

# 近接性と媒介性を指標とした 土地利用とネットワークの歴史的変遷過程の分析

福山 祥代<sup>1</sup>・羽藤 英二<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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)

<sup>2</sup>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)

本研究では、街路ネットワークの接続関係による近接性と媒介性という2つの指標を用いて、商業集積地の歴史的変遷の要因について場所のポテンシャルとの関係から分析を試みた。近接性の計算には重力モデルを基にした指標を、媒介性についてはマルコフ連鎖モンテカルロ法とDialのアルゴリズムを用いて経路の交通量の指標を求める方法を導入した。単純化したシンプルな分析を行ったが、対象とした松山市において現在一大商業集積地となっている銀天街から大街道にかけてのエリアが、計画的に形成された城下町にあって自然発生的に成長していった要因の一端を捉えることができ、分析手法の有効性について可能性を見出せた。

**Key Words:** network analysis, closeness index, betweenness index, land use

## 1. はじめに

既成市街地の街路ネットワークと土地利用は、相互に影響を及ぼしながら発展し、現在の市街地が築かれている。このような発展過程における変化の要因等を読み解くことは、現在の都市での人の流れや場所の特性を理解する助けとなり、新たな施設の整備など土地利用の改変を行う上でも計画の成否や街の持続可能性にとって重要な要素となると考えられる。

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に関係して生じると考える。距離が近いほど利用頻度が高く、また歩行者が多く通行する場所ほど利用者が多いということから、歩行者の行動特性を考慮した指標を用いることによって場所のポテンシャルが表現できることが予想できる。本研究では、重力モデルに基づく距離の近接性と、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と、経路選択枝を列挙せずに交通量を計算するDialのアルゴリズムを用いた媒介性の指標の2つを用い、これらの指標と歴史的な商業集積地の変化の関係を定性的に分析することにより、指標を歴史的過程や現在の

都市の分析に適用していく可能性を探ることを目的とする。

## 2. 研究のフレームとネットワーク指標

### (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)<sup>1)</sup>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)<sup>2)</sup>では人口密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

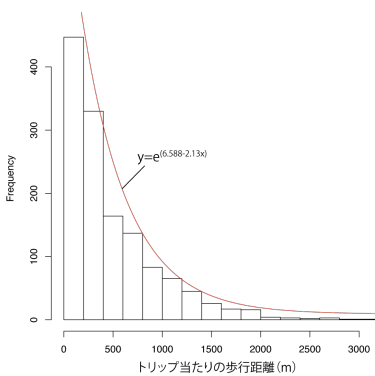


図-1 プロブパーソン調査による歩行距離の分布

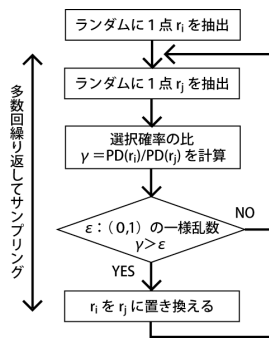


図-2 MCMC法を用いた目的地サンプリング法



図-3 現在の松山市中心部

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)<sup>3)</sup>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)<sup>4)</sup>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関心に注目しているが、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ている点に独自性があると考えられる。

## (2) 分析のフレームと指標

本研究では、市街地の歴史的な発展過程について、街路ネットワーク形態に関して生じる場所のポテンシャルに着目して分析する。分析には、距離の近接性と媒介性の2つを指標として用いる。

### a) 距離の近接性

距離の近接性は、距離が短いほど地点間の移動が多く発生するとするもので、その地点を目的地として移動してくる人の多さをその場所のポテンシャルと考えるものである。場所のポテンシャルを表す指標として伝統的に用いられてきたもので、代表例として重力モデルがある。重力モデルは、2地点間の人の移動の量がそれぞれの地点の人口に比例し2地点間の距離の2乗に反比例するという形がよく知られているが、より一般化すると式

