki@meijo-u.ac.jp
[3]正会員　豊橋技術科学大学准教授　建築・都市システム学系（〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1）E-mail: sugiki@ace.tut.ac.jp
[4]非会員　アカデミックエクスプレス株式会社（〒305-0047 茨城県つくば市千現2-1-6）E-mail: masaki@academic-express.com
[5]非会員　アカデミックエクスプレス株式会社（〒305-0047 茨城県つくば市千現2-1-6）E-mail: den@academic-express.com

本研究は，世帯マイクロシミュレーションに基づいた将来都市構造の予測技術の実用化の一環として行っているものである．そのうち本稿は，交通モデルの導入に向けた基礎的検討に関するものである．交通モデルにいくつかの類型があるが，そのうちアクティビティベースの交通モデルを中心に，計算時間や実装可能性，世帯マイクロシミュレーションに基づいた将来都市構造の予測との親和性等の面から，導入の方向性について検討した．具体的には，利用者均衡配分モデルをベースとしたモデルと，MATsim について，計算時間や再現性の観点から比較検討を行い，実装に向けた要件の整理や基本設計等を行った．

Key Words: *Householdbased Micro-Simulation, Traffic Model, Future Urban Structure Forecast*

1. はじめに

本報は，世帯マイクロシミュレーションに基づいた将来都市構造予測技術の実用化[注 1)]の一環で実装を進めている交通モデルの導入に関しての検討についての報告である．

本格的な人口減少期に入った我が国の今後の都市構造を考えるには，多様な観点からの検討が必要であるが，その 1 つとして，将来の住宅立地や世帯分布の詳細な動向把握が不可欠であると考えている．それを支える技術は様々あるが，その 1 つに世帯マイクロシミュレーション（HUMS:Household based Urban Micro-Simulation model）に基づいた将来予測 [1)]が提案されている．世帯マイクロシミュレーションを構成する大きな 2 つの要素として，①現況の個々人の個人属性と世帯構成を再現する初期世帯マイクロデータの生成と，②個々のライフイベント変化をモデル化した将来予測，がある．さらに，こうして予測された世帯単位でのマイクロデータを元にした将来の都市構造を評価することも重要な視点である．先行研究において，世帯マイクロシミュレーション技術の都市構造の予測や評価における有用性は明らかになっているものの，そのハンドリングは非常に高度な知識や技術を要することが，実用化への 1 つの課題であったといえる．こうした課題に対し，筆者らは，世帯マイクロシミュレーションに基づく都市構造予測と評価の機能を実装した WEB アプリケーションを開発した [2)].

一方で，この WEB アプリケーションには交通の要素を明示的に入れておらず課題であった．例えば，居住地立地選択等において交通の利便性は無視できない．類例は様々あるが，例えば，国土技術政策総合研究所都市研究部の都市の将来像アセスメントツール [3)]のような集計タイプのモデルでは，交通の要素を比較的取り込みやすいが，その効果は限定的であった．一方で，世帯マイクロシミュレーションの特性を活かした交通の要素取り込みを考えると，より計算量が多くなることは必然であると考えられるため，どういうモデルが計算量との見合い

で導入するにふさわしいかをなるべく定量的に検討することが求められる．以下では，こうした観点から，交通モデル導入に向けた大きな方向性を述べた上で，検討方法と検討結果等について述べることにする．

2. 交通モデル導入に向けた大きな方向性

松田ら [4]によれば，こうした都市構造予測のために使える交通モデルには，大きく分けて 3 種類ある．1 つは，ある地点の利便性等の評価が可能なアクセシビリティモデル，もう 1 つは四段階推計法に代表されるトリップベースモデル，さらに時間距離の概念をベースとしたアクティビティモデルである．これらの派生モデルやさらに高度なモデルもあるかと思われるが，本検討では，この 3 種類モデルの適用可能性を検討した．その概略をまとめたのが，表 1 である．

