

MCMCによる空間遷移行動に基づく 路線価分布の分析

福山 祥代¹・羽藤 英二²

¹東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail: fukuyama@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

²正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 准教授

(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

街路ネットワーク形態と歩行者行動特性によって生じる歩行者のフローの大きさは、利用頻度などにつながる場所のポテンシャルと何らかの関係をもつものと考えられる。本研究では、場所の経済的な評価指標である路線価を対象に取り上げ、歩行者フローとの関係を明らかにすることを目指す。歩行者フローを指標化するものとして、出発地及び目的地の偏りを考慮した媒介中心性を用い、目的地の設定には歩行距離に応じたMCMC法による抽出法を採用する。2つの時代について算出したネットワークの中心性と路線価の関係を、重回帰モデルにより分析した結果、路線価と媒介中心性には一定の関係が見られ、また現在のネットワークだけでなく、歴史的なネットワーク形態において中心性の高かった場所が現在の路線価と関係をもつ可能性も見出せた。

Key Words: network analysis, betweenness centrality, street land value

1. はじめに

既成市街地において新たな施設の整備など土地利用の改変を行う際に、利用頻度などにつながる場所のポテンシャルを把握することや、改変が周辺地区にもたらす影響・効果を予測することは、計画の成否や街の持続可能性にとって重要である。しかし、場所がもつポテンシャルを評価し、加えられた変化に対応する将来予測をするような手法は、確立されていない。

本研究では、賑わいや高い利用頻度を生み出すような場所の特性をその場所のポテンシャルと考え、これが街路ネットワーク上を移動する人の流れの影響を受けて変化すると考える。この関係を捉えるために、場所の経済的ポテンシャルを数値として示す路線価を取り上げ、街路ネットワークの媒介中心性との関係を分析する。歩行者が最短経路を選択すると仮定し、出発地と目的地の偏りを考慮すると、媒介中心性は交通量の擬似的な指標と捉えることができる。本研究では、人の歩行距離からMCMC法（マルコフ連鎖モンテカルロ法）によって目的地の分布を設定する手法を用い、歩行者の行動特性と街路ネットワーク形態から指標を導き出す。この指標と路線価の関係を分析することによ

り、指標が場所のポテンシャルに対して持つ影響を把握し、土地利用の変化を予測する手法の構築につなげるための基礎的な知見を得ることを目指す。

2. 研究のフレーム

(1) 既往研究の整理と本研究の位置づけ

街路など移動のネットワークと土地利用の関係を分析した研究として、ネットワークの中心性指標を用いたものと、ネットワークと土地利用の変化の相互作用による発展過程をモデル化したものが挙げられる。前者については、Hillierらが提唱したスペースシンタックスを用いた研究が多くなされている。また、Porta et al. (2009)¹⁾は、媒介中心性などネットワーク分析の4つの中心性指標とボローニャの商業・サービス施設の密度との関係を分析し、小売及びサービス施設が媒介中心性の高い場所に集中していることを示している。後者では、ネットワークの自己組織的な生成メカニズムを土地利用との関係で理論モデルとして記述したものが最近の研究に見られ、Barthelemy and Flammini (2009)²⁾では人口密

