

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

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)

本研究では、都市の文脈を読み取り街路構成の特性を評価する手法として、歩行圏域に着目した街路ネットワークの媒介中心性分析を提案し、ここで用いる歩行者圏域の設定について、PP調査による実際の行動データの分析と、ネットワークの形態分析の2通りの方法により抽出して検討した。結果として、1)個人的な拠点まわりの200m程度の歩行圏域、2)歩行距離100~700mの中距離歩行圏域、3)駅と地区内各点をつなぐ1km程度の移動圏の3つが得られ、これは100mピッチの歩行圏域に対してネットワーク分析を行って得た中心性の分布から得られた結果と概ね一致した。また、ここで得た歩行圏域を用いて渋谷の街路構成の歴史的变化について、昭和20年時点と現在の街路ネットワークの分析を行い比較した結果、自然発生的な街路構成に対して区画整理事業が及ぼした影響や、その後の街路発展過程について把握することができた。

Key Words: network analysis, betweenness centrality, range of walking distance, pedestrian behavior

1. はじめに

年月をかけ、歴史的過程のなかで形成された街路には、その構成に人の生活が集約された結果としての合理性が刻み込まれていると考えられる。短期間、少人数で立案された計画は、そのように蓄積された人知に及ぶことは難しい。そのなかで計画を進めていくには、土地に刻まれた都市の文脈を読み取り、それに学ぶ姿勢と手法が重要だと考える。

本研究では、このための手法の構築を目指す上で、街路のネットワーク特性に着目する。歩行者の行動特性を考慮した適切な指標を用いてネットワークを分析することによって、歩行者行動によって形づくられた都市固有の成り立ちや構成を浮かび上がらせることができるのではないかと考える。分析の基本的な指標として経路の集中する場所の中心性が高いとする媒介中心性を用いた評価手法を本研究では提案する。経路の決定には様々な要因が影響するが、一般性の高い行動原理を取り出すことを考えた場合、経路選択メカニズムとともに、行動の起点と終点の規定に関する行動圏域が重要な要素となる。生活の場面の中に代表的な

行動圏域のパターンが存在し、行動圏域ごとに分析を行うことで、その圏域を特徴づける行動の集合のもつ意味と関係する形で場所の特性を捉えることができる。歩行者の行動圏域は、人の身体能力によってもたらされる一般的な傾向と、他の交通手段の存在や行動目的等によって左右される時代性、地域性などの要因が合わさって、都市ごとの特徴をもつと考えられ、本研究では、これをネットワークの形態分析と、実際の歩行者行動の分析の2つの方法で抽出し、両者の比較を通して指標とする行動圏域の設定について検討する。更に、得られた行動圏域を用いて渋谷の街路ネットワークを分析し、歴史的過程の中での街路構成の変化の把握と、現在の歩行者行動に及ぶ影響についての考察を行う。