前述の通り，世帯マイクロシミュレーションを元にした都市構造予測モデルとの親和性を考えると，松田ら [4]の検討を踏まえて，表現力や精度，算出可能な指標の数等の観点から，アクティビティモデルの導入可能性に絞って検討することが現実的であると考えられる．以降，本稿ではこの方針に沿って，アクティビティモデルを中心に導入可能性を検討することとした．

表 1　交通モデルの特徴

	アクセシビリティベース	トリップベース	アクティビティベース
表現力・精度	×（低い）	△（中程度）	◎（非常に高い）
算出可能な指標・データの数	×（少ない）	△（中程度）	◎（非常に多い）
計算時間	◎（短い）	△（中程度）	×（長い）

表 2　検証環境

	スペック
CPU	12th Gen Interl(R) Core(TM) i7-1280P(1800MHz/14 コア)
メモリ	32GB SODIMM
OS	Ubuntu 20.04.4 LTS（WSL 1.2.5.0）

3. 実装に向けた検証

(1) 検証対象のモデル

アクティビティモデルと一口にいっても様々なモデル等が考えられるが，ここでの検証対象は，利用者均衡配分をベースとしたモデルと，MATsim[5]の 2 つとした．

利用者均衡配分モデルは，旅行時間のより短い経路を選択しようとし，その結果，旅行時間をそれ以上改善できないような均衡状態に辿り着くと仮定したモデルであり，利用者均衡が満たされた状態の下での配分交通量を求めるモデルである．実務的には，集計データに対して適用される場合が多いが，非集計データにも適用可能なモデルである．

一方，MATsim は，マルチエージェントをベースとした道路交通のシミュレーションフレームワークの一つであり，ベルリン工科大学とスイス連邦工科大学の共同開発されたもので，オープンソースであることから，様々な活用実績がある．

(2) 検証概要

本稿では，次の 2 点について検討を行った．

・両モデルの計算時間の比較

・両モデルでの再現性の比較

なお，検討に用いたデータは，MATsim のサイトで配付されているベルリンの道路データである．ここでは，比較におけるデータハンドリングの効率化のために，自動車 49,305 台の 182,583 トリップのみを利用した．また，道路網はノード数 73,689，リンク数 159,039 であったが，これも計算に関係しないノード・リンクを削除し，ノード数 40,928，リンク数 98,499 のデータとした．さらに，入力データのサイズと（日トリップ数や道路網のノード/リンク数）と計算時間の関係を確認するため，上記のオリジナルデータを加工したサブセットを作成した．作成方法は紙幅の関係で省略するが，作成したサブセットは，

- 自動車トリップ数の増減
- 道路網の軽量化
- OD 座標の 500m メッシュ重心への集約
- 時間リンク容量の日換算

等の処理を施したデータである．

(3) 計算時間の検証

前述の 2 つのモデルについて，表 2 の環境で計算時間の計測を試行した．なお，MATSim は設定により複数プロセスでの動作（並列化）が可能であるが，都市構造予測・評価 Web アプリケーションは 1 ユーザー/1 スレッドでの動作を前提として設計されているため，ここではシングルスレッド時の計算時間を計測することとした．また今回の検討は富山県富山市（約 68 万トリップ）の規模を対象とした．

実測により得られた利用者均衡配分および MATSim の計算時間が表 3 である．UE は前述の通り OD 集約を前提としており．また今回の検討は富山県富山市（約 68 万トリップ）の規模を対象とするため，OD 集約なしおよび 6.7 万～14.6 万の 3 ケースについては計算していない．一方 MATSim は，個人単位・分単位のトリップチェーンデータを入力とするが，18.2 万トリップの berlin 実都市データに対して尤もらしいトリップチェーンを追加することは困難であるため，68 万トリップのケースの計算時間については図 1 で外挿により推定することとした．MATSim の計算時間はトリップ数に比例する

