

都心部の人口分布の過渡的動態モデル化に関する研究

九州大学 工学部 エネルギー科学科 3年 池谷直樹

1 緒言

都市の成長と衰退は、経済活動や交通機関の発達など、さまざまな要素に影響を受けながら繰り返され、それに伴い、人口の集中や分散が起こる。また、逆に人口の集中と分散によって、都市が成長と衰退を繰り返しているともいえる。このように、人口分布と都市の発展には密接な関係があり、時間の経過とともに都市部における人口分布の変動が観察される。

政治的、経済的要請が吸引力となって周縁部から人口が流入することにより都市は発生する。古くは紀元前8~9世紀におけるギリシアのポリス（都市国家）発生がシノイクスモス（集住）により説明付けられていたことから推量されるように、系統的都市論の萌芽はかなり早い時期であった。シカゴ学派の E.W.Burgess は 1920 年代に同心円状のエリア分けで階層分居や都市における土地利用の生態を説明しようと試みた（同心円地域構造論[1]）。第2次大戦後の先進諸国における経済発展に軌一して起きた急速な都市化、各国の特殊事況により様々なバリエーションが観察された都市成長、あるいは近年アジアの巨大都市で生じつつあるメガロ・シティの動態予測などは、Burgess 以降の H.Hoyt（扇状理論）、C.D.Harris & E.L.Ullman（多核理論）などの古典モデルを単純に適用するだけでは説明がつかない。これら今日的な都市化、都市成長を巡っては、社会科学、都市計画学などを中心に多くの研究が継続的に行われている（例えば[2]）。

都市成長を考えると、領域制約が比較的緩やかなアメリカとそれらが厳しい日本とでは多くの異なる点があるが、i)初期に周縁部から人口の吸引により原初の都市が形成され、ii)過度の集中が都心部のドーナツ化を引き起こし、iii)その後、都心回帰が起きる、と云うマクロな動態は通底する。これらの都市動態のトピックは研究対象としてではなく、より広範な社会的興味をも惹起し、幾多の芸術作品にも取り上げられてきた。1980年代後葉のアメリカ中規模都市の盛衰をエスニックグループの移入、white flight を基軸に描き出した

John Sayles 監督の映画“City of Hope”や、Yuppie (young urban professionals) の都心回帰を時代背景に都市再開発を描いた Arthur Hailey の“The Money Changers” (1975) (その後 K.ダグラス主演でテレビドラマ化)などを例として上げることができるだろう。

これらの問題背景を踏まえて、都市の発展・衰退と人口分布の関係を単純化して捉えると以下のようにまとめることができる。

まず、地域の都市化が進むことで、経済活動や文化活動の中心地が生まれる。人々はその利便性を求めて中心地に移住するため、中心地への人口集中が起こる。次に、中心地は人口集中による経済発展なども手伝ってさらに都市化が進み、経済や文化の中心として確立する。しかし、時代の経過とともに、過度の人口集中によって生じる犯罪の増加やスラムの発達は、生活環境の悪化を招き、人口分布の郊外化が始まる (e.g. white flight)。その結果、中心地の人口密度は低下し、郊外に人口が分布するドーナツ化現象が観察される。その後、ドーナツ化により中心地は人口希薄となるが、再び中心地の利便性などが注目され、再度の人口集中が起こる (e.g. Yuppie のニューヨーク回帰)。このように、人口の分布は集中と分散とを繰り返していく。

人口分布には、都市の発展性のみではなく、他の要因も大きく影響する。たとえば、所得による住み分けを考えてみる。まず、中心地に移住した人々は、そこでの活発な経済活動によって、生活水準を向上させることができるため高所得民となる。高所得民は、安全で快適な生活環境を求め、郊外に移住し始める。高所得民の人口分布が郊外化するにつれて、中心地には、新たに低所得民や他民族が移住し始める。中心地には低所得民が集中し、高所得民は郊外に分散しており、中心地と郊外両方に人口が高密に分布するが、所得層で見ると分居が生じた状態となる (e.g. City of Hope で描かれた世界)。このように、単純な一極集中や分散住居では表せないような人口分布も生じ得る。複雑な人口分布が生じる要因を挙げれば、都市の形態や発展性、