2. 分析のフレーム

(1) 既往研究の整理と本研究の位置づけ

歩行者行動の範囲及び経路に関する研究は、選択行動に影響する要因を把握することを目的に、様々な分析手法

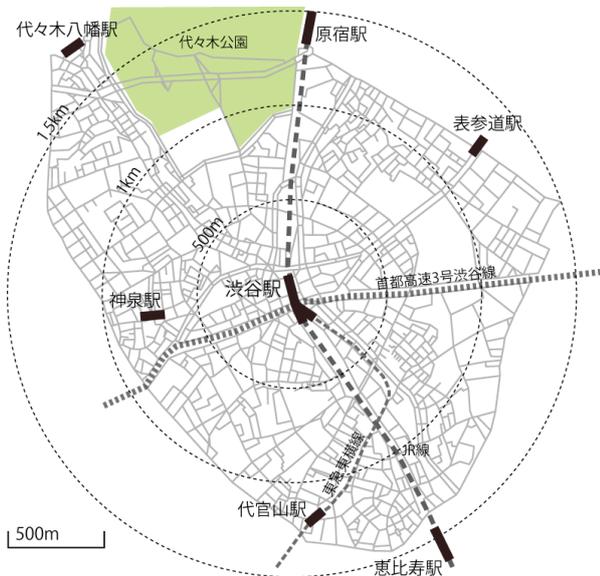


図-1 分析対象地区

により行われてきた。経路選択行動については、要因を特定しさらにそれをを用いて行動を予測する手法として、経路選択モデルを用いることが主流になってきている。竹上・塚口¹⁾は、空間的的定位という概念を導入し、地区固有の条件に拘束されない汎用性の高い経路選択モデルの提案を行っている。買物などの回遊行動については、経路選択行動との関係进行分析したもの²⁾のほか、買物行動の継続を時間に着目して分析した研究³⁾が見られる。

ネットワークの幾何学的形態に着目して都市の分析を行う手法にはスペースシンタクスがあり、都市の歴史の変遷を分析した木川・古山の研究⁴⁾、媒介性指標を用いて交通事故の分析を行った高松らの研究⁵⁾などが挙げられる。この他、李⁶⁾は経路選択モデルと街路網の関係について、格子状街路網に着目して形態的な分析を行っている。

本研究は、歩行者の行動特性を分析し、得られた行動原理を組み込んでネットワーク分析を行う点に特徴がある。また歩行圏域に着目した研究はあまりなされておらず、本研究により生活の中での行動と街路構成との関係を明らかにする道筋を示すことができると考える。

(2) 分析のフレーム

本研究では、歩行者の行動圏域に着目し、ネットワーク分析を用いた行動圏域別のリンク媒介中心性という指標を提案する。指標を構成する行動圏域を、現在の歩行者行動についてプローブパーソン調査（以下PP調査）による行動データの分析から抽出する一方、ネットワーク形態の分析から圏域の閾値を導出し、両者の比較を通して、評価に用いる歩行者行動圏域の設定について検討する。更に、得られた行動圏域を用いて街路ネットワーク分析を行い、歴史的過程における街路ネットワー

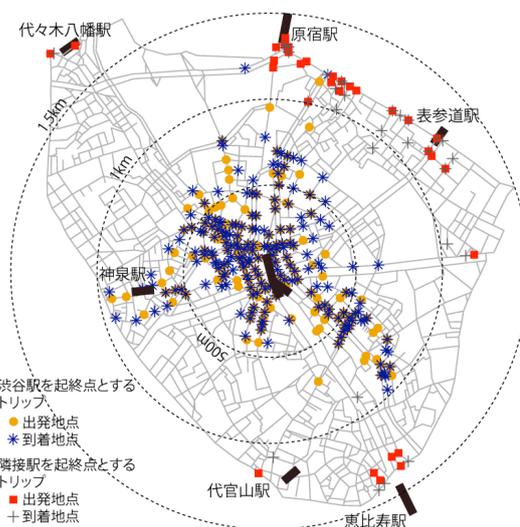


図-2 トリップの出発地点・到着地点の分布

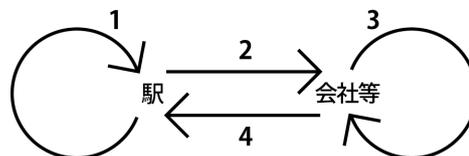


図-3 渋谷地区の行動類型

クの変化と現在の行動特性の関係を考察する。

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）。渋谷駅周辺は、明治以降に駅を中心に急速に発展した歴史的経緯をもち、江戸以来の街道であった旧大山街道（現在の宮益坂から道玄坂）を起点に、地形に沿って市街地が拡大成長したが、戦後昭和 年に都市計画決定し着手された土地区画整理事業によって、駅周辺の街路に計画的な整備の手が加わった。本研究では、この区画整理前の街路形態を自然発生的な発展過程の結果と考え、昭和20年時点の街路ネットワークと計画的整備後である現在のものの比較を行う。現在の街路ネットワークは、Google Earthからノード座標データを手作業で抽出し作成した。街路のPP調査の精度を考慮して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。