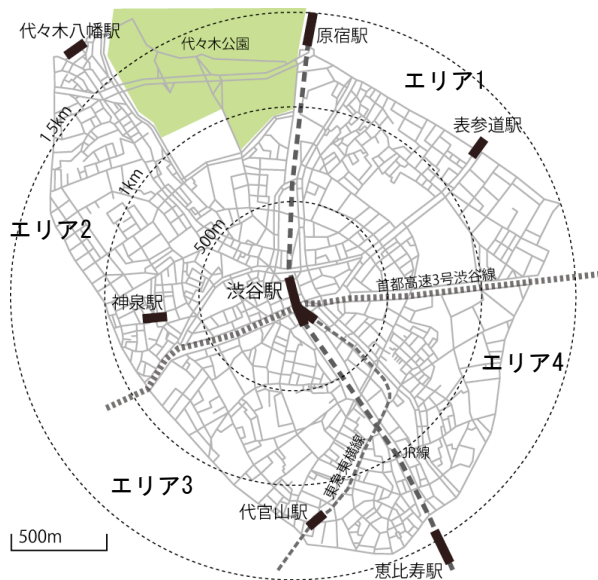


図-1 分析対象地区

度と道路ネットワークが相互に影響し合い発展する過程をシンプルな理論モデルで表している。中心地からの距離（正）と賃料（負）により表される選択確率によって新たな施設の発生点が決定し、発生点に対して建設コストを最小化する形で新たな街路が形成されるというモデルを構築し、実際の街路形状に近いネットワークが再現されるとしている。Levinson and Yerra(2006)³⁾は、ネットワークの新陳代謝を交通量に比例するリンクごとの収入と維持費用の差による改良費用との関係で表し、改良が交通量を増加させ更なる収入の増加と改良につながるというサイクルによってネットワークにヒエラルキーが生じるとしている。また、パネルデータを用いて土地利用の変遷とネットワークの変化の関係を分析した研究としてLevinson(2008)⁴⁾があり、19世紀及び20世紀のロンドンの地区ごとの人口密度と鉄道駅数の変遷の時系列データを用い、両者間に正のフィードバックの関係があることを示している。

既往研究のうち後者はネットワークの生成や変化のメカニズムの要因として土地利用を捉えるものが多く、また前者については場所のポテンシャルとネットワークの幾何学特性の關係に着目しているが、本研究は、歩行者の行動特性を用いて歩行者のフローに踏み込んだ指標化を試み、また路線価という数値との関係分析によって指標の特性を明らかにしようとする点に独自性があると考えられる。

(2) 分析のフレーム

本研究では、ネットワーク分析の媒介中心性に基づく指標を用い、歩行者行動特性と街路ネットワークの形態から生じる場所のポテンシャルを分析する。中心性の計算において、歩行者交通の発生集中量の大小を考慮す

ることとし、目的地の設定にはMCMC法を用いたサンプリング法を用いる。算出した媒介中心性指標と、実際の都市の場所の経済的評価を表す路線価との関係について、重回帰分析を行い検討する。

a) 媒介中心性指標

媒介中心性は、ある地点がネットワーク内の2地点間の最短経路に位置する程度を示す指標であり、式(1)で定義される。

$$C_b(k) = \sum_{i \neq j} \frac{g_{ij}(k)}{g_{ij}} \quad (1)$$

g_{ij} はノード*i*と*j*の間の最短経路数、 $g_{ij}(k)$ はノード*i*と*j*の間の最短経路のうちノード*k*を通るものの数である。本研究では、最短経路が各リンクを通る数をリンクごとに集計したリンク媒介中心性を指標として用いる。

b) 出発地点・目的地の設定

歩行者が最短経路を通ると仮定すると、媒介中心性は交通量の擬似的な指標として考えることができる。交通量には発生集中量が大きな影響をもつことから、本研究では、発生集中量の相対的な大きさを考慮し、出発地点と目的地を設定して媒介中心性の計算を行う。地区内の歩行行動について、出発地点は駅など地区内に進入する交通の拠点とし、複数ある場合は乗降客数などの比率を発生量の重みとして各拠点に割り当てる。対象地区とした渋谷では渋谷駅への一極集中を仮定する。

目的地は、典型的な歩行行動における歩行圏域を用いて設定する。歩行者行動特性とネットワーク形態のみから生じる歩行者の流れの特徴を取り出すため、土地利用の分布は目的地選択上考慮しない。目的地選択には、菊池ら(2001)⁵⁾により提案されたMCMC法による抽出手法を用いる。歩行距離の確率分布を設定し、MCMC法によって確率密度に応じた目的地をサンプリングする。ただし、本論文では、単純化のために、設定した歩行圏域内の全ノードの目的地としての選択確率を一律としている。

3. 対象地区のデータ

(1) 対象地区の概要

分析対象地区として、渋谷駅を中心とし隣接主要駅を含む半径約1.5kmの範囲を選定する(図-1)。渋谷駅周辺地区は、江戸時代には町方と農村部の接点に位置し、渋谷川を境に東側には大規模な武家屋敷、西側には農村が広がっていた。明治13年頃は農地が大部分を占め、街並は宮益坂・道玄坂沿いに見られるのみであったが、明治18(1885)年に最初の鉄道駅が開設され、以降駅を中心に市街化が進展す

