

にぎわい施設を考慮した都市動態シミュレーション

Urban Dynamics Simulation Considering The Placement of A Facility for Dropped by

永井 秀幸*¹ 倉橋 節也*²
Hideyuki NAGAI Setsuya KURAHASHI*¹筑波大学大学院ビジネス科学研究科経営システム科学専攻
Graduate School of System Management, University of Tsukuba*²筑波大学大学院ビジネス科学研究科
Graduate School of System Management, University of Tsukuba

In this paper, by multi-agent simulation on a simple urban model, we discuss a possibility that placement of a public facility that people drop by in daily life and bustle around the facility and traffic policy for improvement of urban environment change the urban structure to desired state indirectly through individuals' selection of traffic action and residence.

By simulation experiments we clarified that by combination of urban development policies of placing the facility and improving the attractiveness for walkers and cyclists according to accumulation of them in the surrounding of the facility, compactification of urban structure and the reduction of CO₂ emission are achieved. In addition, we clarified that combination of traffic policy of car exclusion from the center city and the policies of slight adjustment of the position of the facility and improvement the attractiveness brings not only large positive impact by synergy but occasionally negative impact.

1. 研究の背景と目的

日本の多くの都市では、市街地構造のスプロール化及び中心市街地の空洞化が進行しつつある。そのプロセスは一般的に、高度経済成長期に自動車を中心とするライフスタイルが一般化することで低密度な市街地の拡大が続き、併せて地価の安い市街地の郊外に自動車でのアクセスを前提とした大資本によるチェーン展開の小売店舗や大型商業施設、及び公的施設が配置されることで、それ以前の主たる交通結節点であった鉄道駅の周辺に発展してきた中心市街地から住民の足が遠ざかり、その活力が衰退している説明できる。

この状況は、結果として公共サービスの希薄化による生活利便性の低下や近隣コミュニティの喪失、及びそれに伴う治安の悪化、加えて自動車依存による化石資源消費の増大及び大気汚染等が連鎖するという問題を引き起こしている懸念される。今後、人口減少及び高齢化が進むことは明らかであり、また限られた巨大都市圏への人口集中の傾向が続く中でこうした問題は深刻さを増すと考えられ、その対策としてコンパクトシティへの転換が模索されている。

コンパクトシティが持つべき空間的な基本要素は、最小限の面積で高密度な市街地、脱自動車、公共交通ネットワークで結ばれたコンパクトな都市群からなる都市圏等であり、これらによって自動車依存の軽減、土地空間資源の有効活用、自然環境の保全、活気ある中心市街地の維持及び形成、高効率な都市インフラとサービス等の効果があるとされ[海道 07]、

しかし、我々の生活する都市が、個人及び家族や企業といった組織という様々な主体が自律して動作しながら織りなすシステムであるという視点に立つと、そのダイナミズムを直接制御することは困難である。

そこで本研究では、単純化した都市モデルを用いたマルチエージェントシミュレーションにより、日常生活において立ち寄りの対象となる公共的な施設の配置及びその周辺の賑わい、

及び都市環境の改善を目的とした自動車利用抑制のための交通施策が間接的に都市の構造及び環境を望ましい方向へ変化させる可能性を検証し、その構造について議論する。

2. 関連研究

谷口らは、都市のコンパクト化施策とモビリティマネジメント施策を協調させることの必要性をシナリオ分析から指摘した谷口らの研究[谷口 03]、転居前の交通行動が習慣として転居後にも引き継がれる、即ち以前の交通行動選択が居住地選択に影響を与えることから、自動車依存傾向の低下を目指すモビリティマネジメントによって都市が自ずとコンパクトなものへと変容する可能性を指摘した藤井らの研究[藤井 07]及び藤井の研究[藤井 08]、及び各世帯が地価と就業地までの距離を考慮して居住ゾーンを選択する土地利用モデルのプロトタイプを構築した戸川らの研究[戸川 08]を踏まえ、自動車利用を抑制するソフト施策が、個人の交通行動選択と居住地選択を介して都市の形態の変化を生み出していくことを、マルチエージェントシミュレーションを用いて構造的に検証した[谷口 11]。

