

エージェントベースドモデルによる公共交通網が 都市構造に及ぼす影響の検討

瀧宮健介・磯田弦・中谷友樹・埴淵知哉

Examining the Effect of Public Transport Networks on Urban Structure Using Agent-based Model

Kensuke TAKIMIYA, Yuzuru ISODA, Tomoki NAKAYA and Tomoya HANIBUCHI

Abstract: Public transits are regarded as a solution to make a society less dependent on cars and to make a city more compact. However, retrofitting public transit in an already spread out city region would not have the same effect as having public transit in place before the urban expansion. This paper explores such historical dependency using agent-based simulation based on spatial interaction model. An agent is a cell representing a location in an imaginary city changing its employment and population. Simulations are conducted from different initial distributions of employment and population; one concentrated and the other spread out. Then the resulting urban forms with and without public transit are compared.

Keywords: コンパクトシティ (Compact city), 都市構造 (Urban structure), 公共交通 (Public transport), 空間的相互作用 (Spatial interaction), エージェントベースドモデル (Agent-based model)

1. はじめに

日本の地方都市において、自動車の普及による郊外化が進行する一方で、人口減少・高齢化といった問題が存在し、拡散した居住者の生活を支える行政等のサービス提供が困難となっている(国土交通省, 2015)。こうした諸問題における解決策の一つとして、都市内部の人口を集約化し、アクセシビリティを向上させることが挙げられる。

2014年に発表された国土交通省の「国土のグランドデザイン 2050」では、都市内において中心拠点の他に周辺拠点を数ヶ所整備し集約の核とする多極ネットワーク型コンパクトシティについての言及がある。このような複数箇所の拠点を整備する都市政策において、拠点間を結ぶ手段として都市内公共交通は大きな役割を果たすことになると考えられる。また、大庭ほか(2012)では、コンパクトな都市構造を実現する上で公共交通を活用することが重要であると述べられており、これを前提に定量的な数値シミュレーションを行っている。以上のことから、今後の地方都市の在り方について考えるうえで都市交通網の役割を検討することは重要であると考えられる。

しかし、コンパクトシティが政策として打ち出されている日本の諸都市において成功例は少なく、既に車中心の社会となってしまっている地方都市にお

いて公共交通網を活用する多核型コンパクトシティが本当に適しているかについては疑問の余地が残る。

こうしたなか、都市のコンパクト化について研究した論文も多く蓄積されている。藤岡ほか(2019)では、仮想的な都市において雇用地や商業地の集約化を行った場合の居住地の変化を、エージェントベースドモデルを用いて検証している。また、牧野ほか(2009)では、福井市を対象地域として郊外大型店舗立地の有無においてコンパクトシティ政策(鉄道サービス向上, CBDの容積率緩和, パークアンドライド)の効果を比較している。しかし、これらの研究では、シミュレーションにおいて公共交通網が考慮されていない、または考慮されていたとしても既存のものに留まっている。また、藤岡ほか(2019)の研究には1つのセルにおける複数世帯居住、つまりマンションなどの集合住宅が考慮できないモデルであるという課題が存在する。さらに、都市交通網の導入時期と都市圏の形成時期の前後関係が都市構造に及ぼす影響について言及している既往研究は無い。

以上を踏まえて、本研究では、公共交通網の有無・形状・導入時期が都市構造に及ぼす影響について分析・考察を行うことを目的とする。具体的には、仮想的な都市において250mメッシュ程度のセルごとに雇用・人口を設定し、空間的相互作用モデル(Clarke

* 学生会員 〒 980 8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

東北大学 理学部 地圏環境科学科 (Tohoku University) E mail: kensuke.takimiya.p3@dc.tohoku.ac.jp

** 正会員 東北大学大学院 理学研究科

*** 正会員 東北大学大学院 環境科学研究科

**** 正会員 東北大学大学院 環境科学研究科

& Wilson,1985)を用いて雇用・人口分布の均衡解を求める。故に、本モデルでは一つのセルにおける複数世帯居住を考慮できる。また、シミュレーションの変数として既存及び仮想的な交通網を導入すること、そして雇用・人口分布の初期条件を変更してシミュレーションを行うことで都市内部の公共交通網が都市構造に与える影響について検討する。

2. 研究手法

2.1. 分析手順の概略

仮想都市におけるセルをエージェントとみなし、セルがその雇用と人口を需要に応じて変化させるシミュレーションを行う。与えられた雇用・人口の初期値から、空間的相互作用モデルによる繰り返し計算を行い、雇用・人口分布の均衡状態を導出する。なお、用いた計算式は Clarke & Wilson (1985)を応用したものであり、以下に示す通りである。初期条件や公共交通網の形状(式中の距離行列)を変えてシミュレーションを行い、結果を比較する。