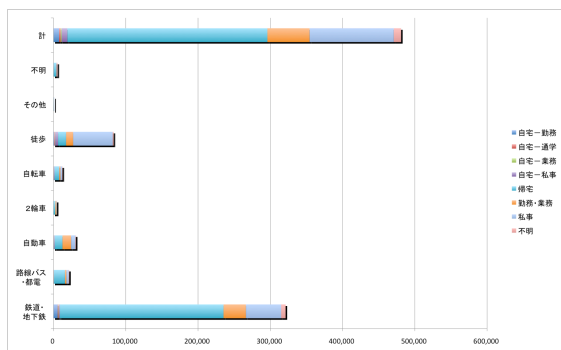


図-2 東京PT (H20) による渋谷地区の発生交通量

る。当初住宅地として人口が急増したが、明治40年代の玉川電車及び市電の開通、さらに昭和2年の東横電鉄、昭和7年の帝都電鉄の開通を受け、都市と郊外を結ぶターミナル駅の性格が強まり、駅を中心とした商業地域の形成が急速に進んだ。戦災により地区の大部分が大きな被害を受けたが、商業の再建は急速に進み、一方で東京都による戦災復興土地区画整理事業（事業決定：昭和23年、換地処分：昭和41年、昭和47年）の施行、オリンピック開催に伴う首都高速道路建設及び国道246号線の拡幅などの都市整備によって、自然発生的に形成された従来の街路に計画的な整備の手が加えられた。

(2) 分析に用いるデータ

本研究では、平成22年の街路形態と、自然発生的な形成過程をたどった土地区画整理事業施行前の街路形態を取り上げ、現在の地価との関係を考察する。平成22年の街路ネットワークは、Google Earthからノート座標データを手作業で抽出し作成した。街路は1本の街路を1本のリンクとして扱い、片側2車線以上の街路のみ両側の歩道をリンクとして設定した。また、区画整理前の街路ネットワークは、昭和20年の渋谷区土地利用図を基にノードの座標を抽出し、現在のネットワークを参照して位置の補正を行い作成した。

地価のデータとして、平成22年度の固定資産税路線価を用いた。固定資産税路線価とは、固定資産税などの課税対象となる宅地を評価するために便宜上道路に付設された価格であり、その道路に接する標準的な宅地1㎡あたりの価格を意味する。データは(財)資産評価システム研究センターの「全国地価マップ」から入手した。

4. 街路ネットワーク分析

(1) 分析の前提条件

東京パーソントリップ調査のデータから、対象地区の歩行者行動の特徴を発生集中交通量に着目して捉えると、大部分が駅を起点とした行動であることがわかる

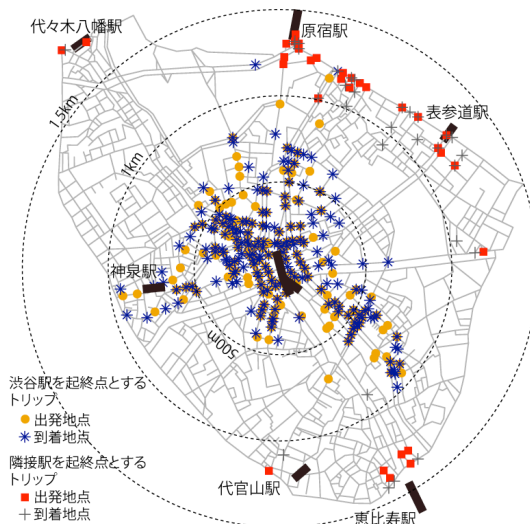


図-3 トリップの出発地点・到着地点の分布

(図-2) . 全体の行動の内訳は、通勤・通学をはじめとする義務的なものが7割、買物などの私用が3割となっている。そこで、対象地区の歩行者行動を主に構成する行動パターンを、a) 駅と目的地を最短経路でつなぐ行動（義務的な移動を想定）、b) 駅を出発して複数地点を最短経路でつなぐ行動（買物などの回遊行動を想定）の2種類に設定し、ネットワーク分析を行う。現在の街路ネットワークに加え、昭和20年の街路ネットワークについても、同様の行動を仮定して分析する。

a) 駅と目的地を最短経路でつなぐ行動

2005年11月19日から2ヶ月間実施されたプローブパーソン調査のデータから、対象地区において駅を出発するトリップの到着地点が駅から約1kmの範囲内に分布するという結果が得られる(図-3)⁶⁾。そこで、駅を出発地点とし、駅から最短距離1km以内で到達できるノードを目的地として設定する。目的地となる施設等の分布は、駅からの距離に従って減少すると考えられ、距離に応じた選択確率を設定することが望ましいが、ここでは単純化して、対象圏内の全地点が同じ確率で目的地に選択されると仮定する。

b) 駅を出発して複数地点を最短経路でつなぐ行動

駅を出発して駅に戻る回遊行動について、対象地区のプローブパーソン調査データでは、1トリップあたりの移動距離は平均345mで500m以下の移動が86%を占め、ツアーあたりの平均トリップ数は2.86回となっている。これを参考に、駅を出発して1回につき500m以下の移動を2回行い3回目の移動で駅に戻るという行動を仮定する。本来各回の移動距離にはばらつきがあるため、移動距離の確率分布を設定してそれに従う形で目的地を選定することが望ましいが、単純化して、出発地点から最短距離400m以内の地点すべてが同じ確率で目的地になるものとして計算する。回遊行動がたどる経路の重なりをリンク