磯野らは、居住地と駅などの都市の中心部との間の往復移動の途中で地域施設を利用する立ち寄り行動を考慮した確率効用関数に基づくロジットモデルを用いて、栗原らの研究[栗原 72]で言及されたような、駅から施設を挟んで反対側の地域において当該施設の利用者の分布が大きく伸びるという「卵型」の圏域が形成されるメカニズムを説明し、実在の都市を対象にしたシミュレーションを行うことでそのモデルの妥当性を示すとともに、立ち寄り利用を考慮した施設の最適配置及び規模を算出する手法を示し、ケーススタディを行うことで、図書館計画においては駅の近くに施設を設けることが高い利便性を実現する上で有効であることを示した[磯野 11]。

これらの研究は各々非常に有用な知見を与える反面、住人の行動の変化による都市動態の間接的なコントロールの可能性と公共空間の配置による都市空間の改善可能性を同時に検証するという本研究の目的に対し、単体では不十分である。こ

連絡先: *² kurahashi.setsuya.gf@u.tsukuba.ac.jp

の課題に対して本研究では、谷口らの研究 [谷口 11] で用いられたものをベースにした都市モデルを用いて、住人が住居を出発し勤務先へ通勤或いは就学先へ通学し、加えて磯野らの研究 [磯野 11] で言及された図書館のような地域施設への立ち寄りを経て住居へ帰宅するという交通行動を想定した上で、その立ち寄りの対象となる施設の配置及びその周辺の賑わいの変化が、住人の交通行動選択と居住地選択を介して間接的に都市構造を望ましい方向へ変化させてゆく可能性をマルチエージェントシミュレーションを用いた実験により検証し、その構造について議論する。続けて、モビリティマネジメントの一種である都市環境の改善を目的とした自動車利用抑制のための交通施策を併用した場合の都市構造の変化についても同様に検証し、その構造について議論する。

3. シミュレーションモデル

3.1 都市モデル

fig.1 に都市モデルの概略図を示す。これは現実世界の中心市街地及びそれと鉄道及び幹線道路で接続される郊外住宅地の関係を簡略化してモデル化したものである。

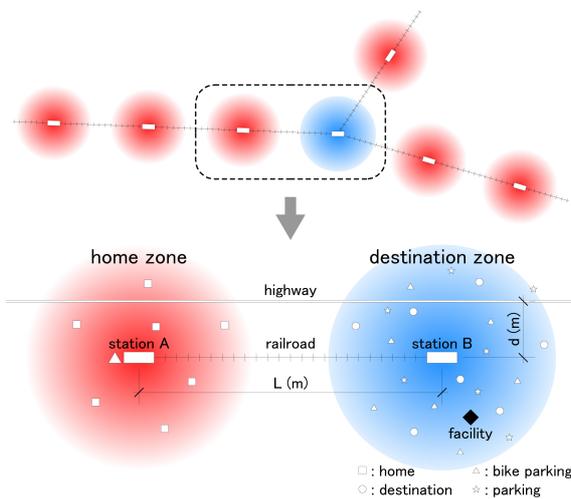


fig. 1: simple urban model

シミュレーション空間上には居住ゾーンと目的地ゾーンの2つの領域が設定される。前者には各住人エージェント毎に住人エージェントの日々の交通行動の基点となる住居が配置され、後者には各住人エージェントに対応した、交通行動の折り返し地点となる目的地が配置される。加えて実験によっては目的地ゾーンの内部或いはその周辺に、全住人エージェントの立ち寄りの対象となる立ち寄り施設が一箇所配置される。

居住ゾーンと目的地ゾーンにはそれらの中心部にそれぞれ1つずつ駅が配置され、その間に鉄道路線が設置される。前者を駅A(居住地駅)、後者を駅B(目的地駅)とする。駅Aと駅Bは同緯度で西に駅A、東に駅Bが距離Lで配置され、二つの駅の中点を原点とする。住居の初期値は住人エージェントの数nと同数が駅Aを中心とした正規分布に基づきランダムに配置される。目的地もn箇所が駅Bを中心として同様に配置される。全ての場所において均一かつ高密度で歩道及び車道が配置されていると仮定し、全ての地点は平面的に連続に接続され、住人エージェントは歩行、自転車及び自動車での移動によりこの連続的な空間を移動する。また、幹線道路が鉄道路線の北をモデル平面上の西端から東端まで設置され、自動車移動する