他民族の存在、所得の差異、交通機関の発達、地理的条件などがあり、それらが相互に影響し合っていると見える。このように、人口分布にはさまざまな要因が影響するため、都市における人口分布のモデル化は非常に複雑になることが予想される。

本研究では、都市の人口分布を単純にモデル化し、原初的な非集住状態から過渡的に一極集中により原始都市が創発し、集中による郊外退避（ドーナツ化）、その後、再集中、再分散を繰り返す過程で、都市が準定常的な摂動（規模を小さくしながら集中、分散を繰り返す）状態に落ち着く動態を再現するマルチエージェントシミュレーションモデルを作成することを目的とする。

2 モデル

2.1 モデルの概要

図1のように、2D空間内に中心地を仮定し、中心地の移動はないものとする。空間上にランダムに配置された居住者エージェント（図1中の黒い点）は、中心地からの距離と各セルのエージェント密度によって決まる効用が最も高い場所に移動する。また、移動するエージェントの数は、全エージェントのうちのある一定の割合（移動確率）とする。

移動によって変化する密度効用情報の更新は、ステップ毎に行うこととし、効用関数は以下で定義する。

$$fitness(i, j) = \frac{\alpha}{1 + \exp\left(\frac{dis(i, j) - \frac{max_dis}{2}}{2}\right)} + \frac{(1 - \alpha)}{1 + agent_num(i, j)}$$

…(1)

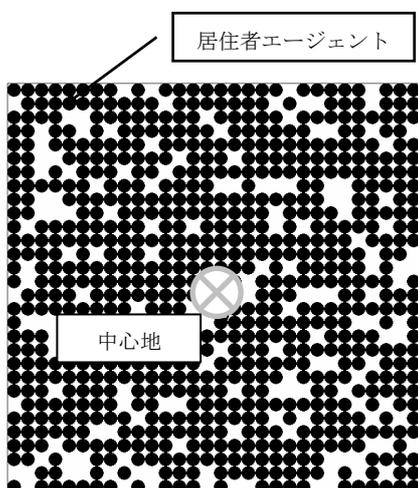


図1 2D空間

$fitness(i, j)$ 、 $dis(i, j)$ 、 $agent_num(i, j)$ はそれぞれセル (i, j) における効用、中心地からの距離、エージェント数を示している。 max_dis は中心地から最遠地までの距離である。第1項目が距離効用、第2項目が密度効用を意味し、 α は両者の重みを決めるモデルパラメータである。

2.2 距離効用

(1)式第1項の距離効用はシグモイド関数を適用している。この関数は、図2に示されるように、中心地付近では効用が高く、ある距離隔たると急激に低下する関数である。これは、中心地付近では利便性などにより得られる効用が高く、中心地からある距離を離れるとそれらの効用が急激に低下し、郊外ではほとんど効用が得られなくなる現実をエミュレートしている。

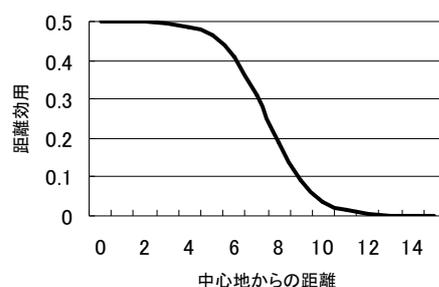


図2 シグモイド関数

2.3 密度効用

(1)式第2項の密度効用は、エージェント密度の逆数とした。従って、エージェントが少ない場合の密度効用が高くなる。これは、生活環境の悪化が人口集中によって引き起こされる状況を定性的に模擬している。

3 実験

数値実験は10試行のアンサンブル平均で評価する。

3.1 パラメータ設定

実験におけるパラメータを表1にまとめる。

表1 実験におけるパラメータ

エージェント数	3000
二次元空間の大きさ	30×30
移動確率	0.2
効用関数のパラメータ α	0.5

この場合、移動確率が0.2であるので、ステップ毎

に移動するエージェント数は、約 600 人となる。全エージェントの移動が終了した時点で密度の再計算が行われ効用情報がシンクロに更新される。また、効用関数の重みパラメータである α を 0.5 とすることで、距離効用と密度効用の最大値はいずれも同値の 0.5 にスケールされる。