(1)の形で表される。

$$T_{ij} \sim P_i P_j f(d_{ij}) \quad (1)$$

$T_{ij}$ は地点*i*・間 $\cdot$ 間に発生するトリップ数、 $P_i, P_j$ は地点*i, j*の人口、 $d_{ij}$ は*i*・ $\cdot$ 間の距離とする。 $f$ は距離に応じて減少する関数であり、既往研究での提案は冪乗の形と指数関数の形の2種類に大きく分けられる。交通手段や対象とする移動のスケール等によって異なると考えられているが整理はなされていない。本研究では、現代の歩行行動特性が江戸時代、明治時代にも適用できると仮定することとし、実行データから式の形や係数を導き出すこととした。松山市において2007年10月29日、11月19日、12月17日、1月14日からそれぞれ2週間実施されたプロブパーソン調査の行動データを用い、歩行トリップを抽出してその移動距離の出現頻度を集計した。結果は図-1のようになり、近似曲線として  $y = e^{-(6.588-2.13x)}$  を得た。このことから、本研究では距離の近接性によるポテンシャルを次式のように設定し分析を行った。

$$T_{ij} = CP_i P_j e^{-2.13d_{ij}} \quad (2)$$

なお、既往研究においても、都市内の移動など比較的短距離の場合は指数関数の分布を示す場合が多いとの知見が示されており、今回の分析に用いる関数型としては概ね妥当性があるものと考えられる。

### b) 媒介性

媒介性は、ネットワーク内の2地点間の経路が多く集中することをポテンシャルが高いとする指標である。多くの地点間の経路に位置するということは都市内の移動にとって重要な位置を占めるということであり、またその場合通過交通量が大きくなることから、集客力など商業立地に関わるポテンシャルと関係があると考えられる。ネットワーク分析の媒介中心性と関係の深い指標であるが、本研究では、分析対象とした松山市中心部の街路形状の特性を考慮し、Dial<sup>5)</sup>により提案されたアルゴ

リズムを用いて交通量を基にした指標を算出することとした。Dialのアルゴリズムは、経路を列挙せずにネットワーク上の各リンクの交通量を計算できる点に利点があり、特に松山市中心部のように格子状の街路形状では2地点間の最短経路が多く存在する場合には計算負荷を大幅に削減できる。また、最短経路以外の経路も評価できることに特徴がある。これを用いて本研究では、以下に示す方法により指標を算出した。まず各地点について出発・到着する交通量の設定が必要であり、本研究では、各地点を出発する交通量については分析の前提条件に応じて地点間の比を設定し、各出発地点に対する到着地点は、出発地点からの距離に応じてa)で定めたポテンシャルに比例する選択確率に従って選択されるものとして、マルコフ連鎖モンテカルロ法（以下MCMC法）を用いた手法によりサンプリングを行い抽出した。MCMC法を用いたサンプリング法は菊池ら<sup>6)</sup>により提案されたもので、**図-2**に計算フローを示す。以上により求めた各地点の出発・到着交通量に対して、Dialのアルゴリズムを適用してリンク交通量の比を計算した。

### (3) 分析対象地とデータ概要

本研究では、松山市中心部を対象として分析を行う。松山市中心部は、17世紀初頭に成立した城下町を都市の起源とし、計画的に配置された土地利用と自然発生的に成長した土地利用が対比的な発展過程を示す事例である（**図-3**）。

分析に用いたネットワークデータは、江戸時代、明治時代の古地図<sup>7)8)</sup>から街路の位置及び接続関係の情報をトレースによって取得した後、Google Earthから位置情報を得て作成した現在のネットワークデータと重ねて、手作業で位置の補正を行うことにより作成した。

## 3. 商業集積地の歴史的形成過程

### (1) 江戸時代

現在の松山市中心部の骨格は、慶長7年（1602年）に建設が開始された城下町に由来する。寛永年間には城郭と市街の建設が完了し、築城後約1世紀後の元禄期に都市の成長の限界に達し定常状態に入った。城下町は防衛を主眼に地割と土地利用の配置が定められた計画的な都市であり、建設した街に用途区分に従い移住することによって最初の街が形成される。領国経営の拠点となる城下町において商工業機能の集中は重要な柱であり、商人や職人の城下町への移住が強制的に行われた。このように藩によって計画整備され地子免除等により維持された地区に対して、計画エリア外では時代を経るに従い自然発生的に街が形成された。元禄期の城下町図を基に、こ

の時代の主な土地利用を1)武家屋敷、2)徒士や足軽等が居住する組家、3)町人街、4)農地に大きく区分したものを**図-4**に示す。町人街は大きく2つに分けられる。城下町建設段階で計画的に定められた古町地区と、計画エリアの外縁に自然発生的に成長した外側地区であり、前者は地子免除の恩典と城下町商人としての義務を負っていた。当初古町地区がもっていた商業活動の中心地の地位は、江戸時代後期には次第に外側地区に移っていく。その要因は複数あり、藩財政の悪化により増加した御用銀による負担増なども一因に挙げられているが、本研究では次章において地理的な要因について分析し考察を行う。