住人エージェントはこの幹線道路では他の空間よりも高速に移動できる。また、駅Aには無限の台数を収容可能な駐輪場が併設され、目的地ゾーンには目的地と同数及び同様の分布で駐輪場及び駐車場が配置される。立ち寄り施設にも無限の台数を収容可能な駐輪場及び駐車場が併設される。

3.2 交通行動

各住人エージェントは毎日、住居から目的地へ向かい、その後実験によってはそのまま、或いは立ち寄り施設への立ち寄りを経て住居に戻る。

出発地から最終目的地へ到着するまでの、単一あるいは複数の交通手段を用いた一連の交通行動を目的トリップ(linked trip)と呼ぶ。目的トリップのうち主たる交通手段は徒歩、自転車、鉄道及び自動車のうちのいずれかとなる。

3.2.1 コスト

各住人エージェントのi番目の目的トリップの総移動コスト C_i は以下のように計算される。

$$C_i = \omega_T C_T + \omega_M C_M + \omega_F C_F - \omega_B B$$

$$\omega_T, \omega_M, \omega_F, \omega_B \geq 0$$

C_T, C_M, C_F, B はそれぞれ時間コスト、料金コスト、疲労コスト、賑わいボーナスを表す。同様に $\omega_T, \omega_M, \omega_F, \omega_B$ はそれぞれの選好バイアスを表す。

総移動コスト C_i は各住人エージェントが住居に戻るたびに計算され、住人エージェントは総移動コスト C_i に従ってi番目の目的トリップの価値 V_i を下記のように変化させる。

$$V_i \leftarrow \alpha(-C_i) + (1 - \alpha)V_i$$

各住人エージェントの交通行動はこの価値 V_i に基づいた ϵ -greedy法により毎日選択される。

3.2.2 立ち寄り施設周囲の賑わいの影響

本研究では徒歩又は自転車で移動する住人エージェントが、立ち寄り施設の影響圏域として設定された立ち寄り施設を中心として半径 R_F の範囲内を移動する際に賑わいボーナスを考慮する。当該住人エージェントの周囲半径 r_{bust} 内を自身と同様に徒歩又は自転車で移動する住人エージェントが1以上存在する際に賑わいボーナスを獲得すると考え、その際の賑わいボーナス B を下記のように決定する。

$$B = \min(\eta_{bust} D_{bust}, B^{max})$$

ここで、 D_{bust} は当該住人エージェントの周囲半径 r_{bust} 内を自身と同様に徒歩又は自転車で移動する住人エージェントの数、 η_{bust} は密度から賑わいボーナスへの変換係数を表す。

賑わいボーナス変換係数 η_{bust} は、立ち寄り施設の影響圏域での歩行人の集積に従って、歩道及び自転車道の整備や商店の充実といった官民双方によるその場所の魅力を上向きさせ、更なる賑わいを生むことを目指す街づくり施策の実行度合を意味する。以降、この施策を賑わい促進施策と呼ぶ。

3.2.3 移動

本研究の実験では、全ての住人エージェントは住居を同時に出発する。

全住人エージェントが目的地に到達した後、住居からの出発と同様に全住人エージェントが目的地を同時に、立ち寄り施設へ立ち寄らない実験においては住居へ向かって、立ち寄り施設へ立ち寄る実験においては立ち寄り施設へ向かって出発する。立ち寄り施設に到着した住人エージェントは次いで住居へ向かって出発する。

3.3 居住地選択

指定の日数が経過し交通行動が収束した後に、住人エージェントの一部は居住地を変更する。

まず、居住地を変更することになった住人エージェントには、その時点での住居の分布から大きく外れない範囲内でランダムに指定数の候補地が提示される。住人エージェントはこれらの候補地の中で自身の総生活コスト C_i^l が最小となる候補地を新たな居住地とする。総生活コスト C_i^l は総移動コスト C_i と地代 R_i の和で表される。

$$C_i^l = C_i + R_i$$

3.3.1 移動コスト

それぞれの候補地における総移動コスト C_i は、提示された候補地へ仮想的に転居し、そこで移動を行うことで計算される。その際、他の住人エージェントも同時に移動を行うことで、渋滞や賑わいボーナスを加味した総移動コストが計算される。また、藤井らの研究 [藤井 08] に基づき、その際の移動手段は転居前のものを踏襲するものとする。即ち、住人エージェントの居住地選択はその住人エージェントの習慣的な交通行動選択に影響を受ける。