3. PP調査を用いた歩行者行動分析

(1) 調査概要

行動データは、2005年11月19日から2ヶ月間実施されたPP調査によって得られたデータを用いる。PP調査と

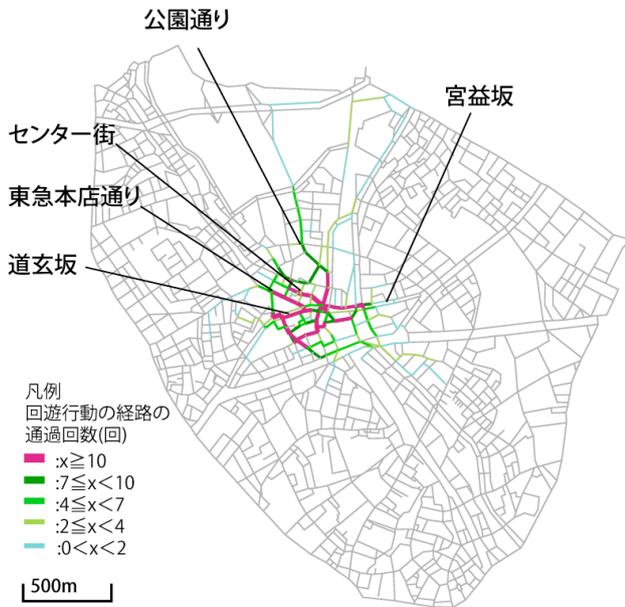


図-4 駅を中心とする回遊行動の経路



図-5 帰宅時の回遊行動の経路と立ち寄り場所



図-6 会社を起終点とする行動の経路と立ち寄り場所

は、GPS携帯電話と連動したWebダイアリーを用いてモニターの移動活動記録と位置を計測する調査であり、同一個人の長期間の移動経路と活動内容が把握できる。被験者は月1回以上渋谷を訪問する予定のある満15歳以上の人を募集し、性別、年齢分布を踏まえて51名に依頼された。取得した位置データから、対象地区のGPSデータを抽出し、ルートマッチングを行った。マッチングできたトリップデータについて、出発地・目的地が行動記録と大きくずれているものと移動速度が著しく大きいものは

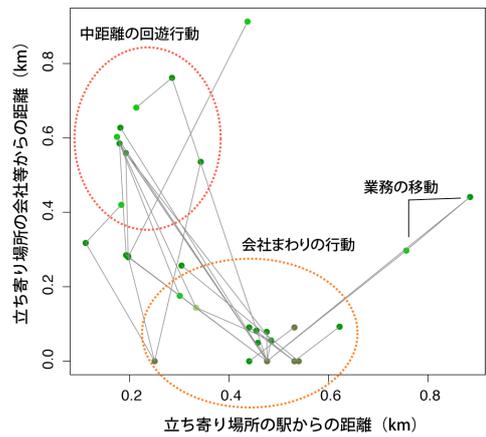


図-7 会社等を起終点とする行動の会社・駅からの距離

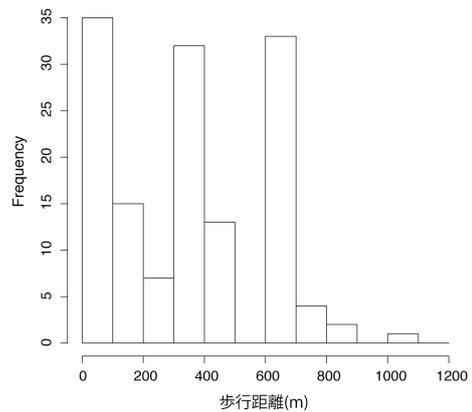


図-8 会社等を起終点とする行動の歩行距離

取り除き、隣接駅周辺で展開されている行動も除いて最終的に690のトリップデータを得た。

(2) 歩行行動の分析

PP調査の行動データについて、行動の集中する範囲や歩行圏域の抽出を目的に分析を行う。まず渋谷駅を基点とする行動の範囲を把握するためにトリップの起点、終点の分布を見ると(図-2)、渋谷駅を基点とする行動は渋谷駅から概ね1kmの範囲であることがわかる。

