マルチレイヤネットワークを用いた社会ダイナミクスシミュレーションの豊橋市への適用

豊橋技術科学大学　学生会員　○中谷　春貴
豊橋技術科学大学　正会員　杉木　直
岐阜大学　正会員　倉内　文孝
豊橋技術科学大学　正会員　松尾　幸二郎

1. はじめに

我が国では，急速な人口減少や少子高齢化に伴う中心市街地の衰退や都市機能の低下，およびモータリゼーションの進展による公共交通の衰退と都市の郊外化など，多くの社会問題が顕在化している．こうした中，高齢者を中心とした交通弱者の増加，都市サービスコストや都市施設の維持管理コストの増大などが課題となっており，持続可能な都市実現のための政策立案の必要性が高まっている．先行研究である長尾ら[1)]の研究では，仮想都市におけるマルチレイヤネットワークを用いた社会ダイナミクスの表現の有用性が示されているが，実際の都市を対象とした手法の有効性については検証はなされていない．そこで本研究では，構築されたマルチレイヤネットワークモデルを豊橋市に対象として適用し，その有用性を示すことを目的とする．

2. マルチレイヤネットワークによる社会ダイナミクスの記述

(1) 都市空間の記述

ある特定時点のマルチレイヤネットワークによる都市空間の記述イメージを**図１**に示す．マルチレイヤネットワークにおいて，個人属性，世帯構成，立地，施設アクセスはノードどうしの接続関係で表現する．また，人口動態や土地利用変化は，ライフイベント生起確率や立地選択モデルによる確率的なノードの消滅・生成，リンクの付け替えで表現する．特に，個人の施設選択は個人ノードと施設ノードの接続で表現し，施設へのアクセス性は施設アクセスリンクの重みとしてアクセシビリティ指標（以下 ACC 指標）を付与することで表現する．ACC 指標については，いくつかの指標が提案されているが，本モデルでは，個人の選択行動のモデル化により得られる最大効用の期待値（ログサム）を用いる．

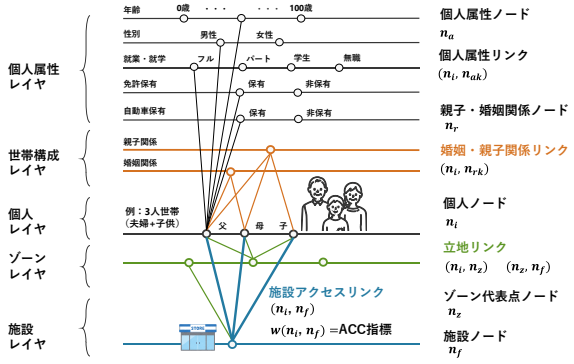

図１　マルチレイヤネットワークによる都市空間の記述

(2) 交通・アクセシビリティモデル

本研究では，実都市への適用のため，仮想都市において構築された交通・アクセシビリティモデルに関する改良を行った．交通･アクセシビリティモデルでは，個人の交通手段選択を考慮した交通を表現し，施設（目的地）アクセスに関するアクセシビリティ指標を算出する．本モデルにおいて，個人カテゴリnの選択可能な交通手段は，m∈Mn｛自動車；Auto，公共交通；PT（バス・鉄道），徒歩；Walk，世帯内同乗；RS｝とする．また，ここでの個人カテゴリnは，個人の属性（年齢，利用可能交通手段など）によって分類される．さらに，都市空間内の交通ネットワークは外生的に与えられるものとする．また，個人カテゴリnの OD 経路の交通手段別の移動速度と距離から所要時間を算出し，アクセシビリティ指標を算出する．

まず，ij間の個人カテゴリn，交通手段mの効用$V_{ij,n}^{m}$を次式で表現する

$$V_{ij,n}^{m} = \sum Ta \tag{1}$$

ここで，T_aはリンクaの所要時間である．次に，個人カテゴリnの交通手段利用可能性av_n^mを次式で定義する．

$$av_n^m = av_m_n^m \times av_d_n^m \tag{2}$$

ここで，$av_m_n^m$は個人カテゴリnの交通手段mの保有状況（利用可能→1，利用不可能→0，世帯内同乗→0～1），$av_d_n^m$は交通手段別の移動可能時間を考慮したアクセス可能性（移動時間＜移動可能時間→1，移動時間≧移動可能時間→0）である．個人カテゴリnのij間のアクセシビリティ指標$ACC_{ij,n}$は，μを分散パラメータとして，$V_{ij,n}^{m}$のログサム変数により次式で表現する．

$$ACC_{ij,n} = \frac{1}{\mu}\ln\left(\sum_{m\in M_n} av_n^m \exp\left(\mu V_{ij,n}^{m}\right)\right) \tag{3}$$

ij間における個人カテゴリnの交通手段選択確率$P_{ij,n}^{m}$

は次式で表現される．

$$P_{ij,n}^{m} = \frac{av_n^m \exp(V_{ij,n}^m)}{\sum_{m' \in M_n} av_n^m \exp(V_{ij,n}^{m'})} \quad (4)$$

