

マルチエージェント・シミュレーションを用いた人口移動分析への適用可能性*

The Applicability of Multi-Agent Simulation to the Demographic Shift*

今尾洋平**・塚田建人***・田村亨****・有村幹治*****

By Yohei IMAO**・Tatehito TSUKADA***・Tohru TAMURA****・Mikiharu ARIMURA*****

1. はじめに

わが国は、かつて経験したことのない継続的な人口減少と急速な少子高齢化の時代を迎えている。その状況にあって、国土の中には、定住面や交通面などの条件が十分に整っていないため、一定のまとまりのある生活圏の形成には困難を伴う地方部が存在する。地方部は、国土保全、環境保全、食料供給などの観点からも、地域の維持、活性化が非常に重要であるが、人口減少、高齢化がより顕著に現れるとともに、耕作放棄地の拡大、森林の荒廃などが同時に進行している地域でもある。このような地方部では、定住人口の定着を目指した地域づくりが重要である。その際、地域の基礎データとなる人口動態の把握が必要となる。

そこで、本研究の目的は、地方部を対象として、定住人口に着目した地域の人口動態モデルを、マルチエージェント・シミュレーション（以下、MASと呼ぶ）を用いて構築することである。本研究では、人口移動を「人と地域」の間の相互作用の結果であると仮定して分析を進める点に特徴がある。

2. マルチエージェント・シミュレーション

(1) マルチエージェント・シミュレーションの概要

人の移動は収入・生活様式・価値観などの個人属性に基づいた判断の結果であり、個々人の行動から単純に地域全体の動きを予測することは難しい。また、地域の魅力が人を引きつけ、人が地域を構成することで、地域と人口は相互に影響し合っており、人口移動を地域というマクロな視点で捉えた結果と、個人の移動というミクロな視点で捉えた結果の総和は必ずしも一致しない。

こうした個々の振る舞いが、周囲の環境によって動的に変化し、環境もまた個々の影響を受けるといった複雑なシステムをシミュレートするのに開発されたのがMAS

*キーワード：地域計画、人口分布、

**学生員、学（工）室蘭工業大学大学院工学研究科
建設システム工学専攻 博士前期課程
（北海道室蘭市水元町 27 番 1 号、TEL0143-46-5289

E-Mail: s1221016@mmm.muroran-it.ac.jp）

***正員、修（工）室蘭市都市建設部都市計画課

****正員、工博、室蘭工業大学工学部建設システム工学科

***** 正員、工博、北海道開発土木研究所道路部

である。

MASには、「エージェント」、「環境」、「ルール」の3つの基本的な構成要素がある。

「エージェント」とは、周囲の環境の状態を知覚し、自らの判断に基づいた目標を達成する行動を行うことで、環境に影響を与えることのできる自律した主体である。各エージェントは、その内部状態と行動ルールを持っている。状態には、シミュレーションを通じて一定のものと、環境や他のエージェントとの相互作用を通じて変化するものがある（図-1）。

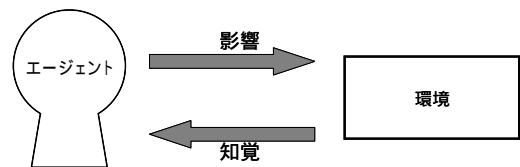


図-1 エージェントと環境

「環境」とは、エージェントの外部にあって、エージェントの意思では変更できないものを指す。人工社会においては、資源の配置を表すランドスケープのような具体的な環境もあれば、コミュニケーションネットワークのように、時間とともに関連性が変化する抽象的な環境もある。

「ルール」には、エージェントの移動や状態変化を規定するものと、環境の挙動を規定するものや相互作用を規定するものがある。相互作用を規定するルールには、結びつける対象の違いによって、「エージェント-環境」ルール、「エージェント-エージェント」ルール、「環境-環境」ルールの3種類がある（図-2）これらのルールを設定することによって、複雑な相互作用がコンピュータの中で創発的に展開し、予想外の結果をもたらすのがMASの醍醐味と言える。

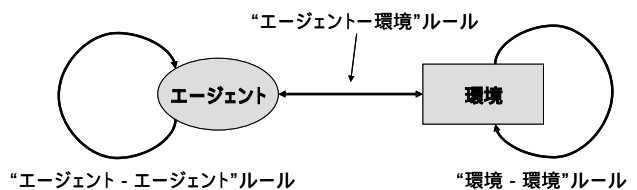


図-2 人口社会におけるルール

(2) 本研究のシミュレーション

本研究で用いた MAS は、ランドスケープ、フィールド、エージェントの3要素で構成される(図-3)。

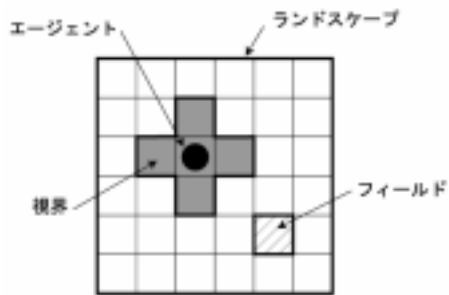


図-3 MASの構成要素

ランドスケープはシミュレーションが行われる平面空間である。その内部はフィールドと呼ばれる格子状のマスに分割されており、南北方向50フィールド、東西方向50フィールドの計2,500フィールドで構成されている。エージェントは1つのフィールドに対して、1つのみ存在することができ、ランドスケープ内には複数のエージェントが分散して存在している。

