

研究助成実施報告書

助成実施年度	2021 年度
研究課題（タイトル）	都市のリスクマネジメントに向けたエージェントベース・データ同化モデル
研究者名※	永井 秀幸
所属組織※	京都美術工芸大学 工芸学部 建築学科 専任講師 (宮城大学 事業構想学群 准教授)
研究種別	研究助成
研究分野	都市政策、都市経済
助成金額	150 万円
発表論文等	INTERNATIONAL JOURNAL OF URBAN SUSTAINABLE DEVELOPMENT 2023, VOL. 15, NO. 1, 14-34

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団2021年度研究助成実施報告書

所属機関名 京都美術工芸大学
宮城大学
申請者氏名 永井 秀幸

研究課題	都市のリスクマネジメントに向けたエージェントベース・データ同化モデル
<p>(概要) ※最大10行まで</p> <p>本研究は、応募者の都市ダイナミクスに関する研究成果および新型コロナウイルス感染症の地域伝播に関する研究成果を統合的に発展させ、様々な問題を抱える我々の都市空間の、持続可能な発展への転換の実現に向けた都市動態のマネジメント手法の探求を企図する。本研究は、知的エージェントによる人工社会アプローチを採用するが、都市動態といったマクロ挙動のマネジメントの観点からは、行動主体たるエージェントの交通行動や転居といったミクロ挙動の実装は複雑化せざるを得ない。そのため、モデリングとシミュレーション実行の繰り返しを通して、システムの普遍的性質を理解し、加えて課題とその解を探索するという、構成論的手法を指向する。</p>	

1. 研究の目的
<p>コロナ禍を背景とした都市・建築におけるひとびとの行動様式の大きな変化は、様々な問題を抱える我々の都市空間を、持続可能な発展へと転換させる契機ともなり得る。本研究は、その実現に向けた都市動態のマネジメントのための課題発見・解決指向のシミュレーション科学の確立を目的とする。すなわち、応募者による都市ダイナミクスに関する研究を発展させ、世帯、就業就学先、公共サービス施設が配置された都市空間状態モデルと、短期・中期的には通勤通学とそれらに伴う人的交流、長期的には転居などを自律的に行う住民エージェントとを、都市動態モデルとして統合する。そして、このモデルによるシミュレーション実験を通して、強権によるトップダウンではなく、住民の行動に対する穏当な介入により、長期的な観点から都市空間をボトムアップで持続可能な発展へと誘導するシナリオの探索を通して、この目的の達成に迫る。</p>

2. 研究の経過
<p>新型コロナウイルス感染症が収束せず、詳細な現地調査が困難となったことや、自治体関係者に対するヒアリングの中で、近年盛んに議論されている公共交通指向型開発の導入や、同じく近年盛んに行われている超高層集合住宅の建設・供給が、都市の形態に与える中・長期的な影響を、その基本的なメカニズムとともに推定することが重要な課題であると判断し、抽象モデルに基づいて取り組むこととした。そして、その成果をまとめた論文を、国際学術雑誌に発表した[1]。さらに、どのような都市機能を導入するの判断には、コミュニティの状況を把握する必要であることから、実際の都市を対象に、世帯構成分析およびインタビュー調査を実施した。</p>

[1] H. Nagai and S. Kurahashi, "Simulating the re-concentration of dispersed habitation in the peripheral urban area using an artificial society approach," International Journal of Urban Sustainable Development (SCIImago 社 2021 年ジャーナルランキング 上位 25%) , Vol.15, No. 1, pp.14-34, 2023. DOI: 10.1080/19463138.2022.2157005

3. 研究の成果

2.1 スプロール+トラムモデルの構築

スプロール+トラムモデルは、スプロール化が進行した日本の典型的な地方都市へのトラムの導入を抽象化したものである。まずスプロール化のモデル化として、当初、職住分離のゾーニングに則って計画された、中心業務地区(CBD)とその郊外の鉄道路線沿いのベッドタウンが、モータリゼーションを背景とした世帯の自律的な転居の繰り返しの通して変容し、大部分の住居がCBDを取り囲むように低密度に拡散している。二つの駅とそれらを結ぶ鉄道および幹線道路とともに、均一かつ高密度で車道および歩道が配置されていると仮定する。世帯エージェントの数は1,000と設定する。1世帯エージェントが実際の10世帯に相当し、すなわち実際の10,000世帯のふるまいをシミュレートする。CBDにも同数の職場が、中央駅を中心とした正規分布に基づき配置される。加えて、CBDに、多様な、思いがけない活動呼び込む役割を担う、都市居住者が日常的に気軽に利用できる拠点施設を1か所配置する。拠点施設を中心として半径500mの範囲内では、交流促進政策の実施を考慮する。そして、この状態を下敷きにして、中心市街地へのトラムの導入を考慮する。トラム路線は、鉄道と相互乗り入れを想定する。すなわち、中央駅から放射状に3路線が設置され、かつ端部はCBDを取り囲む拡散した住居群を通過する。各路線には一般的な実際のトラムと同様に、400m間隔で停留所が設置される。スプロール+トラムモデルの概念図を図1に示す。