表 3　計算時間の比較

計算時間：利用者均衡配分（Frank-Wolfe法 / 収束誤差0.5%）

			トリップ数[トリップ/日]						
ノード数	リンク数	OD集約	67,208	109,034	145,923	182,583	683,012	1,000,000	2,000,000
73,689	159,039	なし	—	—	—	—	—	—	—
		あり	—	—	—	7分42秒	7分43秒	7分24秒	7分34秒
60,455	112,879	なし	—	—	—	—	—	—	—
		あり	—	—	—	5分40秒	5分27秒	5分19秒	5分31秒
40,928	98,499	なし	—	—	—	—	—	—	—
		あり	—	—	—	4分19秒	5分27秒	9分03秒	13分29秒

計算時間：MATSim（シングルスレッド / iteration=11）

			トリップ数[トリップ/日]						
ノード数	リンク数	OD集約	67,208	109,034	145,923	182,583	683,012	1,000,000	2,000,000
73,689	159,039	なし	17分04秒	26分45秒	34分23秒	40分31秒	—	—	—
		あり	15分03秒	22分52秒	28分15秒	42分22秒	—	—	—
60,455	112,879	なし	14分21秒	26分38秒	32分54秒	33分28秒	—	—	—
		あり	15分06秒	19分59秒	30分32秒	37分07秒	—	—	—
40,928	98,499	なし	22分04秒	34分46秒	42分14秒	48分09秒	—	—	—
		あり	20分57秒	32分25秒	43分37秒	46分55秒	—	—	—

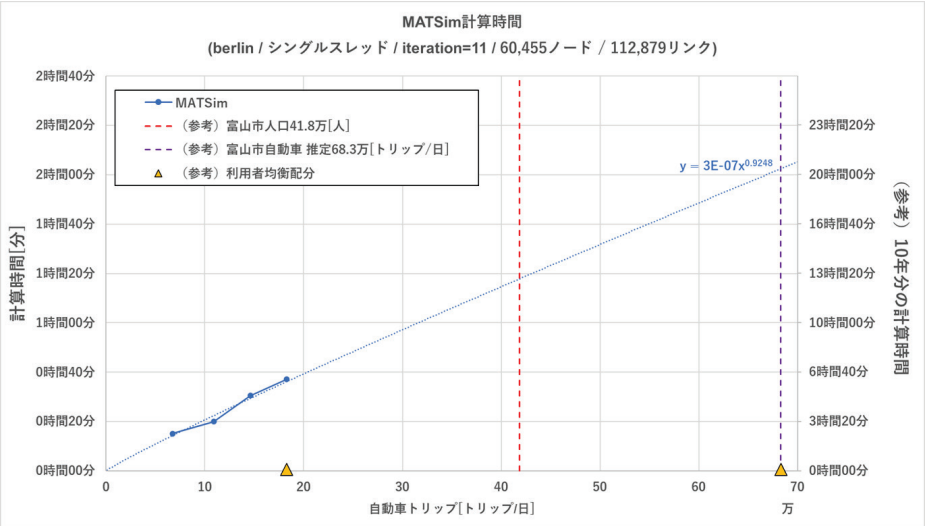


図 1　MATsim による計算時間の推定

表 4　計算時間の試算のまとめ

曜日	時間	利用者均衡配分	MATSim
考慮しない	全時間帯	55分	—
	時間帯別（3分割）	2時間45分	—
	リアルタイム	—	約20時間
平日＋休日	全時間帯	1時間50分	—
	時間帯別（3分割）	5時間31分	—
	リアルタイム	—	約40時間

ことから，日トリップ数 68 万のケースにおける推定計算時間は，累乗近似により，計算時間は 1 年分の予測計算あたり約 2 時間，10 年分の予測計算で約 20 時間となった．これらを踏まえた計算時間の見込みをまとめたのが表 4 である．休日と平日で 1 年あたり 2 回の配分を行うケース，および利用者均衡配分については時間帯別の配分を行うケースの計算時間は単純な比例計算であるが，MATsim よりは利用者均衡配分モデルの方が計算時間的には短時間に収まることが推測される．

