

マルチレイヤネットワークによる 社会のダイナミクス表現のための土地利用変化 の記述に関する基礎的検討

杉木 直¹・長尾 将吾²・松尾 幸二郎³

¹正会員 豊橋技術科学大学准教授 建築・都市システム学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

E-mail: sugiki@ace.tut.ac.jp

²学生会員 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学専攻 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

E-mail: s173523@edu.tut.ac.jp

³正会員 豊橋技術科学大学助教 建築・都市システム学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

E-mail: k-matsuo@ace.tut.ac.jp

交通サービスレベルや施設配置が土地利用や立地に与える影響や効果は、従来マイクロ経済学等の行動規範に基づいたモデルによって表現されてきた。しかし、意思決定主体の行動により絶えず変化する社会のダイナミクスを表現するためには、交通行動や立地選択行動を行う主体の属性変化や、それらを前提とする土地利用や立地の変化のダイナミクスを理解し記述する必要がある。本研究では、大規模ネットワークによる社会のダイナミクス表現が可能なモデルの構築に向け、特に意思決定主体の属性変化やその下での立地および土地利用の変化の記述に関する基礎的検討を行う。マルチレイヤネットワークにおける主体属性変化や立地変化を、大規模ネットワークへの適用を見据えて簡易なモデルにより記述するとともに、仮想的なマルチレイヤネットワークを対象としてこれらの表現と変化状況に関する検証を行う。

Key Words : *Multi-layer network, Dynamics, Land use change, Large scale network*

1. はじめに

人口減少や少子高齢化に伴い、中心市街地の衰退、都市機能の低下等が進行している。また、モータリゼーションの進展は公共交通の衰退と都市の郊外化を引き起こし、高齢者を中心とした交通弱者の増加、高齢ドライバーによる交通事故の増加、都市サービスコスト都市施設の維持管理コストの増大等が課題となっており、持続可能な都市の実現のための政策立案が必要とされている。交通サービスレベルや施設配置が土地利用や立地に与える影響や効果は、従来マイクロ経済学等の行動規範に基づいたモデルによって表現されてきた。しかし、意思決定主体の行動により絶えず変化している。このような社会のダイナミクスを表現するためには、交通行動や立地選択行動を行う主体の属性変化や、それらを前提とする土地利用や立地の変化のダイナミクスを理解し記述する必要がある。したがって、主体の属性変化、土地利用、施設配置及び交通サービスの相互関係性をネットワークとして考慮し、社会のダイナミクスを表現可能なモデルを

構築し、持続可能な都市の実現に向けた様々な政策を評価する手法を構築することが有用であると考えられる。しかしながら、現実の都市対象とした実用的な分析手法として構築するためには、大規模ネットワークに適用可能な簡便な手法が必要である。

そこで本研究では、大規模ネットワークによる社会のダイナミクス表現が可能なモデルの構築に向け、個人とその集合体である世帯、それらが立地する都市内の空間を対象としたマルチレイヤネットワークモデルを構築し、個人や世帯の主体属性変化やその下での立地および土地利用の変化の記述を行う。マルチレイヤネットワークにおける主体属性変化や立地変化を、大規模ネットワークへの適用を見据えて簡易なモデルにより記述するとともに、仮想的なマルチレイヤネットワークを対象としてこれらの表現と変化状況に関する検証を行う。

2. マルチレイヤネットワークモデル

(1)モデル化の対象

本来、社会のダイナミクスを表現するためには、主体

の属性と立地場所のほかにも、産業を構成する企業の変化や立地、交通ネットワークと主体の交通行動、商業施設、病院、公共施設など交通の目的地となる施設の配置等、様々な構成要素を考慮する必要がある。本研究では、その第一歩として、個人や世帯の属性変化とその下での立地に限定したモデル構築と分析を行う。