フィールドは、そこにエージェントが移動することで得られる効用の大きさを表す値を持っている。また、エージェントは属性として、行動ルールの基礎となる効用関数と視界の大きさを表す値を持っている。視界はエージェントを中心に十字型に広がっており、エージェントに対し斜め方向にあるフィールドおよび他のエージェントがすでに存在しているフィールドは視界に含まれない。視界の大きさは一度に移動可能な最大距離でもある。視界の大きなエージェントほど、長距離移動が可能となるだけでなく、より良い条件のフィールドを見つけることができる。一方、視界が狭いということは、移動可能範囲も狭く、移動コストも大きいということになる。シミュレーション中に視界を変化することで、エージェントの属性変化に伴う移動の困難さの変化を表現できる。

エージェントは現在占位しているフィールドも含め、視界内に含まれるすべてのフィールドに対し、効用と移動距離をもとに得点付けをおこない、最も高い得点を得たフィールドへ移動する。最も高い得点を得たフィールドが複数あった場合、確率により移動先を決定する(図-4)。

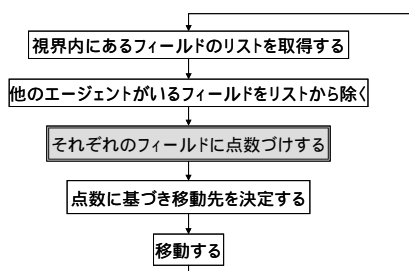


図-4 エージェントの処理の流れ

全てのエージェントが1回ずつ行動を行った時点で1ターン終了したものとし、これを100ターン行った。エージェントの行動順による影響を排除するため、ターン終了毎に乱数により次ターンの行動順を決定している。

本研究で用いるモデルを言い換えると、「ランドスケープ内に分散している複数のエージェントが、属性として与えられた効用関数を元に、それぞれの視界にあるフィールドのうち、最も高い効用を得ることができるフィールドへの移動を繰り返すもの」となる。

3. ケーススタディ

(1) 地域衰退と人口移動

(a) 目的

第一のケーススタディとして、地域の衰退が人口動態に影響を与えることを表現する MAS を構築し、シミュレーションを行った。この MAS は、農村のように単一産業に依存した社会が、景気変動のような外的影響によって衰退し始めたときの人口移動を表現することを目的としている。

(b) 設定

フィールドが持つ効用は1種類のみとし、1から4の間の値を持つものとした。ランドスケープ内の北東方向と南西方向にフィールドの効用が高い地点を設定し、20ターン以降は北東方向の効用の高い地域が次第に衰退し始める。

エージェントの属性として年齢・寿命を導入した。

寿命は60歳から100歳までの一様分布により決定され、シミュレーション中是不変である。年齢は、それぞれのエージェントの寿命を超えず、かつ15歳以上の範囲で一様分布により決定した。エージェントは1ターン終了毎に加齢し、年齢が寿命に達した時点で死亡し、ランドスケープ内から消滅する。寿命に達する前にエージェントが死亡することはない。一方で人口の再生産と人口流入を考慮し、死亡したエージェント数の20%にあたる数のエージェントが新たにランドスケープ内に導入される。

エージェントは、高齢エージェントと若年エージェントの2種類を設定した。高齢エージェントは年齢が65歳以上、若年エージェントは15歳以上から65歳未満とした。

視界の大きさは、高齢エージェントは1または2、若年エージェントは3から5とし、ともに一様分布に従うものとした。加齢により、若年エージェントは高齢エージェントへ移行し、エージェントの視界の大きさも変化する。これは加齢にともなう移動の困難さの増大や情報量の減少による移動先候補フィールド数の減少を意味する。

初期状態におけるエージェント数は、平成12年国勢調査をもとに、若年エージェント数を87、高齢エージェント数を13の計100とした。また、初期状態および人口の再生産・人口流入時の位置は、エージェントが占位してい