(4)　両モデルでの再現性の比較

次に，両者から得られる結果に大きな違いが生じるのかを確認する目的で，MATSim および利用者均衡配分により得られたリンク交通量を比較した（図 2）．相関係数が 0.982

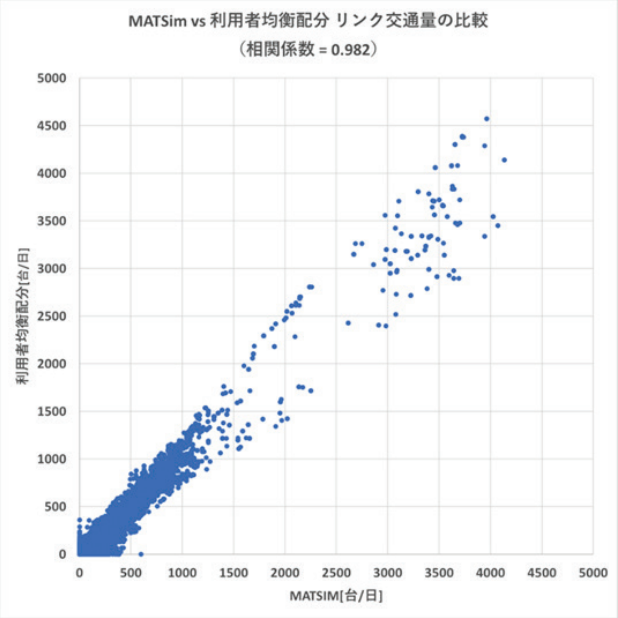


図 2　MATsim と利用者均衡配分モデルにおけるリンク交通量の比較

となり，両者に大きな違いが生じてはいないようである．

さらに，利用者均衡配分(UE)および MATSim の結果から得られたリンク交通量を可視化した結果を図 3 に示す．まず，広域的には，中心部・郊外ともに，両者の分布に大きな違いは見られない．一方，局所的には，一部，交通量の多い幹線道路において，利用者均衡配分の方がやや交通量が高くなる傾向が見られた．この違いは，時間リンク容量の日換算係数をチューニングすることである程度改善できる可能性があるため，致命的な違いではないと考えられる．

これらの結果から，両モデルでの再現性の観点からは致命的な違いは無いと考えて差し支えないと考えられる．

⑸ 実装の方向性

以上の検討から，利用者均衡配分モデルをベースとした交通モデルの導入と，MATsim の導入を比較すると，次のような観点があげられる．

〇実用性の低下

MATsim では 10 年分の将来予測に数十時間を要し，かつ後述のメモリ使用量から同時処理も困難である（=1 ユーザーが計算リソースを占領してしまう）ことから，1 回あたり 30 分～数時間程度の計算時間で複数ユーザーのリクエストを同時に処理できる現在の Web アプリケーションと比較して，ユースケースの大幅な見直しが必要となる．

〇開発・運用・保守コストの上昇

MATsim での計算時間の増加を並列化等の工夫により補う場合，サーバースペックの増強が必要となるため，運用コストが増大する．試算では，一気通貫での実行に現在の 41 倍の時間を要するため，今後の開発や不具合調査等に要する工数も増大することが予想される．

〇計算リソースの逼迫

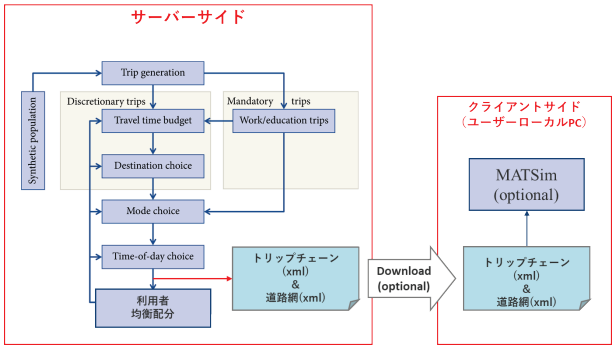


図 4　基本設計

MATSim の導入により，交通モデルの一工程である配分交通量推定処理がシミュレーション全体の計算時間の大半を占めることになる．これにより，今後トリップチェーンの生成処理や都市構造予測シミュレーション本体の改良など，計算時間の増加を伴うより有用な改修や機能追加が難しくなってしまう可能性がある．