2.2. 対象地域

都市域を 5km 四方程度と仮定し、21×21 セルの仮想都市を対象地域とした。なお、1セルを 250m 四方程度(5次メッシュ相当)とした。メッシュ毎に雇用及び人口を与え、2. 3. 以降で述べる手順に従って均衡状態を求め、条件を変えて比較した。

2.3. 地域間の通勤者数

空間的相互作用モデルによれば、居住地 i の労働者が従業地 j に通勤する量 T_{ij} は次のように表現できる。

$$T_{ij} = \frac{P_i W_j^\alpha \exp(-\beta c_{ij})}{\sum_k W_k^\alpha \exp(-\beta c_{ik})} \cdot \cdot \cdot (1)$$

ただし、 W_j : j における雇用、 P_i : i における人口、 c_{ij} : ij 間のコスト距離、 α 、 β : パラメータ

2.4. 雇用分布モデル

各セルの雇用は、その地点での通勤者数と一致するまで増加または減少する。

従業地 j における総ての発地からの通勤者数 D_j は、次の通りである。

$$D_j = \sum_i T_{ij} = \sum_i \frac{P_i W_j^\alpha \exp(-\beta c_{ij})}{\sum_k W_k^\alpha \exp(-\beta c_{ik})} \cdot \cdot \cdot (2)$$

従業地 j における新たな雇用 W'_j は、通勤者数と雇用が均衡するまで成長すると仮定する。

$$W'_j = W_j + (D_j - W_j) \cdot \cdot \cdot (3)$$

ここで、均衡条件は次のとおりである。

$$D_j = W_j \Leftrightarrow \sum_i \frac{e_i P_i W_j^\alpha \exp(-\beta c_{ij})}{\sum_k W_k^\alpha \exp(-\beta c_{ik})} = W_j \cdot \cdot \cdot (4)$$

2.5. 人口分布モデル

人口分布は雇用へのアクセシビリティによって決まる。つまり、都市全体で新たに発生した雇用から生じる人口 P_i' は、次のように示される。

$$P_i' = \frac{(\sum_k W_k^\alpha \exp(-\beta c_{ik}))^{\beta'}}{\sum_i (\sum_k W_k^\alpha \exp(-\beta c_{ik}))^{\beta'}} \times \sum_i P_i \cdot \cdot \cdot (5)$$

ただし、 β' : パラメータ

以上、新たに求めた W'_j 、 P_i' を(1)式に代入して均衡条件 (4) が満たされるまで繰り返し計算を行った。

2.6. パラメータ項の調整

前述の式(1)~(5)について、パラメータ項を調整した。なお、 α 、 β については Clarke & Wilson(1985)のパラメータによる空間構造の変化を参考にした。

2.7. コスト距離の計算

公共交通網を考慮した分析を行うため、各セル間の移動について自家用車を利用した場合と公共交通を利用した場合の2通りについて考え、それぞれ時間距離行列を作成した。その後両者を比較し、時間が短い方を式(1)のコスト距離行列として用いた。

まず、自家用車を利用する場合について仮想都市内を 40km/h で任意の点から任意の点まで移動することができると仮定し、時間距離行列を作成した。また、自動車所有には購入費用や駐車場代といった固定費用が必要であるため、作成した距離行列の要素一つ一つに定数を加え、これを自家用車における時間距離行列とした。

次に、公共交通を利用する場合について、公共交通網上を 40km/h、それ以外の場所を 4km/h (徒歩を想定)で移動すると仮定し、ArcGIS の「コスト距離」ツールを用いて時間距離行列を作成した。なお、本研究では単純化のため公共交通網上に駅を想定せず、任意の地点で公共交通網に乗車・下車できるものとした。

3. シミュレーションの条件

3.1. 雇用分布・人口分布の初期条件

初期雇用分布・人口分布として次の3通りの条件にてシミュレーションを行った。(図1参照)

- ・初期条件 A : 雇用、人口ともに各セル 100 人の一様な分布
- ・初期条件 B : 単一の CBD を想定し、中心部に雇用が集中し、人口は一様である分布
- ・初期条件 C : セルごとに 1~200 人の雇用及び人口をそれぞれランダムに与えた分布

上記それぞれについてシミュレーションの結果を比較した。なお、図1では初期条件Cを省略した。

3.2. パラメータ項の条件

前述の式(1)~(6)について、用いたパラメータの値は次の通りである。

$$\alpha=1.1 \quad \beta=5.0 \quad \beta'=0.80$$

3.3. 公共交通網の条件

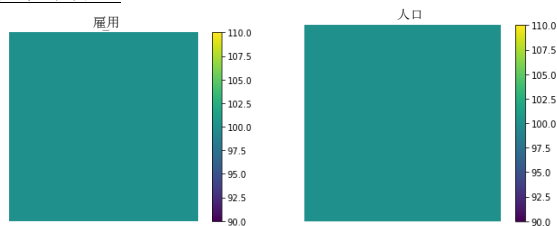
公共交通網の条件として以下の3通りにおいてシミュレーションを行った。(図2参照)