3.2 評価パラメータの定義

居住者エージェントの集中・分散の指標として、中心地からの平均距離 $average_dis$ を次式によって定義する。

$$average_dis = \sum_{i,j} \frac{agent_num(i,j)}{agent_num} \times dis(i,j) \quad \dots(2)$$

$agtn_num$ は全エージェント数である。

また、居住者エージェントの分布状況を評価するために、中心地からの距離とエージェント密度との関係を調べる。

さらに、各セルにおけるエージェント密度を 2D 空間上に出力することで、エージェント分布（人口分布）を視覚的に捉える。

4 結果

結果を図 3 から図 5 に示す。図 3 はある試行における中心地からの平均距離の時間推移である。図 4 はその試行における 2D 空間上のエージェント密度の snap-shot であり、色が濃いほど密度が高いことを示している。図 5 はアンサンブル平均した中心地からの距離とエージェント密度との関係をステップごとに示したものである。

人口分布の過渡的変化を示すために、ここでは、初期の 50Step までのデータから、特徴的な分布を示すデータを示した。50step 以降はそれ以前のような摂動を繰り返しながら準定常的な状態に落ち着いていく。

以下では 50step までを詳しく見て行く。

Step1

全く集住が起きていない状況であり、居住者エージェントが 2D 空間上にランダムに配置された初期状態を示している。

Step5

中心からの平均距離（図 3）は、単調減少の部分に

当たり、各エージェントが中心地に一極集中する途上であることを示している。図 4 を見ても、中心地付近に密度の高いセルが確認できる。また、距離と密度の関係（図 5）をみると、中心地に近いほど高密度になっており、エージェントが中心地へ最初の一極集中を始めていることが模擬されている。

Step10

中心からの平均距離（図 3）が極小に近い部分で、エージェントが中心地に最も密集している部分である。最初の一極集中が収束した状況であり、図 5 をみると中心付近に DID（Densely Inhabited District）が形成されている様子が模擬されている。

Step20

DID のピークが平坦になり裾野が広がっている過程である。中心からの平均距離（図 3）は再び増加傾向にある部分で、エージェントが中心地から分散し始めている状況を模擬している。ドーナツ化現象の初期兆候である。

Step32

図 3 では、中心地からの平均距離が極大になる部分で、エージェントが中心地から距離を隔てた郊外に分布している。図 4 を見ると、中心地の密度が低くなり、その周囲に高密度のセルが出現し、ドーナツ化現象を視覚的に捉えることができる。また、距離と密度の関係（図 5）からも、人口分布のドーナツ化がよく再現されていることが確認できる。

Step35

図 3 では、中心からの平均距離が再び減少する部分で、エージェントが再び中心地に集中し始めている状況であるといえる。ある試行の snap-shot である図 4 では、人口分布のドーナツ化がまだ消えていないが、アンサンブル平均の図 5 を見ると、2 度目の一極集中のモードであることがわかる。

Step40

図 4 の二次元空間上では、郊外の密度が下がり、中心地に近いエリアの密度が増加していることが確認できる。密度と距離の関係（図 5）からも、中心地にごく近いエリアの密度が急激に増加している。ここでは、郊外のエージェントの大部分が再び集中し始めている

と言える。図 5 の Step35 と Step40 の比較から、Step35 の中心地居住エージェントの郊外退避と、遠方居住エージェントの都心回帰が重合されたモードにより、Step40 では都心ごく近傍部に DID のリング環が形成されたことが推測される。

Step50

図 3 も示されるように、中心からの平均距離が、Step10 直後の極小値と同程度になる部分で、エージェントが中心に密集する 2 度目のピークであることがわかる。図 4 と図 5 でも同様に、中心地に密度の DID が形成されていることが確認できる。

50 ステップ後の変動について簡単に述べておく。再度の人口集中の後、エージェントは再び、分散し始める。しかし、Step32 のような広範囲の分散は起こらず、中心地近傍での集中と分散が繰り返される。