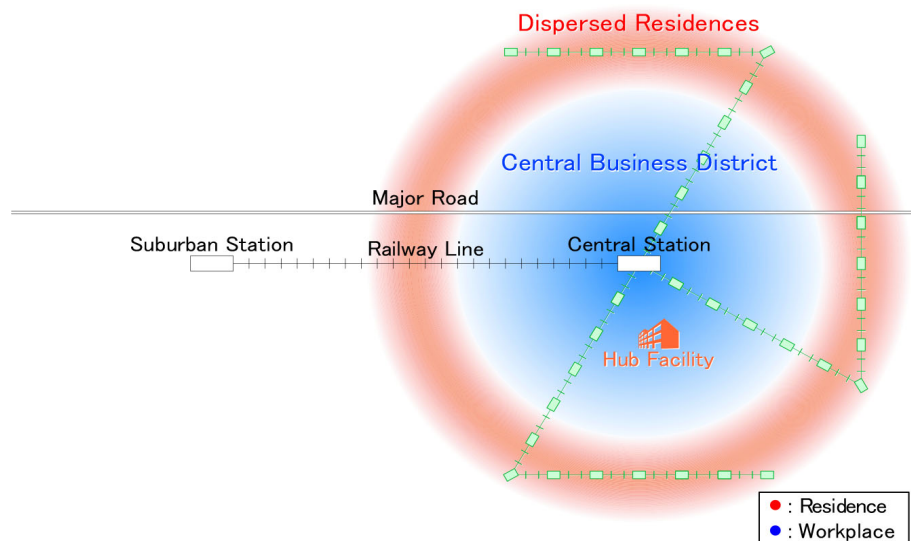


図 1 スプロール+トラムモデル概念図

2.2 モデルにおける世帯エージェントのふるまい

シミュレーションにおける世帯エージェントのスケジューリングを図2に示す。移動距離や利用可能な交通手段、交通密度といった都市の変数が交通行動に影響を及ぼすという実証的な知見をモデルに反映するために、世帯エージェントの交通行動は、都市モデル上で空間的に明示的に行われる。毎回の交通行動は、自ら選択した目的トリップに従う。目的トリップを構成する手段トリップの中で最も代表的な交通手段を、その目的トリップの代表交通手段と呼ぶ。代表交通手段は、徒歩、自転車、鉄道、自家用車、トラムの4種類が想定されている。現実世界のモータリゼーションの進行を反映し、シミュレーション開始時は、大多数の世帯エージェントの代表交通手段は自家用車である。各世帯エージェントが住居を出発し、やがて全世帯エージェントが職場に到着した後、次いで拠点施設に向けて出発する。そこに滞在後、最後に住居へ戻る。住居に到着後、総移動コストを時間コスト、料金コスト、疲労コスト、交流価値に基づき計算する。世帯エージェントの交通手段の学習プロセスには、強化学習を援用する。それは、個人の交通手段や経路の選択は、多分に習慣的、限定合理的であるとの知見を反映するためである。このコストに従って、目的トリップの価値リスト内の、選択された目的トリップの価値を更新する。次回以降の交通行動は、この価値リストより選択された目的トリップに従う。

学習期間を経て全世帯エージェントが交通手段を収束させた後、ランダムに選ばれた10%の世帯エージェントは転居を行う。当該世帯エージェントには、その時点での住居の分布から大きく外れない範囲内にある候補地が10か所提示される。そして、その中で想定総生活コストが最小となる候補地に転居する。候補地における想定総生活コストは仮想移動コストと地代との和とする。この転居によって土地利用パターンが変化する。一回のシミュレーションはこの転居サイクルを20回繰り返す。モデルにおける一転居サイクルは現実世界の2年間を代表すると仮定する。すなわち、一回のシミュレーションは現実世界の40年間に相当する。