- ・条件 X：公共交通網が存在しない場合
- ・条件 Y：仮想都市内を東西及び南北に貫く公共交通網が存在する場合

上記それぞれについてシミュレーションの結果を比較した。

また、公共交通網の導入時期について考察するため、シミュレーション開始時から公共交通網を導入する場合と、雇用・人口分布が均衡状態になってから公共交通網を導入する場合の2通りについてシミュレーションを行い、結果を比較した。

初期条件 A



初期条件 B

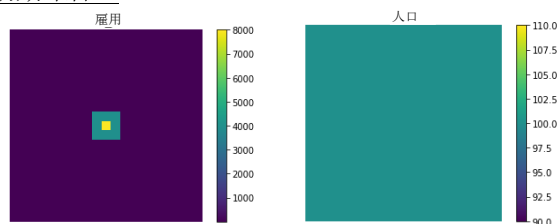


図1 雇用分布(左)・人口分布(右)の初期条件

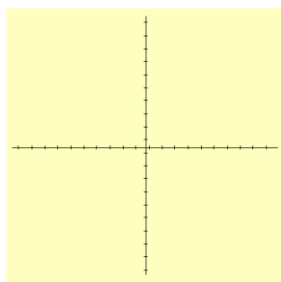


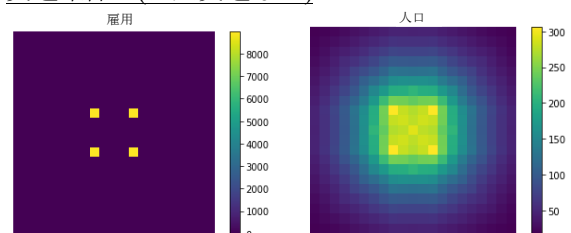
図2 公共交通網の条件 (条件 Y)

4. 結果

4.1. 初期条件と公共交通網の有無について

初期雇用・人口が一様分布(A)と単一 CBD(B)の各場合において、都市を東西・南北に貫く公共交通が存在しない場合と存在する場合について繰り返し計算を1000回行った結果、図3・4が得られた。公共交通網がない場合においては初期条件により雇用・人口分布の違いがみられ、初期条件が一様分布(A)である場合には単一 CBD 型(B)に比べて分散傾向がみられた。一方で、公共交通網を導入した場合には、いずれの初期条件においても雇用・人口が集約され、公共交通沿線に人口が多く分布する傾向がみられた。

交通条件 X(公共交通なし)



交通条件 Y(公共交通あり)

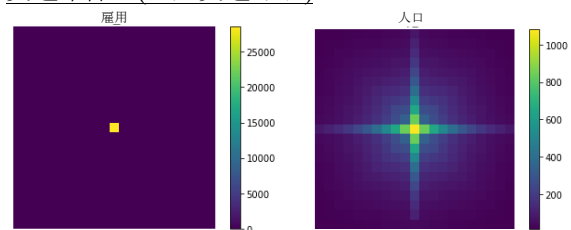
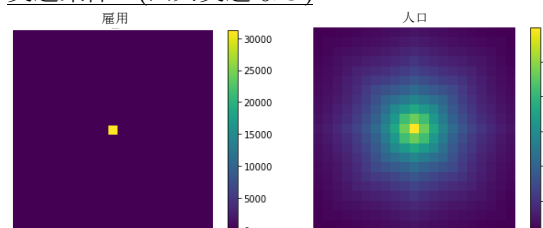


図3 初期条件 A における1000回計算後の結果
上：交通条件 X 下：交通条件 Y

交通条件 X(公共交通なし)



交通条件 Y(公共交通あり)

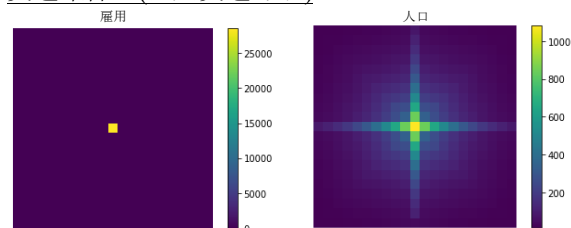


図4 初期条件 B における1000回計算後の結果
上：交通条件 X 下：交通条件 Y

4.2. 公共交通網の導入時期について

3.1.の(A), (B)の初期条件において、公共交通網なしで500回繰り返し計算後に仮想都市内を東西・南北に貫く公共交通網を導入して500回繰り返し計算した結果、図5が得られた。