以上の結果をまとめると、次のようになる。ランダムに配置される Step1 の状態から、徐々に中心地への人口集中が始まる。Step10 付近で中心地での人口集中が最も激しく起きているが、Step20 から Step30 にかけて、人口の郊外退避が進む。その後、Step40 から Step50 で、再び都心部への人口集中が生じる。つまり、都市の初期形成→急激な一極集中→ドーナツ化による郊外への分散→中心地への再集中の動特性が確認できる。

5 結論

都市における人口分布の動特性を単純にモデル化したマルチエージェントシミュレーションモデルを作成した。モデルでは基本的には、①エージェントの居住地における効用は中心地からの距離と人口密度により決まる、②移動イベントは確率的に生じ、全エージェントでシンクロに移動を行い、人口密度情報の更新を行う、というルールだけを規定する。このようなごく単純なモデルであっても、居住者エージェントの自己組織化により、都市の初期形成、一極中心による都心部の DID 化、集中の弊害による都心部ドーナツ化、空洞化した都心部が再評価され都心回帰が起こる、という一般的な都市動態の特徴をそれなりに再現すること

ができた。

6 参考文献

- [1]R.E.バーク (大道・倉田 訳) ; 都市, 鹿島出版会, 1972.
- [2]高橋勇悦 他 ; 新しい都市社会学, 学文社, 1985.