(2)個人・世帯と都市空間の表現

ある特定の時点において、都市内に存在する主体をマルチレイヤネットワークモデルで記述するイメージを図-1に示す。都市は世帯レイヤとゾーンレイヤによって構成されるものとする。ゾーンレイヤにおいて、都市空間は有限個のゾーンに分割されており、それぞれのゾーンにノードとして取り扱われる代表点が存在するものとする。世帯レイヤにおいては個人がノードとして記述される。個人ノードは、性別、年齢、就業/就学状態、免許保有の4つの属性を有するものとする。これらの個人はその集合体として世帯を形成するが、世帯は夫婦を表現する婚姻関係リンクと、親子を表現する親子リンクによって結び付けられる。実際の世帯にはこれら以外にも様々な個人間の関係が存在するが、ここでは単純化のために、この2種類のリンクのみを世帯内の個人間のつながりとして取り扱う。また、各個人ノードは、ゾーン代表点との間にどこに居住しているかを表現する立地リンクを有する。同一世帯内の個人ノードは同一のゾーン代表点ノードに接続される。

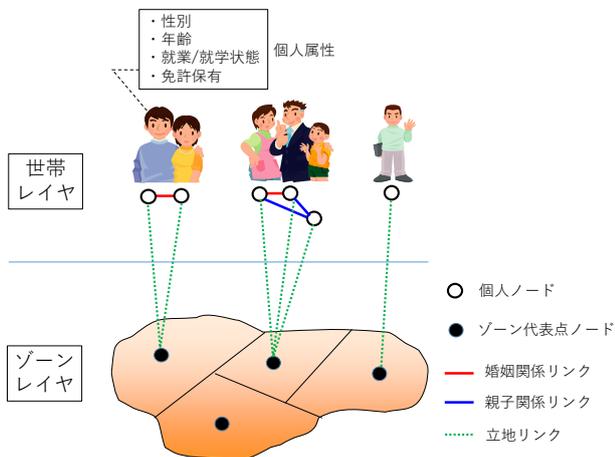


図-1 マルチレイヤネットワークによる主体と都市空間の表現

(3)ネットワークダイナミクス

時間経過とともにマルチレイヤネットワークにおいて、属性、ノード、リンクに様々な変化が生じる。これらは、主に個人と世帯のライフステージの変化に起因するものである。個人属性の変化としては、加齢、就職・就学、免許取得・返納が挙げられる。世帯レイヤに存在する個人ノードは可変であり、生成は出生を、消滅は死亡を表す。婚姻関係リンクは結婚、離婚によって接続関係が変

化する。母子関係リンクは、出生のほかに、結婚や就職・進学の際の離家など子世代の独立によって接続関係が変化する。立地リンクは世帯単位での転居、世帯からの独立、結婚、離婚によって接続関係が変化する。以下に、ライフイベントごとのマルチネットワークの変化を記述する。

a) 加齢

加齢イベントは個人ノードに確定的に生じる。シミュレーションタイムステップを Δt とすると、すべての個人ノードの年齢属性に Δt が加えられる。以降のライフイベントは、加齢後の年齢に基づく生起確率に従って確率的に生じる。

b) 死亡

すべての個人ノードに対し死亡を判定する。累積生存関数にワイブル分布を仮定した生存時間解析によって性別年齢別に死亡確率を定義する。ワイブル分布の累積生存関数 $S(t)$ は次の通りである。

$$S(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right\} \quad (t \geq 0) \quad (1)$$

ここで、 t は年齢（生存時間）、 α 、 β はパラメータである。式(1)は生命表の統計データを基に推定可能である。死亡確率は $1-S(t)$ で定義され、確率的に死亡判定がなされる。死亡判定された個人ノードは消滅し、接続している各リンクも消去される。

c) 離婚

統計データより男性の年齢を基準として定義される離婚確率に基づき、確率的に婚姻関係リンクが削除される。婚姻関係リンクが削除された場合、男女のどちらかが離家し転居するため、立地リンクにも接続関係の変化が生じる。また、親子関係リンクが存在する場合は、簡単化のため、女性側の親子関係を保持し、父親側のリンクを削除する。