初期条件が一樣分布(A)である場合、ある程度均衡した状態で公共交通網を導入してもあまり人口が公共交通沿線に集約されなかった。一方で、初期条件が単一CBD型(B)である場合、途中から公共交通網を導入しても公共交通沿線に人口が集約された。

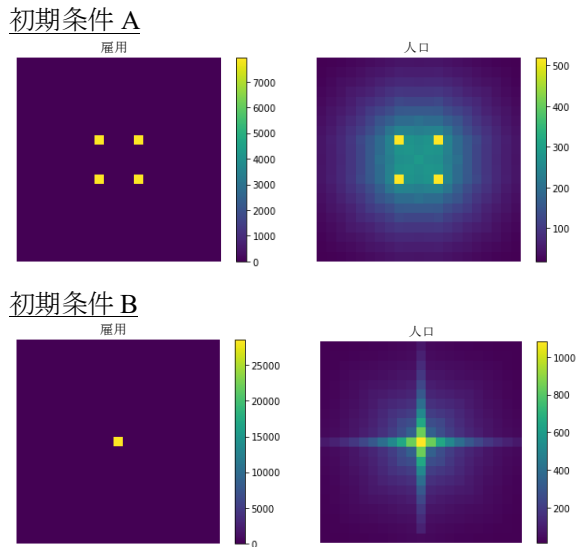


図5 公共交通網なし(交通条件 X)で500回計算→公共交通網(交通条件 Y)を導入して500回計算した結果

上：初期条件 A 下：初期条件 B

5. 考察

5.1. 初期条件と公共交通網の形状について

まず、公共交通網が存在しない場合、雇用・人口分布の初期条件により均衡状態(本論文では1000回計算後、としているがほぼ均衡しているとみなせる)が変化することから、都市の発達の初期過程によりその後の都市構造が変化することが推測される。また、公共交通網が都市の発達段階初期から存在する場合、初期条件に関わらず雇用が集約され、人口は公共交通の沿線に立地する傾向がみられる。

これらのことから、一般的に都市発展の比較的初期の段階で公共交通網を導入することで、公共交通沿線を主体とした集約的な都市構造を達成できる可能性がある」と述べることができる。

5.2. 公共交通網の導入時期について

公共交通網が存在しない都市においてある程度都市構造が均衡したのちに公共交通網を導入した際、初期雇用・人口分布によっては人口の集約化が十分になされない場合があった。具体的には、発展が分

散傾向である都市においては、公共交通導入後に公共交通沿線への人口移動があまり見られなかった。

このことから、分散傾向の都市において、公共交通網新設による集約化は必ずしも迅速には達成されないと言える。よって、コンパクト化施策を進めていく上でその効果について検証することが必要であり、場合によっては公共交通網の施策と人口・拠点集約化など他の施策を組み合わせるなどその都市の実情に合った方向性を持つことが重要であると考えられる。

6. おわりに

本研究では、公共交通の有無とその導入時の都市構造が、その後の都市構造に与える影響について検討した。シミュレーションの結果から、次の2点が存在する可能性がわかった。

- ・都市の発達段階初期において公共交通網を導入することで、公共交通沿線を主体とした集約的な都市構造を達成できる。
- ・分散化した都市において公共交通網を後から導入した場合、集約化が起きない場合が存在する。

したがって、コンパクト化施策の一環として公共交通を整備する際には、その地域の実情を踏まえた包括的な検討が必要だと考えられる。

ただし、本研究で用いたモデルが日本の地方都市に適用できるか未検証であり、また使用したパラメータも現実のデータによってキャリブレートする必要がある。今後の研究課題として、250mメッシュ統計等を用いてモデルを検証および改良する予定である。

参考文献

- Clarke, M.・Wilson, A. G. (1985), The dynamics of urban spatial structure: the progress of the research programme, Transactions of the Institute of British Geographers, Vol. 10(4), 427-451.
- 藤岡薫・野里碧美(2019) コンパクトシティ政策を支援する都市シミュレーションモデルの開発。「環境情報科学 学術研究論文集」 33, 79-84.
- 牧野夏樹・中川大・松中亨治・大庭哲治(2009) コンパクトシティ施策が都市構造・交通環境負荷に及ぼす影響に関するシミュレーション分析。「日本都市計画学会 都市計画論文集」 44(3), 739-744.
- 大庭哲治・松中亨治・中川大・尹鍾進・牧野夏樹(2012) 中心市街地の空間配分を考慮した公共交通利便性が都市構造に及ぼす影響に関する研究。「日本都市計画学会 都市計画論文集」 47(1), 9-16.
- 国土交通省(2015)コンパクトシティの形成に向けて.<<https://www.mlit.go.jp/common/001083358.pdf>>.
- 国土交通省(2014)国土のグランドデザイン 2050.<https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_tk3_000043.html>.