次に渋谷駅周辺で見られる行動の特性について分析する。渋谷駅周辺で見られる主要な行動のフレームを、出発地点と到着地点に着目して分類すると、1 渋谷駅を出発して渋谷駅に戻る、2 渋谷駅を出発して勤務先・学校等に行く、3 勤務先・学校等を出発して勤務先・学校等に戻る、4 勤務先・学校等を出発して渋谷駅に行く、の4つに分けられる(図-3)。4には単純な帰宅行動と立ち寄り行動を含む帰宅行動が含まれ、行動の仕方が異なるため、前者を4-a、後者を4-bとする。行動データを行動類型に分類し、特性を分析する。

a) 駅を起終点とする回遊行動

対象地区内で歩行者行動が集中している場所を把握するために、行動データのうち会社等への通勤・通学に関係しないもの(類型1)の経路を集計する。会社等が

渋谷にあるモニターが7名おり、モニターの会社位置が結果に影響することを避けるため、これを除いて集計することとした。結果を図-4に示す。

行動が行われている範囲は渋谷駅の北西側に集中しており、駅から放射状に延びる4本の通り（公園通り、センター街、東急本店通り、道玄坂）が主要な動線を担っている。この北西エリアに、宮益坂の上り口付近までの部分を加えたものが、渋谷駅まわりの歩行者行動圏域の核となっていることがわかる。

b) 会社等を拠点とする行動

次に、会社等を拠点とする行動について、対象地区内の会社等に通うモニターの行動に着目して分析する。該当モニターのうち単純な通勤・通学しか行っていない人を除く5名を対象とした。

帰宅時の立ち寄り行動（4-b）は3名について見られ、その経路と立ち寄り場所を図-5に示す。モニターA、Cは、会社等からまず(1)で示した回遊行動の集中するゾーンに移動し、その中で回遊するというパターンを示している。一方モニターBは、会社近くの場所に立ち寄ってからまっすぐ駅に向かう行動をとっている。

次に、会社等を出発して会社等に戻る回遊行動について、経路と立ち寄り場所を図-6に示す。会社近傍の地点の行き先が多いが、モニターBは駅付近にも比較的多く出かけている。立ち寄り場所の駅からの距離と会社等との距離の関係をみると（図-7）、会社近傍の小さな行動と、会社から離れた場所を目的地とする中距離の回遊行動に分けられる。後者は仕事の移動を除けば駅に向かう方向に集中し、目的地の多くは駅周辺の核のゾーンに含まれるが、ゾーンのうち会社側から見て入口部分に限られ、ゾーンの中心を成す北西エリアまでは足を伸ばしていない。この行動は、駅近傍のエリアに行くことを目的にしているというよりは、目的を果たせる場所のうち会社から近い場所を目指したものと考えられる。この行動が駅方面に集中する理由としては、駅近傍ほど実際に便利施設が集中していることと、日常的に利用する経路の方が施設や道順など多くの情報を獲得していることの双方が影響していると予想される。以上の行動の歩行距離を見ると（図-8）、200m以下の短距離、300～400m、600～700mに集中しているが、300～400mは600～700mの移動途中の立ち寄りであることが図-7からわかる。

以上の2つの行動タイプの分析から、会社を拠点とする行動には、1) 日常的に必要なことを行う会社近傍の移動圏と、2) 会社まわりではできない目的を果たすために行う中距離の移動圏、3) 会社等から駅を目指す大きな移動圏があると考えられる。1) は会社等から直線距離100m程度、経路長さ200m程度の範囲内での移動と考えられ、3) には単純な通勤と駅周辺の核のゾーンを利用する回遊行動が含まれる。