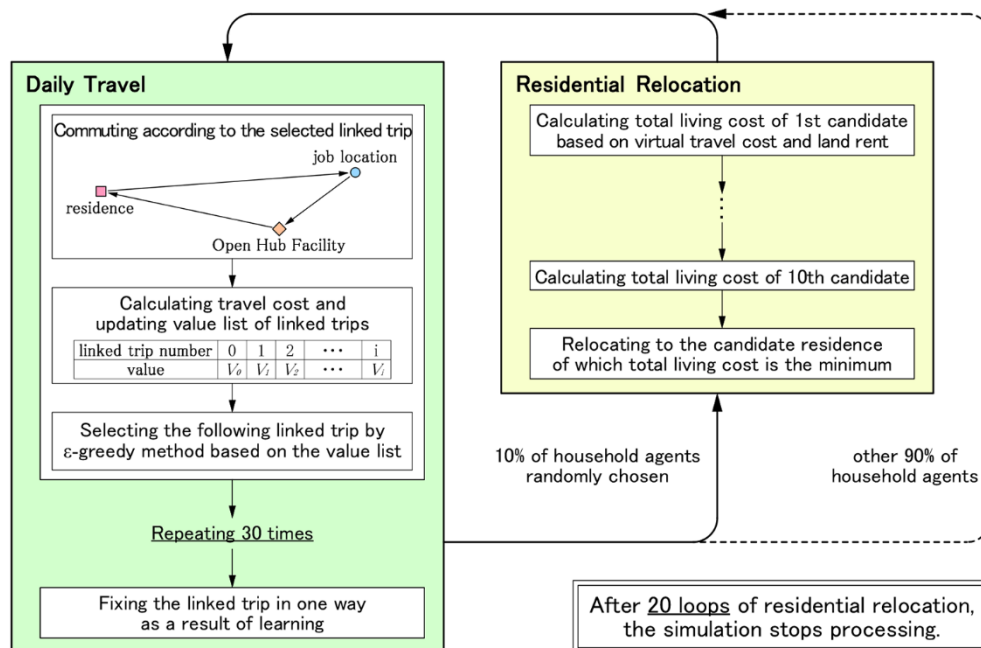


図2 世帯エージェントのスケジューリング

3. 研究結果

3.1 スプロール+トラムモデルによる交流促進政策とトラム導入の影響の推定

スプロール+トラムモデルによって、都市居住者に開かれた拠点施設の設置、その周辺での交流促進政策、およびトラムの導入の実施を想定したシミュレーション実験を実行した。拠点施設の位置は2通り、交流促進係数は4通りを組み合わせたシナリオを設定する。図3は各シナリオの最終的な住居の分布を示したものである。拠点施設を設置しない場合、自家用車利用世帯が更に増加し、CBDを取り囲む拡散的居住も更に広範囲に進行する。拠点施設を設置した場合、交流促進政策が弱い段階では同様に自家用車利用世帯が更に増加し、拡散的居住も更に広範囲に進行する。しかし、更に交流促進政策を進めると、自家用車利用世帯の半分以上がトラム利用に転換する。この転換に伴い総二酸化炭素排出量も4割以上減少する。さらに実行期間を延長した場合、トラム利用世帯は合計で9割近くに達する。そして、住居の分布に関しては、下記の二つのクラスターが創発する。一方は鉄道とトラムを組み合わせで通勤する世帯(全体の約2割)からなる、郊外駅を中心としたクラスターであり、もう一方はトラムのみで通勤する世帯(全体の約7割)からなる、CBDの中心部から周縁にまで及ぶ、トラム路線沿いのクラスターである。すなわち、トラム利用と併せて徒歩で利用できる拠点施設の適切な配置に加え、その周囲での交流促進政策が一定の規模に達すると、あたかも「相転移」が起こるように、急激に自家用車利用のトラム利用への転換、それに伴う二酸化炭素排出量の削減、および拡散居住の改善が見られた。加えて、さらに長期間こうした政策を継続させることで、都市環境を大幅に改善することができた。