江戸時代の商業活動は、1)武家に対する商売、2)町人をはじめとする武家以外の城下町居住者に対する商売、3)領内の農村に対する商売、4)領外との取引に分類できる。このうち4)については、大阪等への船便の拠点となる三津港に対し、古町のほうが外側より距離的にも近く、また三津港への輸送費も古町-三津間が外側-三津間の7割程度と距離の比よりも割安に設定され、有利であった。3)については、城下町と農村との間の商取引を藩は厳しく規制し、農村から城下町に買いに来る農民に対する取引場所を南萱町口、橘口、唐人町口、壱万町口、清水町口、木屋町口の6ヶ所に指定した。これによりこれら城下入口の町屋が成長した。

### (2) 明治時代～昭和初期

明治期に入ると、城下町であった松山市中心部は、県庁所在地という新たな役割が与えられ、土地利用の転換が始まる。市街の中心を占めていた武家屋敷がなくなった跡地には、官公庁や銀行など市の中枢を担う業務系用途が立地した。明治21年に開業した伊予鉄道の敷設は、明治期の松山市の発展の大きな要因となる。松山市と三津港を結び、高浜港へと延伸される路線の整備は、県外の供給地・消費地との接続を大きく向上させ、さらに松山市と郊外とを結ぶ路線の整備によって、松山市への求心性が高まった。放射状の鉄道ネットワークの起点は外側地区の西端に設けられ、外側地区の発展を決定づけることとなった。松山市駅及び古町駅では発荷より集荷が著しく多く、消費地としての松山中心部への配送センターとして機能していた。また、松山市駅と道後を結ぶ路線の整備は、沿線の住宅の立地を促進した。

### (3) 昭和20年代以降

松山市中心部は、第二次世界大戦の空襲によって、約9割が焼失した。このため中心部に残された戦前の建築物は数少ないが、戦災復興の都市計画では従前の街路形態が継承され、江戸時代に形成された街路骨格が今に続く形となっている。

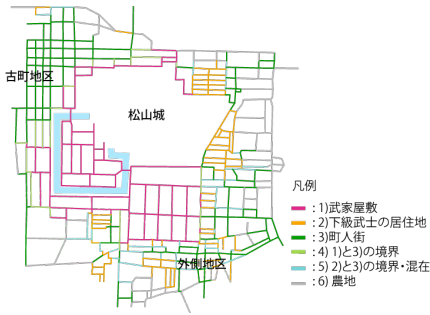


図-4 江戸時代の土地利用状況

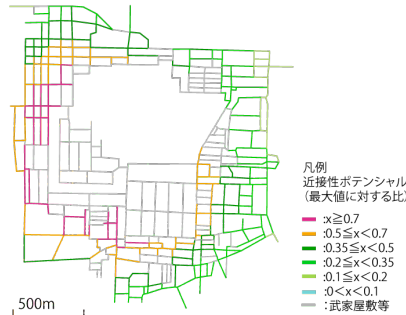


図-5 武家屋敷からの近接性によるポテンシャル (江戸時代)

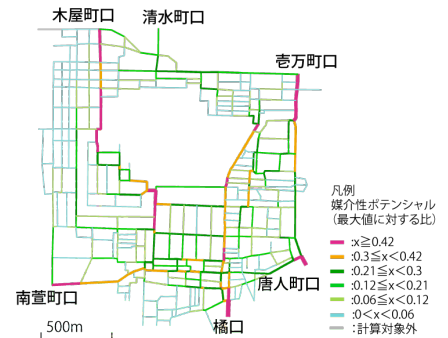


図-6 武家屋敷と農村向け取引場所間の経路の媒介性 (江戸時代)

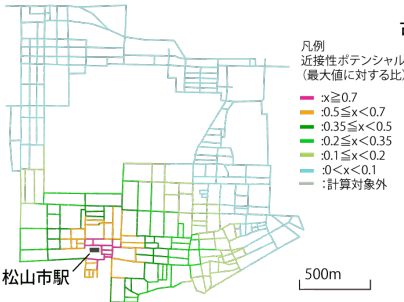


図-7 松山市駅からの近接性によるポテンシャル (明治時代)

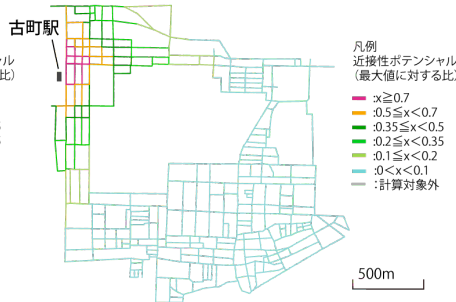


図-8 古町駅からの近接性によるポテンシャル (明治時代)