ないフィールドからランダムに選ばれる。図 - 5 はシミュレーションおよびエージェントの処理の流れを示している。

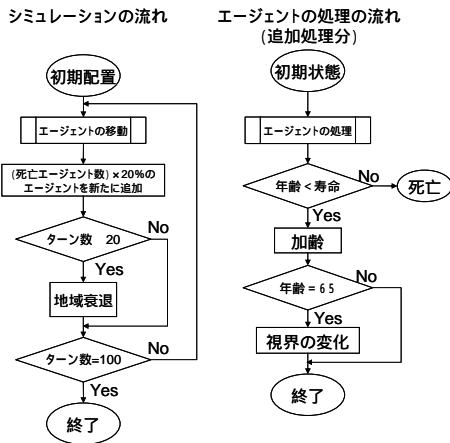


図 - 5 シミュレーションの流れ

(c) 結果・考察

上記の設定によりシミュレーションを行った。シミュレーション結果を図 - 6 に示す。利得の少ない北西地域と南東地域のエージェントが減少している。また、全体的なエージェントの位置も南西方向にシフトしている。シミュレーション中には、一度北東方向へ進んだにもかかわらず、北東地域の衰退に伴い南西地位へ移動したエージェントも確認できた。さらに、北東地域では移動が困難となったエージェントの死亡が多数確認できた。地域の衰退によって、若者エージェントは地域から流出するが、高齢エージェントは地域に取り残されたからである。これは、現実の過疎地域の衰退と同様の現象であると解釈できる。

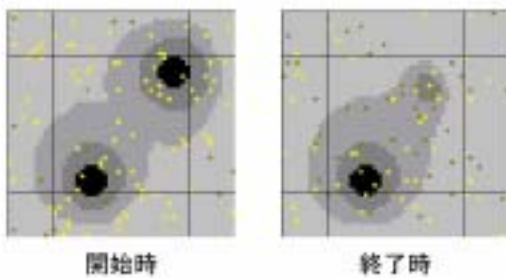


図 - 6 シミュレーション結果

図 - 7 は、10 回のシミュレーションにおけるエージェント数の推移の平均を示している。ここから、シミュレーションの進行に伴い、高齢化が急速に進展していることがわかる。しかし、60 ターンを超えたあたりから、エージェント総数とその構成比が変化しなくなっている。これは人口の再生産および人口流入を考慮する際、新たにランドスケープ内に現れるエージェントの年齢を一様分布により決定したためだと考える。現実では、人口の再生産数は若年者数に比例することや高齢者が衰退しつ

つある地域に流入してくるとは考えにくいことから、若年者数がより急速に減少するだけでなく、総数も減少し続けるものとする。

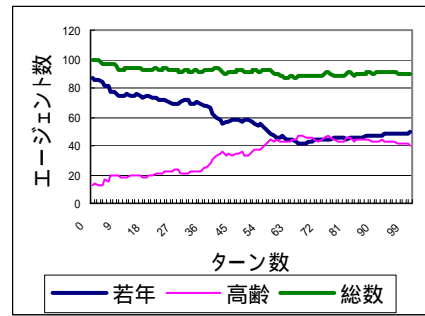


図 - 7 エージェント数の推移

(2) エージェントの選好と居住地選択

(a) 目的

第二のケーススタディとして、エージェントの選好が居住の選択に与える影響を再現するMASを構築し、シミュレーションを行った。このMASは、地域内のエージェントの住み分けを再現することが目的である。

(b) 設定

現実の土地に対する評価は、多様な評価の総計として行われることから、フィールドが持つ効用は、農業的効用、工業的効用、商業的効用の3種類を外生的に与えた。また、地価を表す値をフィールドに導入し、工業および商業の集積地ほど高く設定した。シミュレーション中、それぞれの効用および地価は一定である。フィールドの色が濃いほど高い効用、高い地価を有していることを表している(図 - 8)。

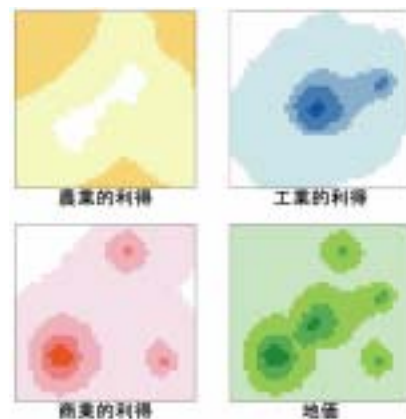


図 - 8 フィールドの効用配置

エージェントは、3種の効用と地価および現在のフィールドからの距離をもとに、それぞれが持つ効用関数に基づき、フィールドに対する評価を行う。ここで、エージェントは以下の3つのタイプに分類した。農業的効用を重視する「タイプ1」、工業的効用を重視する「タイプ2」、商業的効用を重視する「タイプ3」である。タイプ1は農業従事者を、タイプ2は工業従事者を、タイプ3は商業従事者をそれぞれ表している。エージェントがどのタイプ