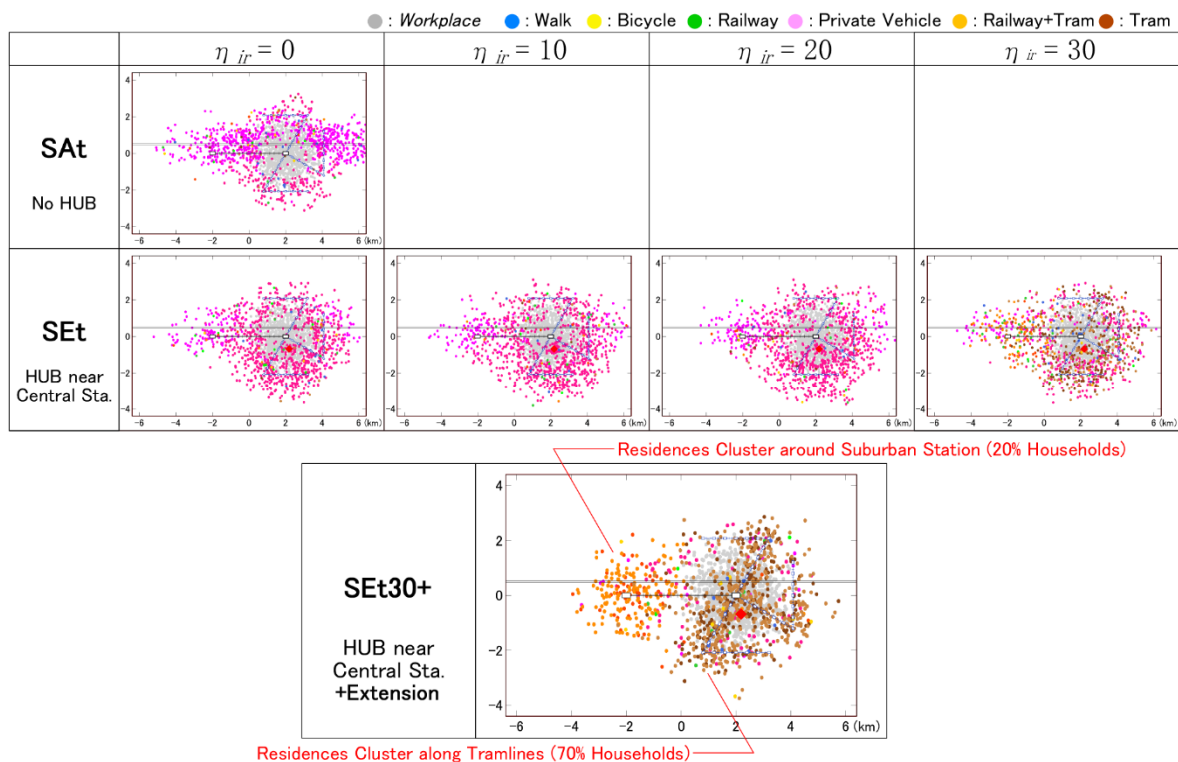


図 3 住居の分布

3.2 郊外住宅地のコミュニティ調査

近年、各地の地方都市でも、ライトレール(トラム)の導入や超高層集合住宅の建設が計画されてきている。しかし、どのような都市機能を導入するかを決定するには、対象となる都市・地区ごとに、コミュニティの状況を把握する必要がある。特に、孤独や孤立など、包摂的な社会関係を構築するための調査も重要となる。そこで、関西地方のあるニュータウンを対象に、合成人口データを用いた世帯構成の調査とインタビュー調査を実施した。図4に、合成人口データから推定した人口配置を示す。これらの調査から、駅に近い地区では、高齢者世帯や高齢単身世帯が比較的多く、駅から遠い地区では、夫婦と子供の若い世帯が多いことがわかってきた。また、地域活動に関わるきっかけとしては、子供を介してママ友と知り合うことが最も多く、続いて地域イベントへの参加が契機となったと話す人が多かった。こうした分析から、コミュニティ内の高齢者向け交通手段や、学校区単位でのつながり、地域イベントの重要性などが明らかとなり、それらをサポートする都市機能の導入が求められていることが示唆された。