〇メモリ使用量の増加

MATSim の推定メモリ使用量は，富山市相当のトリップ数で約 7[GB]である．Web サーバー機能等，シミュレーション以外のプロセスによるメモリ消費を考慮すると，現状のサーバースペック（メモリ 16[GB]）ではシミュレーションの並列実行は事実上不可能である．

〇GPL ライセンスの波及

MATsim は，GNU GPL v2.0 ライセンスであることから，GPL ライセンスのソフトウエアを組み込むと，組み込まれたソフトウエア全体に GPL ライセンスが波及し，元々の Web アプリも強制的に GPL ライセンスとなる可能性が高い．このことは，今後の実装方法に大きな影響を与える可能性があるため，現段階ではただちに問題となりうるものではないが，今後の開発・改良の方向性次第では制約となりうる可能性が高い．

以上の観点から，開発中の都市構造予測・評価 Web アプリケーションへの適応性がより高い交通モデルは，現段階では利用者均衡配分を用いたアクティビティベースの交通モデルであると位置づけ，基本設計を行った（図 4）．なお，前述の通り計算時間を要するものの，ローカル PC 上であれば MATsim でのシミュレーションも有用だと考えられるため，xml 形式のトリップチェーンと道路網を出力させることで，サーバー外で MATsim でのシミュレーションも可能となるような設計を行った．

4.　まとめ

以上本報では，世帯マイクロシミュレーションに基づいた将来都市構造予測技術の実用化の一環で実装を進めている交通モデルの導入に関しての検討について報告した．計算時間・再現性の両面から，今回は利用者均衡配