歩行者行動a)_平成22年ネットワーク



歩行者行動b)_平成22年ネットワーク



歩行者行動a)_昭和20年ネットワーク



歩行者行動b)_昭和20年ネットワーク



図-4 街路ネットワークの媒介中心性の分布

ごとに集計して媒介中心性を算出する。

(2) ネットワーク分析

前項のa), b)によりネットワーク分析を行った結果を図-4に示す。a)では幹線的な街路に中心性の高い場所が集中する傾向が見られる。昭和20年のネットワークでは、宮益坂から道玄坂が主軸となり、そこから枝分かれする形で各地区の幹線が伸びていた。明治期からの発展過程を継承する街路パターンであることがわかる。これに対し、現在のネットワークでは、区画整理事業後、特に東西方向の首都高速の整備によって、地区全体が4分割され、各地区の中心性の高い幹線的な街路は45度方向の街路に移行している様子が見られる。

b)の分析結果では、a)よりも駅周辺に中心性の高い場所が集中し、平成22年のネットワークでは駅北西側に中

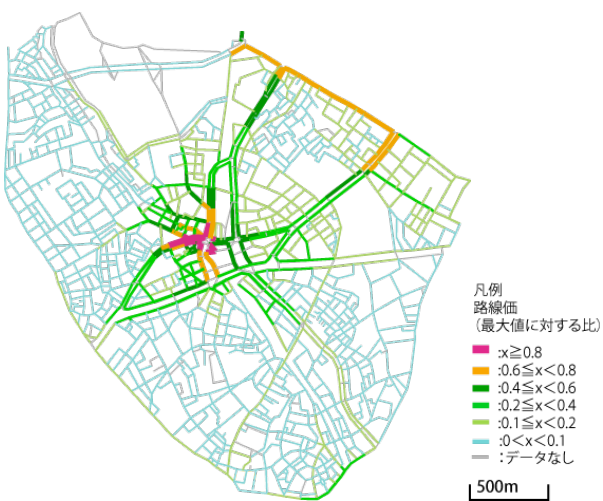


図-5 路線値の分布

表-1 重回帰分析結果
(全体)

	路線価 (H22)	
	係数	t値
定数項	0.000620	30.414 ***
歩行行動a)の 媒介中心性 (H22)	-0.042680	-5.015 ***
歩行行動b)の 媒介中心性 (H22)	0.225000	24.680 ***
歩行行動a) b)の 媒介中心性 (S20)	0.019270	17.872 ***
決定係数 (R ²)	0.483500	

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05

表-2 重回帰分析結果 (エリア別)

	路線価 (H22)		エリア1		エリア2		エリア3		エリア4	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値
定数項	0.003047	19.323 ***	0.001278	18.999 ***	0.004337	15.8 ***	0.003946	19.715 ***		
歩行行動a)の 媒介中心性 (H22)	-0.003621	-0.258	0.019850	1.661 .	-0.033164	-0.942	-0.199287	-7.154 ***		
歩行行動b)の 媒介中心性 (H22)	0.142111	9.129 ***	0.236200	19.121 ***	0.241704	5.53 ***	0.330190	11.713 ***		
歩行行動a) b)の 媒介中心性 (S20)	0.041832	4.782 ***	0.088100	10.565 ***	-0.062904	-2.603 **	0.111525	8.555 ***		
決定係数 (R ²)	0.329700		0.561300		0.227500		0.634700			

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05, .p<0.1

心性の偏りがある様子が見られる。また、昭和20年のネットワークでは、歩行行動a)とb)での媒介中心性はほぼ同様の分布を示す。

5. 路線価と媒介中心性との関係の分析

(1) 路線価の分布

平成22年度の固定資産税路線価の分布を図-5に示す。主要な幹線と、商業施設が集積する駅北西側の一帯で、地価が高いことがわかる。また、原宿・表参道に近いエリアでは、それらの駅の影響が地価に現れている。