3.3.2 地代

それぞれの候補地における地代 R_i は、戸川らの研究 [戸川 08] で用いられた土地消費量と地代の関係を示す式を参考とし、下記に従うものとする。

$$R_i = \eta_R^h I_i^h \left(\frac{A^h}{A} \right) + \eta_R^d I_i^d \left(\frac{A^d}{A} \right)$$

η_R^h 及び η_R^d は変換係数、 I_i^h 及び I_i^d は当該範囲内の住居及び目的地数、 A は当該範囲の面積、 A^h 及び A^d は住居及び目的地一単位の消費面積を表す。即ち地代は居住及び労働・就学人口の集積に応じて上昇する。

4. 実験 1 - 立ち寄り施設配置の影響

4.1 実験概要

まず、立ち寄り施設の配置及びその影響圏域における賑わい促進施策の効果について考察するために実験を行う。

モデルのパラメータは、谷口らの用いた実験モデル [谷口 11] を含めた様々な資料からの断片的な情報に基づき妥当と考えられる値を設定する。各実験で、住人エージェントは交通行動選択の学習を 30 日間行い移動コストを最小化するように交通行動を固定させ、その後 10 箇所の候補地のうちから総生活コストを最小化するように居住地選択を行うというループを 20 回行い、最終的な住居の分布と交通手段を決定する。また、一度に転居する住人エージェントの数は全体の 1/10 とする。

実験では、立ち寄り施設の位置と賑わいボーナス変換係数 η_{bust} を変化させ、移動手段の割合、住居の分布、総 CO₂ 排出量、平均移動時間の変化を観察する。

4.2 実験結果

何の施策も実施されない場合、自動車利用者の住居は、総移動コストの安さゆえ地価が高い目的地ゾーンの中心部にも、安い周辺部にも広く分布し、職住分離のゾーニングがなされた当初の都市構造から自動車利用中心のスプロール構造へと大きく変化するという、現実世界で観察される都市構造のスプロール化が再現され、本研究の都市モデルの妥当性が確認された。

そして、立ち寄り施設を配置しそこに立ち寄りという行為が加わるだけでは、その配置が目的地ゾーンのどの場所であって

も何の施策もなされない場合と比べて経過は殆ど変わらないが、賑わい促進施策を併用することで、多くの場合、都市構造のコンパクト化及びそれに伴う CO₂ 排出量の削減に効果を発揮することが分かった。

その中でも立ち寄り施設の配置は、立ち寄り施設での滞在時間を考慮しないという前提の下では目的地から適度に距離を置いた近傍が有利になり、駅と同位置の場合、立ち寄り施設 → 駅 B の過程で賑わいボーナスが得られないため自動車利用者の他の交通手段への転換を妨げた。即ち、立ち寄り施設の位置の微妙な違いが将来的な都市の構造や環境に大きな違いをもたらす可能性が示された。

また、都市構造のコンパクト化や CO₂ 排出量の削減が達成される場合でも、住民に移動時間の増大というデメリットを強いることが明らかになった。

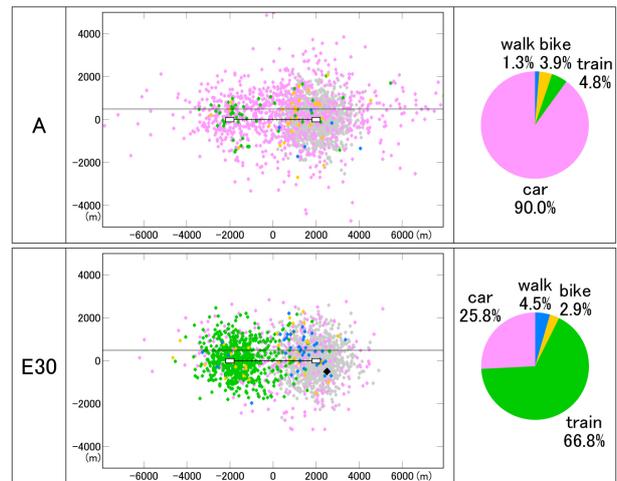


fig. 2: final distribution of homes and utilization ratio of each way with top : no facility for dropped by and bottom : facility near the sta.B and $\eta_{bust} = 30$