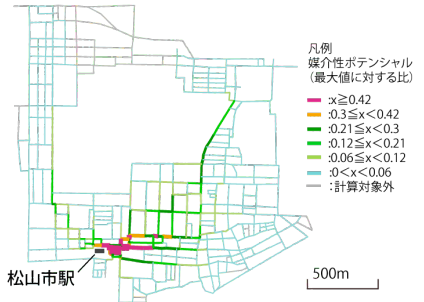


図-9 松山市駅から市街の各地点に向かう経路の媒介性 (明治時代)

#### 4. 商業集積地のポテンシャル分析

前章で示した歴史的過程における場所のポテンシャルについて、2つの商業集積地に着目し、2(2)で提示した指標を用いて分析する。

##### (1) 江戸時代

###### a) 近接性

江戸時代には、明確なゾーニングにより都市が構成されていた。武家屋敷群という大消費地が、定められた位置に集中して配置され、この中に用途の混在は認められていなかった。そこで、武家屋敷とその他の用途に区分し、その他の範囲にある各リンクについて、武家屋敷内の全リンクを起点とした歩行距離（経路長さ）による近接性のポテンシャルを式(2)により計算して集計し、リンクのポテンシャルとした。結果を図-5に示す。ここで、式(2)の $P_i$ については、人口というより購買力の大きさとするのがこの場合は妥当と考えられる。本研究では単純化して、各武家の間口の大きさがその家の購買力の大きさを表すものと仮定し、それをリンクごとに集計したもの（すなわちリンクの長さ：両側に家が張り付く場合はリンク長さの2倍）を各リンクの購買力の大きさを表す係数として用いた。

##### b) 媒介性

媒介性は、2地点を結ぶ経路が多く集中している場所を高いポテンシャルとして表す指標である。江戸時代の商業活動の対象として先に挙げた4つのうち、1) 武家屋敷に対する商売と3) 領内の農村に対する商売は対象とする位置が固定され、店を構える上で立地選択の与条件になったと考えられる。このため、これらを結ぶ動線の媒介性を分析したところ、図-6のような結果が得られた。

以上のa)及びb)の分析において、外側地区に着目すると、まず武家屋敷に近接する場所において高いポテンシャルをもとに町屋の集積が進むとともに、その拡大の方向性やスピードは、図-6に示した媒介性に影響されていることが読み取れる。しかしこの段階で、古町地区と比べて大きな優位性は見出せない。

##### (2) 明治時代

###### a) 近接性

明治時代にネットワークに生じた大きな変化は鉄道の敷設である。松山市駅及び古町駅からの距離による域内全リンクのポテンシャルを計算すると、図-7, 8のようになる。

###### b) 媒介性

鉄道の敷設は、域内の歩行者動線の分布を大きく変化させ、駅を起点とする歩行者の流れが、強い影響をもつようになったと考えられる。そこで、駅と域内の各地点を結ぶ歩行者動線によって生じる媒介性のポテンシャル

ルについて、2(2)に示した方法を用いて計算した。結果を図-9に示す。

以上a), b)において、まず図7, 8から、鉄道駅の影響範囲が地理的形状によって古町地区の場合は松山市駅に比べて小さい範囲に限定されていることがわかる。このことが、松山市駅への鉄道路線の集中とともに、外側地区の中心性が高まっていったことに関連する可能性がある。

## 5. まとめ

本研究では、松山市中心部を対象に、商業集積地が成立し強化されていく歴史的過程を、街路ネットワーク形態から生じる近接性と媒介性という2種類のポテンシャルに着目して分析し、土地利用の変化と街路ネットワークのポテンシャルの相関を捉えることを試みた。分析の結果、土地利用の変化にネットワークのポテンシャルが関係している可能性が見出せたと考える。本研究では歴史的な各断面を切り取って分析を行ったが、土地利用とネットワークの時系列的な変化をモデル化し、より詳細に都市の変化を捉える手法として整理することを、今後の課題としたい。

## 参考文献

- 1) Porta, S., Valentino, I., Messora, 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) Dial, R.B. (1971), A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration, *Transportation Research* vol. 5, pp. 83-111
- 6) 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
- 7) 元禄松山城下図, 伊予史談会蔵 (出典: 原田伴彦, 西川幸治, 矢守一彦編, 中国・四国の市街古図, 鹿島出版会)
- 8) 改正 松山市全図 (明治44年発行) (出典: 松山市史編集委員会編, 松山市史)
- 9) 松山市史編集委員会編, 松山市史 第二巻 近世, 第三巻 近代