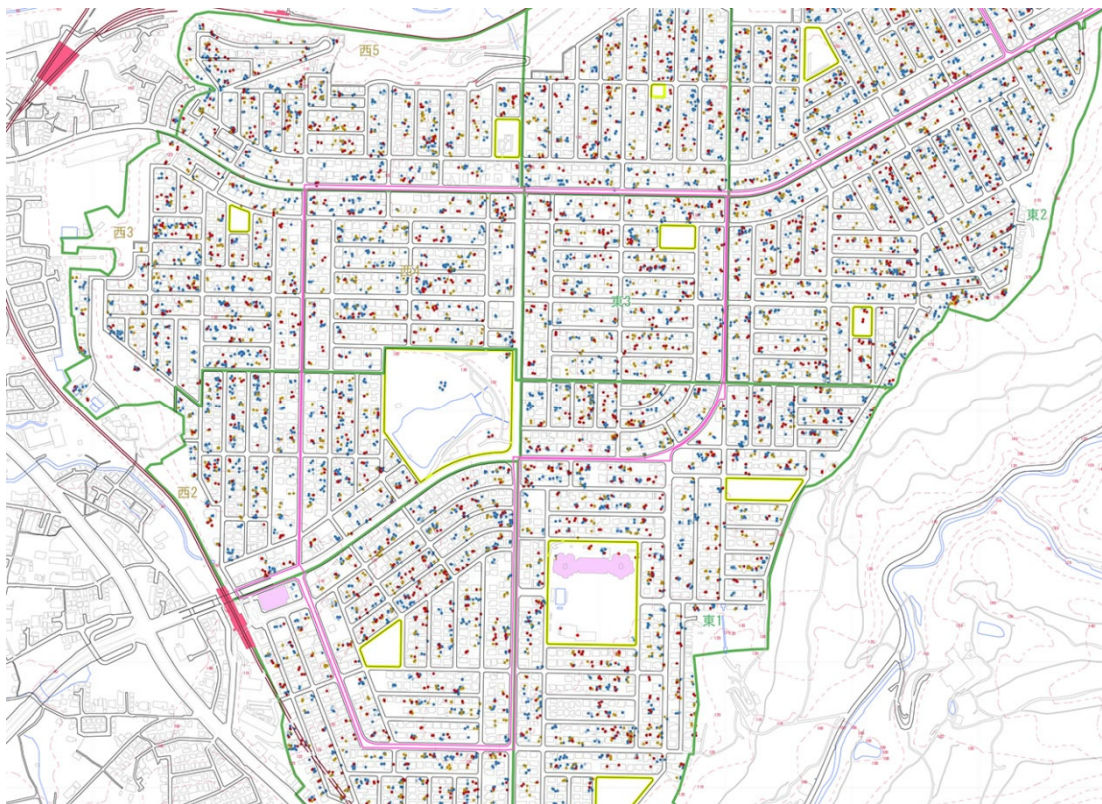


図4 合成人口データによる推定に基づく人口配置

4. まとめ

新都市の周縁における拡散的な居住の改善が、空間的に明示的な自律的エージェントと平面都市スキームとのマイクロ-マクロリンクに基づいてモデル化された。このことは、拠点施設の適切な配置、交流促進政策、トラム導入の組み合わせが、持続可能な都市の成長に向けたマネジメントに有効であることを示唆している。

交流促進政策は、利便性や安全性、豊かな体験といったインセンティブにより、市街地における歩行を誘導する施策である。一方で、実際に成果を上げているトラムの導入例は、その多くが、歩行者に優しい別の施策と組み合わせられている。例えばドイツのカールスルーエでは、トラム沿線の一部のトランジットモール化、すなわち自家用車の通行制限を伴う。また、日本の富山で

は、中央駅から離れたトラム沿線の商店街の再活性化にも力が入れている。すなわちこの実験は、トラムの導入が、トラム利用前後の「街歩き」を誘導する政策と組み合わせられることで、都市環境の改善に大きな効果を発揮するという機序を明らかにしたといえるだろう。

シミュレーション上で創発した住居のクラスターは、当初の職住分離に基づく多中心的で合理的な土地利用からは逸脱しているものの、コンパクトな都市化としての、下記のような肯定的な評価が可能である。第一に、公共交通機関利用主体の職住近接型「街なか居住」の実現により、居住者がラッシュアワーの苦痛や大気汚染から解放されることである。第二に、混合土地利用によって中心市街地に幅広い社会活動がもたらされ、その再活性化を後押しすることである。

地方都市スケールにおける「公共交通指向型開発」モデルの導入という視点では、TODの基本的な原則と政策の限界と、その正当性の両方を見出すことができた。すなわち、既存の自動車依存と分散型開発地域内に対処するには、TODという特定地域の開発戦略と協調的な施策との調和したパッケージを「レトロフィット」させることが必要であるということである。そして、その「レトロフィット」の成功のための必要最小限の要素の一つ目は、トラムといった質の高い公共交通機関の導入である。もう一つは、我々が交流促進政策と呼んだ、交通と緊密に統合・協力した交通結節点周辺地域への活動の誘致である。

4. 今後の課題

リアル指向の都市動態モデルの開発に向けた課題としては、第一に、更に現地調査およびデータ分析を重ね、対象地域の特性や課題を抽出のうえで、都市動態モデルと合成人口データとを合成することの難易度が挙げられる。この課題に対しては、住民の自律的行動に基づいた都市動態モデリング、および合成人口データに基づいた地域のモデリングの両方において、今回の成果を含め既に実績があるため、対処可能であると考ええる。第二に、現実世界に対するモデルの妥当性の確保が挙げられるが、人工知能を応用した帰納推論手法である逆シミュレーション手法を用いたモデルパラメータの最適化により、観測可能な実データとの整合性は担保できると考える。加えて、国際的研究において妥当性検証の基本技術となっているパターン指向モデリング手法を用いて、モデルから出力される意図しない複数のパターンと実際の現象との一致度を調べることによって、モデルの妥当性を検証することを企図している。