5. 実験 2 - 自動車利用抑制施策の影響

5.1 実験概要

省エネルギーや市街地における交通渋滞緩和、歩行者及び自転車利用者保護及び大気汚染軽減のための施策として、市街地への自動車乗り入れ抑制がある。アメリカや欧州でよく見られる”park and (bus) ride”はそのような施策の一つであり、これは自家用車の乗り入れを郊外の鉄道駅やバス停までに制限し、市街地へのアクセスは鉄道やバスといった公共交通機関を利用させるものである [北村 08]。

本節では、立ち寄り施設の配置に加え上記のような中心市街地への自動車乗り入れ抑制施策、具体的には実験 1 とは異なり目的地の大多数を包含する駅 B を中心とした半径 1500m の円周上に駐車場が設置され、自動車利用者のこの範囲内での移動は目的地から最も近い駐車場から徒歩で行うという、いわば”park and walk”施策が実施されるという仮定の下で実験を行う。尚、通過交通排除の観点から幹線道路も線路の北方 1500m に設置する。また居住地選択においても、自動車利用者にはこの範囲外の転居候補地のみが提示される。

立ち寄り施設の駅 B からの距離の違いについて考察するため、立ち寄り施設を配置しない場合と位置が C,D,E の場合について実験を行う。

5.2 実験結果

立ち寄り施設配置のみを実施する場合と比較すると、全般的に自動車利用者の減少とそれに伴う都市構造のコンパクト化及びCO₂排出量の削減に効果が現れるが、特に立ち寄り施設が自動車交通排除範囲内にある場合に、賑わいボーナスを考慮しない段階で大きな効果が現れる。しかし、これらは立ち寄り施設の位置が直線距離で約700mしか変わらないにも関わらず、賑わいボーナス変換係数を増大させてゆくとつれ自動車利用者の減少及びCO₂排出量削減効果が、前者は悪化し、後者は改善してゆくという顕著な違いがある。これは、鉄道利用者が徒歩で移動する「立ち寄り施設 → 駅B」の過程で得られる賑わいボーナスが、前者では駅と立ち寄り施設が同位置であるため0となり、自動車利用者が徒歩で移動する「目的地 → 立ち寄り施設 → 駐車場」の過程で得られる賑わいボーナスに劣後するためと説明できる。即ち賑わい促進策が、立ち寄り施設の位置によっては却って都市の構造や環境に悪影響を及ぼす可能性が示された。

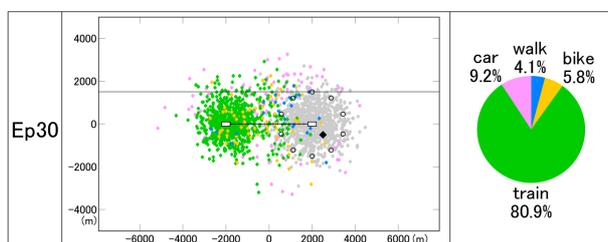


fig. 3: final distribution of homes and utilization ratio of each way with facility near the sta.B and $\eta_{bust} = 30$

6. 結論

6.1 研究の成果

本研究ではまず、シミュレーション上で現実世界で観察される都市構造のスプロール化を再現し都市モデルの妥当性を確認した上で、目的地ゾーンに立ち寄り施設を配置する実験を行った結果、施設を配置しただけでは、そこに住人が毎日立ち寄るといった前提の下であっても、その位置に関わらず配置しない場合と結果はさして変わらないが、賑わい促進策を併用することで、都市構造のコンパクト化やそれに伴うCO₂排出量の削減に効果を発揮することが明らかになった。その中でも、立ち寄り施設は目的地駅の近傍に配置することが有利になり、立ち寄り施設での滞在時間を考慮しないという前提の下では目的地駅と同位置に配置することは却って住人が賑わいの恩恵を受けにくくなるため自動車利用から鉄道利用への転換を妨げることが明らかになった。即ち、立ち寄り施設の位置の微妙な違いが年月の経過につれ都市の構造や環境に大きな違いをもたらす可能性が示された。