d) 結婚

性別年齢別結婚確率に基づき、確率的に婚姻関係リンクを生成する。男性は18歳以上、女性は16歳以上の未婚者の個人ノードを対象とする。世帯の合流・分離については、①夫の世帯に合流する、②妻の世帯に合流する、③どちらの親とも同居しないの3パターンを考慮する。①、②の場合、合流される側の立地リンクと同様になるように接続している立地リンクを付け替える。③の場合は、後述する転居と同様に、立地リンクの付け替えを行う。

e) 出生

婚姻関係リンクを有する女性を対象として、出生確率に基づいて子供の出生を判定する。出生が判定された場合、個人ノードを追加し、親子関係リンク、および立地リンクを付与する。ここで、出生確率には年齢に加えて、女性の出生順位を考慮する。

f) 就業・就学

就職率・進学率に基づき、就業/就学状態に関する個人ノードの属性を変更する。また、進学・就職時の離家判定を行い、離家をする場合は、後述する転居と同様に、立地リンクの付け替えを行う。

g) 免許保有状態更新

18歳以上の個人を対象として、運転免許の取得および返納を判定し、個人ノードの免許保有属性を更新する。性別年齢別の免許取得確率、免許返納確率は性別年齢別免許保有率を1年スライドし、ある年齢階層における保有率の上昇を取得率、減少を返納率として設定する。

h) 独立（離家）

離婚、就職・進学による離家とは別に、性別年齢別離家者数を用いて個人の離家を判定する。離家者数フレームから離婚、就職・進学による離家数を除き、不足する場合その数の個人を離家させる。離家判定された個人ノードは、立地リンクの付け替えを行う。

i) 転居

世帯タイプごとの転居発生確率に基づき、確率的に世帯単位で立地リンクの付け替えを行う。新たな立地リンクによる接続は立地ゾーンの選択を表し、世帯タイプ別にモデル化されたゾーン選択モデルによって接続先を決定する。

3. 仮想的なマルチレイヤネットワークを対象とした適用

本研究では、構築したモデルを仮想的なマルチレイヤネットワークを対象として適用し、数値計算を実行する。仮想都市の形状を図-2に示す。仮想都市は $5 \times 5 = 25$ ゾーンからなり、中心に CBD が配置されている。同心円状に各ゾーンのアクセシビリティが異なり、これらは立地リンクの付け替えとして表現される立地ゾーン選択の確率に影響を与える。初期時点には各ゾーンに 100 世帯、

都市内に計2,500世帯の2人世帯が存在するものとする。シミュレーション期間はタイムステップを1年として30年間とする。各イベントの発生確率は、国勢調査、人口動態調査等の各種統計調査を用いて設定する。

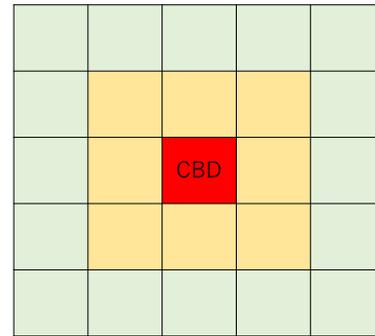


図-2 仮想都市

4. おわりに

本研究では、大規模ネットワークによる社会のダイナミクス表現が可能なモデルの構築に向け、個人とその集合体である世帯、それらが立地する都市内の空間を対象としたマルチレイヤネットワークモデルを構築した。大規模ネットワークへの適用を見据えた簡易なモデルにより、個人や世帯の主体属性変化や立地の変化を、複数のライフイベントごとに、属性、ノード、リンクの変化として記述する手法を提示した。また、仮想的なマルチレイヤネットワークを対象とした数値計算の実施方針を示した。数値計算結果については講演時に報告する予定である。

謝辞：本研究はJSPS科研費18H01557の助成を受け、実施しました。ここに感謝の意を表します。

(2019. 10. 4 受付)

A BASIC STUDY ON THE DESCRIPTION OF LAND USE CHANGE FOR SOCIAL DYNAMICS EXPRESSION BY MULTI-LAYER NETWORK

Nao SUGIKI, Shogo NAGAO and Kojiro MATSUO