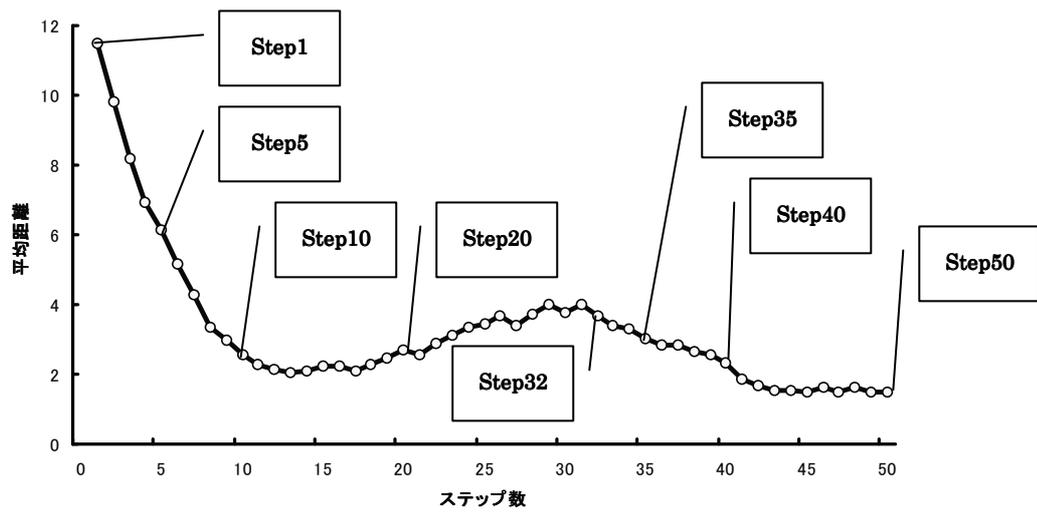


図 3 中心地からの平均距離とステップ数の関係

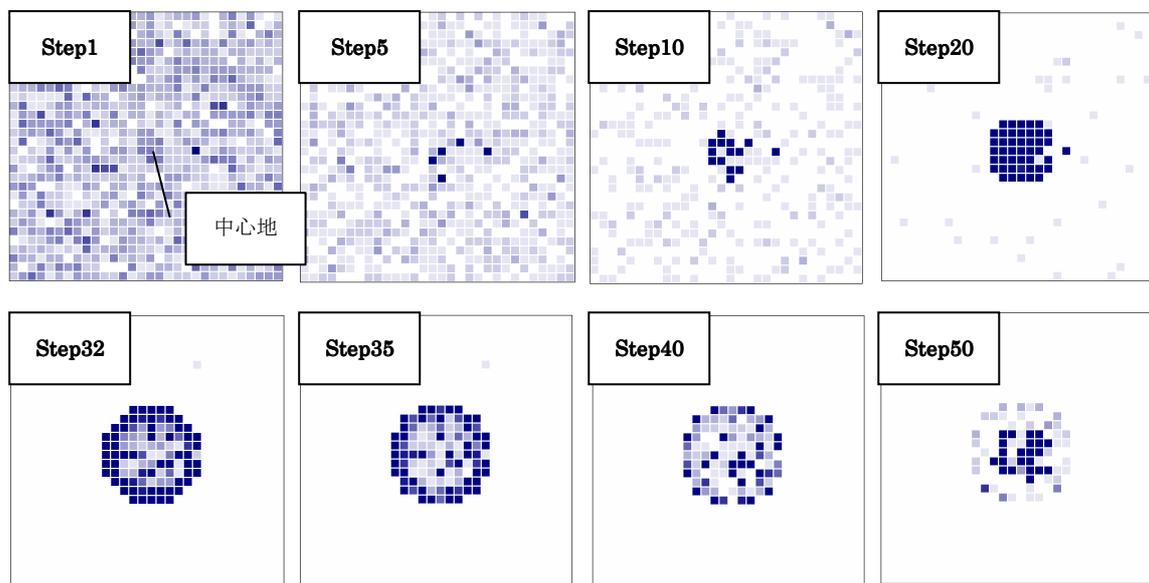


図 4 二次元空間上でのエージェント密度の分布

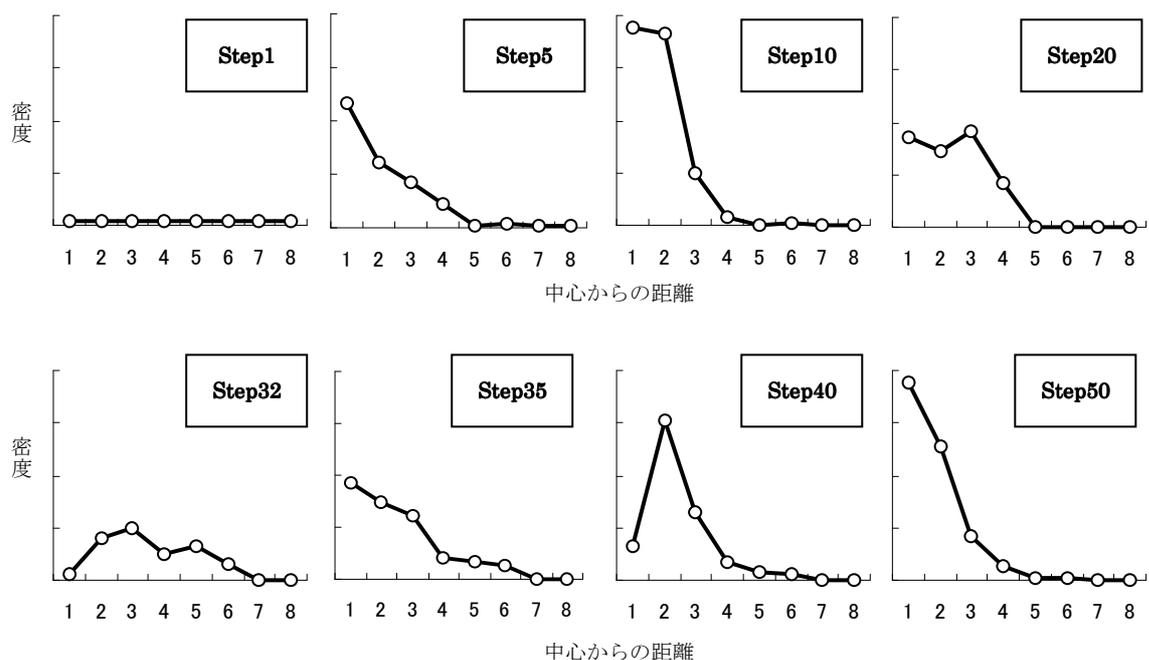


図 5 中心地からの距離とエージェント密度の関係