かによって、同じフィールドに対する評価であっても、エージェントの選好により、評価結果が異なることとなる(図-9)

	タイプ1 (農業従事者)	タイプ2 (工業従事者)	タイプ3 (商業従事者)
農業		-	
工業			
商業		-	
地価			

正の効用 負の効用 - 考慮しない

図-9 エージェントの種類

エージェント数は100とする。内訳は産業別就業者数をもとにタイプ1が60、タイプ2が25、タイプ3が15とした。また、視野の大きさは1~3で、シミュレーション中は一定である。図-10はエージェントの処理の流れを示している。

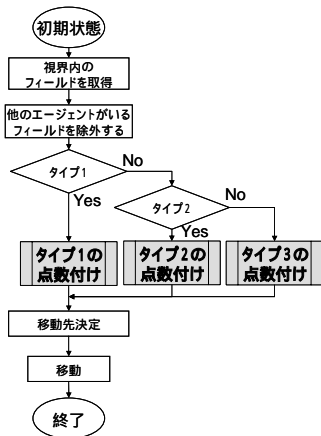


図-10 エージェントの処理の流れ

(c) 結果・考察

上記の設定のもと、初期人口配置の異なるシミュレーションを複数回行った。本ケーススタディでは、エージェントの属性や環境に変化はないため、途中経過にさしたる意味はなく、シミュレーション開始時と終了時との状態の差を評価すればよい。図-11、12にシミュレーション結果を示す。

エージェントの初期配置が異なっても、円で囲った効用が高い地域にタイプ1のエージェントが集中する様子が確認できた。タイプ2、タイプ3においても同様に、シミュレーション中に特定の範囲に占位し続けるエージェントが確認できた。これは、それぞれのエージェントが異なる行動ルールに基づいて行動するため、エージェントごとに効用の極大地域が異なるためだと考える。また、初期配置から最寄りの効用極大地域を越え、遠くの地域に移動するエージェントが確認できた。これは、効用極大地域に他のエージェントが既に存在していたため、エージェントの視野に含まれなかったためだと推測される。

本シミュレーションにより、異なる初期配置であっても特定の範囲にエージェントが集中することから、地域内の人口配置は資源の分布により生じた必然的結果であると考えることができる。

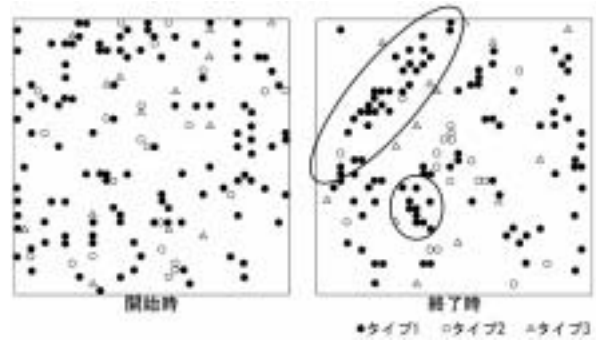


図-11 結果(その1)

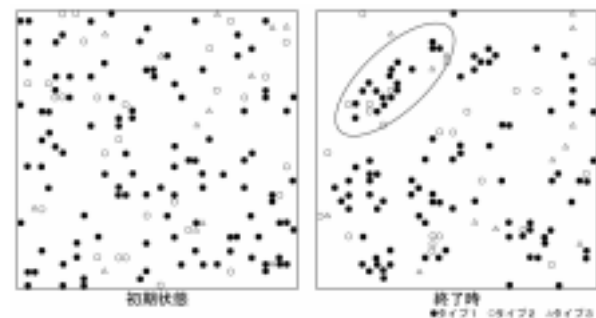


図-12 結果(その2)

4. おわりに

本研究により以下のことが明らかとなった。

- 1) MASの分析方法を整理して、人口移動を「人と地域」の間の相互作用の結果であると仮定して分析できることを示した。
- 2) MASを用いて、地域衰退と人口移動の関係をモデル化した。また、ケーススタディにより、地域衰退時には若年者は流出し、高齢者は地域に取り残される現象を表現できた。
- 3) モデル化に際し、初期設定した資源分布により、地域の人口配置が決定されることが分かった。

今後の研究課題として、エージェントの居住地選択と地価との間にフィードバックを取り入れ、地域内の年齢構成変化に伴う地域構造の変化のダイナミズムを再現することがあげられる。また、人口増減と人口配置の変化に伴う施設配置の変化や、高次施設の発現および消滅を再現することが挙げられる。

参考・引用文献

- 1) 山影進ほか：コンピュータのなかの人工社会，共立出版，2002。
- 2) Epstein, M.J.ほか：人工社会，共立出版，1999。
- 3) 大内東ほか：マルチエージェントシステムの基礎と応用，コロナ社，2002。