個人カテゴリnのij間の効用$V_{ij,n}$を個人カテゴリnのij間のアクセシビリティ指標$ACC_{ij,n}$とし，ij間における個人カテゴリnの目的地選択確率$P_{ij,n}$は式(6)で与えられる．

$$V_{ij,n} = ACC_{ij,n} \quad (5)$$

$$P_{ij,n} = \frac{\exp(V_{ij,n})}{\sum_{j' \in J_n} \exp(V_{ij',n})} \quad (6)$$

3. 分析用データの作成

対象地域は愛知県豊橋市全域とする．初期世帯マイクロデータは既往研究 [2]で作成された，4 次メッシュのデータを用いた．作成したネットワークは，徒歩，自動車，バス，鉄道であり，これらのネットワーク間の乗り換えを表現するダミーリンクを設定した．これらのネットワークは ESRI ジャパンの道路網(2018)を使用し，ArcGIS と python で作成した．自動車は上記道路網に含まれる移動速度データより，バスと鉄道は時刻表と距離データより移動速度を算出して，ネットワークに移動速度を付与した．また，移動可能時間の閾値は 30 分とし，個人カテゴリ別に交通手段保有状況や徒歩速度等の交通条件を設定した．

4. 分析結果

豊橋市における個人カテゴリごとの固有ベクトル中心性と次数の関係や固有ベクトル中心性とアクセシビリティ指標の関係の結果をグラフ化したものを**図 2** に示す．免許を保有している個人カテゴリに属する個人ノードは固有ベクトル中心性が高くなっている．免許保有している人ほど，より多くの施設にアクセス可能なため，中心性が高くなると考えられる．また，高齢者よりも非高齢者の方が固有ベクトル中心性は大きくなった．これは，高齢者は移動速度が非高齢者よりも低いため所要時間が増え，アクセシビリティ指標が低下したためであると考えられる．次に施設における固有ベクトル中心性と次数の関係を**図 3** に示す．色の濃さによって次数の大きさを表し，円のサイズによって固有ベクトル中心性の大きさを表した(**図 4**, **図 5**)．豊橋市の中心部の施設ほど次数が大きくなることが確認できた．

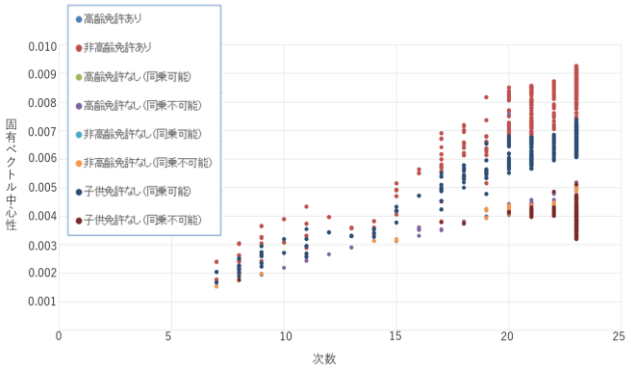

図 2　個人ノードの次数と固有ベクトル中心性

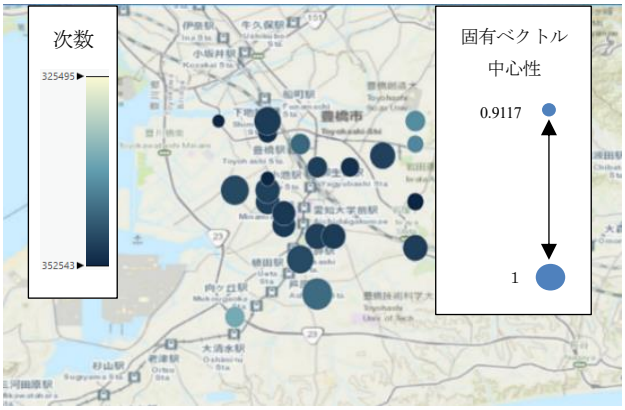

図 3　施設の次数と固有ベクトル中心性

5. おわりに

本研究では，実都市への適用のために交通・アクセシビリティモデルを改良したマルチレイヤネットワークモデルを構築した．さらに，豊橋市に対象として適用し，個人・施設それぞれのノードにおける現状の固有ベクトル中心性と次数，アクセシビリティ指標の関係性を分析し，考察した．本研究では，時間の関係上，先行研究で考慮していた交通量や一般化費用を考慮せず，所要時間に着目してアクセシビリティ指標を算出した．今後は，一般化費用を考慮したアクセシビリティ指標を用いて，より正確な結果を算出するとともに，経年変化を考慮した将来シミュレーションを，実都市を対象として実施する予定である．

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．

参考文献

1) 長尾将吾，杉木直，倉内文孝，松尾幸二郎：マルチレイヤネットワークを用いた社会ダイナミクスシミュレーション，土木計画学研究・講演集，Vol.62，2020.
2) 長尾将吾，杉木直，松尾幸二郎：地域メッシュ統計を用いたメッシュベースの初期世帯マイクロデータ推定，平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，2019.