(2) 路線価と媒介中心性の関係分析

次に、路線価と媒介中心性の関係を分析する。ネットワーク分析を行った年代及び行動パターン別の媒介中心性の分布を説明変数とし、路線価を目的変数として、重回帰分析を行う。説明変数として、昭和20年のネットワークでは歩行行動a)とb)の分布に相関があるため平均値で代表させ、平成22年 (H22) ネットワークの歩行行動a), H22ネットワークの歩行行動b), 昭和20年 (S20) ネットワークの歩行行動a) b)の平均値の3種類の媒介中心性の分布を用いる。なお、分析においては、路線価、媒介中心性とも、それぞれの合計値に対する比率に置き換えている。分析結果を表-1に示す。結果として、路線価と媒介中心性は、ある程度の相関をもつこと、3種類の媒介中心性はそれぞれ回帰モデルに対して有意であることがわかる。ただし係数を見ると、H22の街路ネットワークでの歩行行動b) (回遊行動) の影響が大きい一方、歩行行動a) (通勤・通学などの義務的行動) は負の相関を示している。路線価と媒介中心性の相違について、図の比較からは、路線価が鉄道駅間をつなぐ主要幹線道路で高くなっていることが要因の1つであることがわかる。

H22の街路ネットワークは、先述したように鉄道及び高速道路で4つに分割されており、媒介中心性の分布からも4つのエリアの内部での移動が各エリア45度方向の街路の中心性を高めていることが読み取れる。各エリアは戦後の区画整理によるネットワーク改変の程度も異なり、それがその後の市街化の過程や歩行者行動の傾向に

違いを生じさせていると考えられる。そこで、地区をエリア1: 北東, エリア2: 北西, エリア3: 南西, エリア4: 南東の4つに分けて (図-1), エリアごとの路線価と媒介中心性との関係を分析する。重回帰分析の結果を表-2に示す。4つのエリアで決定係数が大きく異なり、エリア2と4は比較的モデルの当てはまりがよいのに対し、エリア1と3は決定係数が低い結果となっている。個別の説明変数について見ると、各エリアとも、H22ネットワークの歩行行動b) (回遊行動) がモデルへの影響も有意性も高く、逆にH22ネットワークの歩行行動b)の有意性が低くなっている。各エリアの特徴的な点として、エリア1, 2, 4ではS20ネットワークが正の相関をもち、ネットワーク全体の分析結果よりも係数が相対的に大きくなり、路線価に対してH22ネットワークの1/3程度の関係をもっていることがわかる。これに対し、エリア3ではS20ネットワークの係数は負になっている。エリア3は区画整理による駅付近の改変の度合いが大きく、路線価の高い部分でS20ネットワークの形態をほとんどとどめていないことが主な要因と考えられる。

6. まとめ

本研究では、場所の経済的な評価指標である路線価を対象に取り上げ、出発地と目的地の偏りを考慮した街路ネットワークの媒介中心性との関係を、重回帰モデルにより分析し、結果として以下の考察が得られた。

- ・路線価と街路ネットワークの媒介中心性には一定の相関が見られ、買物など複数地点に立ち寄る回遊行動との関係が大きい。

- ・鉄道駅間をつなぐような幹線の沿道の路線価は高いが、媒介中心性との相関は低い結果となった。本研究では1つの駅を中心とした行動を対象としているが、街路の個別の性格に応じたもう少し広範囲の分析が必要である。

- ・鉄道や首都高速によって分断された4つのエリアでは、歴史的な街路ネットワークの改変の程度が異なり、それがその後の市街化の過程や歩行者行動に影響しエリアごとの特性の違いを生み出している。

・媒介中心性の高い部分の改変の程度が大きかったエリアを除き、路線価と昭和20年のネットワークでの媒介中心性との関係が見られる。経年的に築かれた土地利用がその要因となっていることが考えられる。

参考文献

- 1) Porta, S., Valentino, I., Messori, R. (2009), Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy, *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 36, pp. 450-465
- 2) Barthélemy M., Flammini A. (2009), Co-evolution of density and topology in a simple model of city formation, *Network Spatial Economy* 9, pp. 401-425
- 3) Levinson D. (2008), Density and dispersion: the co-development of land use and rail in London, *Journal of Economic Geography* 8, pp. 55-77
- 4) Levinson D., Yerra B. (2006), Self-organization of surface transportation networks, *Transportation Science* 40(2), pp. 179-188
- 5) 菊池輝, 山本俊行, 芦川圭, 北村隆一(2001), MCMC法を用いた巨大選択肢集合下での目的地選択行動の再現, *土木計画学研究・論文集 Vol.18 no.3*, pp. 503-508
- 6) 福山祥代, 羽藤英二(2011), 渋谷のネットワーク特性に着目した歩行空間の行動分析, *第43回土木計画学研究・講演集, CD-ROM*