続いて、都市環境の改善を目的とした中心市街地における自動車利用抑制策を併せて実施する実験を行った結果、単体では都市のコンパクト化やCO₂排出量の削減に際立った効果を発揮することがなくとも、立ち寄り施設の位置の微妙な調整や、賑わい促進策を併用することで大きな効果を発揮したり、立ち寄り施設の位置によっては悪影響を及ぼすことが明らかになった。即ち、立ち寄り施設の位置によっては、賑わい促進策が、却って都市の構造や環境を悪化させる可能性が示された。

6.2 今後の展望と課題

本研究の都市モデルはフリーソフトウェア NetLogo を用いて作成されており、比較的容易に容易に条件を変更してシミュ

レーション実験が可能であるため、本研究の成果に留まらず今後もモデルを発展させることにより、現実世界の都市に対して実施すべき施策の指針を与えることが期待できる。

残された課題としては、第一にシミュレーションモデルと現実世界の都市との整合性の見直しである。例えば目的地駅と立ち寄り施設を同位置にすることは概ね不利に働くと結論を得たが、現実には賑わいに溢れ商業的にも成功しているエキナカ施設等を鑑みると、立ち寄り施設での滞在時間とその質的価値を考慮するようにモデルを見直す必要もあるように思われる。また、立ち寄り施設にその位置に関わらず毎日立ち寄る設定としたが、距離がその間の移動に関する意思決定に与える負の影響をモデルに組み込む必要もあるように思われる。また、住人エージェントの交通行動選択及び居住地選択に関し日常生活で接する他の住人の行動や社会的なトレンドに影響されるという規範行動をモデルに組み込む必要もあるように思われる。

第二に、現実世界の都市に対して実施すべき施策の指針を与える際のシミュレーション結果に対する評価基準の見直しである。本研究で言及した都市のコンパクトさ、CO₂排出量、移動時間といった基準に加え、実際の政策策定の際に重視される基準、また重視すべき基準を明らかにした上でそれらの最適な組み合わせとして提示する必要もあるように思われる。

参考文献

- [磯野 11] 磯野 雄人, 岸本 達也: 立ち寄り利用を考慮した公共図書館の利用モデルと最適配置の特性, 都市計画論文集, Vol. 46, No. 3, pp. 415-420 (2011)
- [海道 07] 海道清信: コンパクトシティの計画とデザイン, 学芸出版社 (2007)
- [栗原 72] 栗原 嘉一郎, 篠塚 宏三, 中村 恭三: 分館の利用圏域: 公共図書館の設置計画に関する研究・5, 日本建築学会論文報告集, No. 194, pp. 45-52, 97 (1972)
- [戸川 08] 戸川 卓哉, 林 良嗣, 加藤 博和: マルチエージェントアプローチによる均衡型土地利用モデルの拡張, 第37回土木計画学研究発表会投稿原稿 (2008)
- [谷口 03] 谷口 綾子, 高野 伸栄, 原文宏: かしこい車の使い方を狙ったトラベル・フィードバック・プログラムの試み (<特集>まちづくり・基盤整備とOR), オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, Vol. 48, No. 11, pp. 814-820 (2003)
- [谷口 11] 谷口 忠大, 高橋 佑輔: 交通行動の居住地選択行動への影響を仮定した都市動態のマルチエージェントシミュレーション, 計測自動制御学会論文集, Vol. 47, No. 11, pp. 571-580 (2011)
- [藤井 07] 藤井 聡: 交通行動と居住地選択行動の相互依存関係に関する行動的分析, 土木計画学研究 論文集, Vol. 24, No. 3, pp. 481-488 (2007)
- [藤井 08] 藤井 聡: 交通行動が居住地選択に及ぼす影響についての仮説検証: コンパクト・シティの誘導に向けた交通政策に関する基礎的研究, 交通工学, Vol. 43, No. 6, pp. 53-62 (2008)
- [北村 08] 北村 隆一, 飯田恭敬監修: 交通工学, オーム社 (2008)