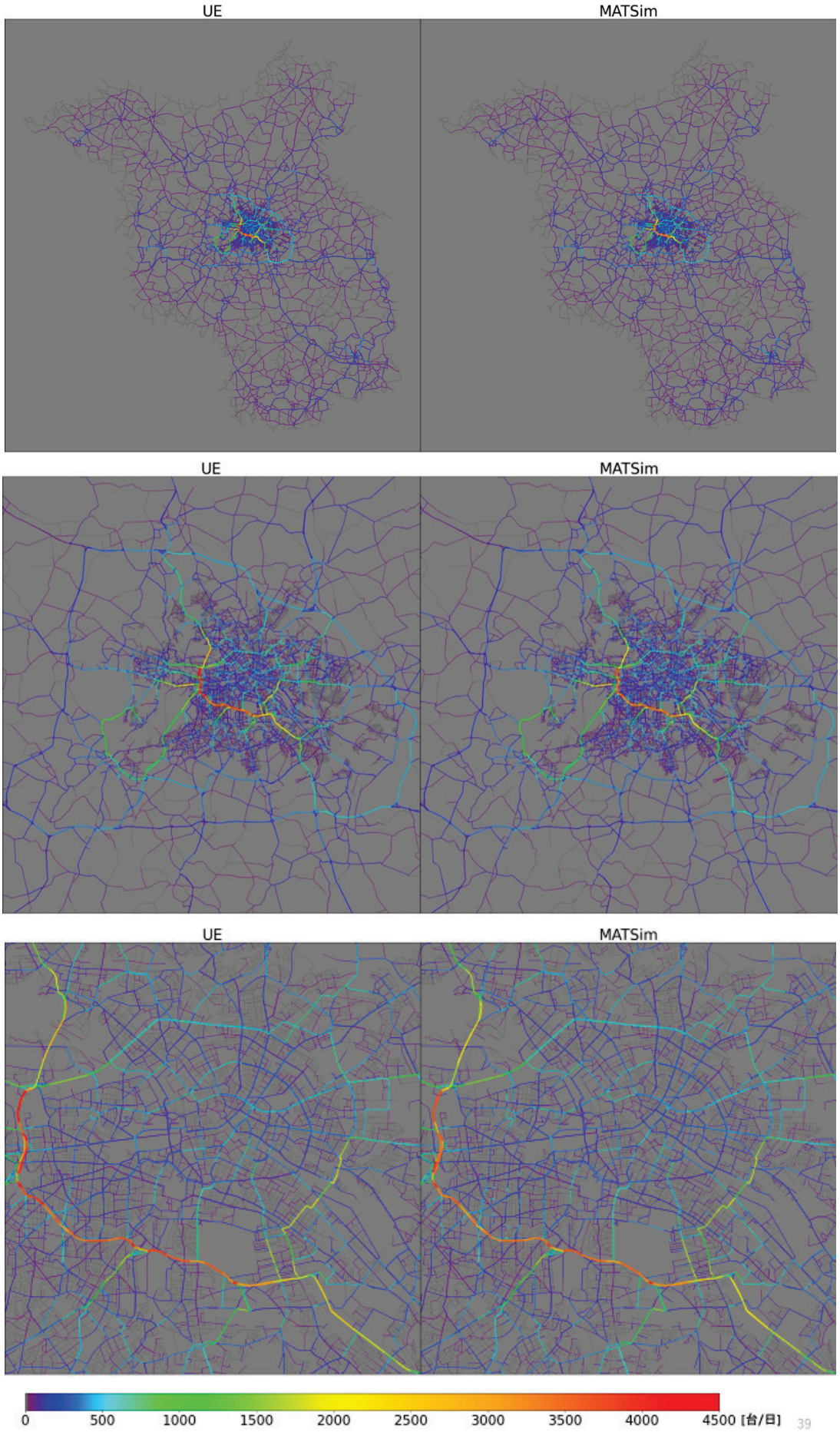


図 3　リンク交通量の再現性の比較

分モデルをベースとした交通モデルの導入を先行して行うことにし，現在，この検討を元にした実装（プログラム化）の第一弾の作業を進めている．今回は作業工程上の制約から，利用者均衡配分モデルをベースに，曜日別・時間帯別のシミュレーションを考慮しないモデルを元にしているが，第 2 弾ではこれらの時間要素を考慮した改良を加える予定である．

さらには，交通モデルの導入よる効果の比較検証や，交通モデルを考慮したユースケースの追加等も今後の課題・展開としてあげられる．

これらの検討結果については稿を改めたい．

注釈

注1）本研究は，国立研究開発法人建築研究所研究課題「人の移動を加味したマイクロシミュレーションによる将来都市構造予測・評価技術の開発（令和4～6年度）」の一環として実施した．

参考文献

1) 鈴木温，杉木直，宮本和明：空間的マイクロシミュレーションを用いた都市内人口分布の将来予測―ロ 40 万人規模の富山市を対象として―，都市計画論文集, Vol.51 No.3, 2016.
2) 阪田知彦，鈴木温，杉木直，正木俊行，田寛之：世帯単位の将来都市構造予測モデルに基づく都市構造評価 Web アプリケーションの作成，土木計画学研究・講演集，Vol.64, CD-ROM, 2021.
3) 国土技術政策総合研究所都市研究部：都市の将来像アセスメントツール技術資料，http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/depopulation/assessment/assessment-tdocj-v1.0.pdf（2023 年 10 月 10 日確認）．
4) 松田弘毅，杉木直，阪田知彦，鈴木温，松尾幸二郎：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，土木計画学研究・講演集，Vol.68, CD-ROM, 2023.
5) MATSim Community · MATSim Association：MATSim, https://www.matsim.org/（2023 年 10 月 10 日確認）．

FUNDAMENTAL STUDY ON INTRODUCTION OF TRAFFIC MODEL TO FUTURE URBAN STRUCTURE FORECAST BY HOUSEHOLD MICRO-SIMULATION

Tomohiko SAKATA, Atsushi SUZUKI, Nao SUGIKI, Toshiyuki MASAKI and Hiroyuki Den