4. 街路ネットワーク分析

(1) ネットワーク分析に用いる指標

本研究では、経路を評価することと、行動圏域を考慮することの2点を軸に、ネットワークの媒介中心性を基にした新たな指標を設定する。個々の経路選択の判断には様々な要因が影響するが、ここでは集約的な傾向を把握することが目的であるため、最も基本的な最短経路選択を経路選択メカニズムとして仮定する。実際の都市空間における移動行動では、目的地がはっきり決まっている場合が多く、この場合基本的には経路が既知で、効率的な経路を選択する可能性が高く、最短経路が選択される場合が多いと考えられる。ネットワーク分析の指標は媒介中心性を採用する。媒介中心性は、あるノードがネットワーク内の地点間の最短経路上に位置する程度を示すものであり、式(1)で定義される。

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

g_{jk} はノードjとkの間の最短経路数、 $g_{jk}(i)$ はノードjとkの間の最短経路のうちノードiを通るものの数である。

これに加えて本研究では、歩行者の行動圏域の大きさを指標の構成要素とする。このため、各ノードから一定範囲内の最短距離で到達できるノードを目的地とした場合の最短経路を対象とし、これらが各リンクを通る数をリンクごとに集計したものを指標とする。行動圏域ごとのリンク媒介中心性を、式(2)で定義する。

$$C_{eb}(l) = \sum_{j=1}^m \sum_{k_j \in V_j} \frac{1}{g_{jk_j}} \left(\sum_{r \in G_{jk_j}(l)} \frac{d_{jk_j}(r)}{\bar{d}} \right) \quad (2)$$

n はネットワーク内のノード数、 m はネットワーク内のリンク数、 V_j はノードjから最短距離 l 以内で到達できるノード k_j の集合、 g_{jk} はノードjとkの間の最短経路数、 $G_{jk}(l)$ はノードjとkの間の最短経路のうちリンク l を通る経路の集合、 $d_{jk}(r)$ はノードjとkの間の最短経路のうちリンク l を通る経路 r を構成するリンクの平均長さ、 \bar{d} はネットワーク内の全てのリンクの平均長さを示す。同じ距離を移動する場合でも、その経路を構成するリンク1本あたりの長さが短いほどリンク総数が多くなり、その経路上に位置するリンクの中心性が相対的に高く出ることになり、この影響をできるだけ取り除くために、リンクを通過する数のカウントを、最短経路を構成するリンクの平均長さの全リンク平均長さに対する比に置き換えて計算することとした。なお、式(2)で計算した媒介中心性を合計が1になるように標準化したものを後の分析の指標値として用いる。

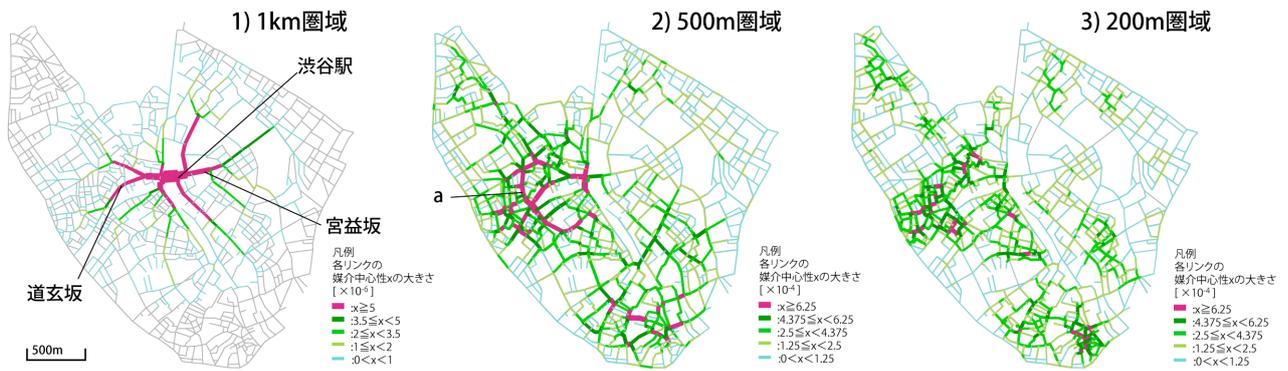


図-9 街路ネットワークの媒介中心性分析結果（昭和20年）

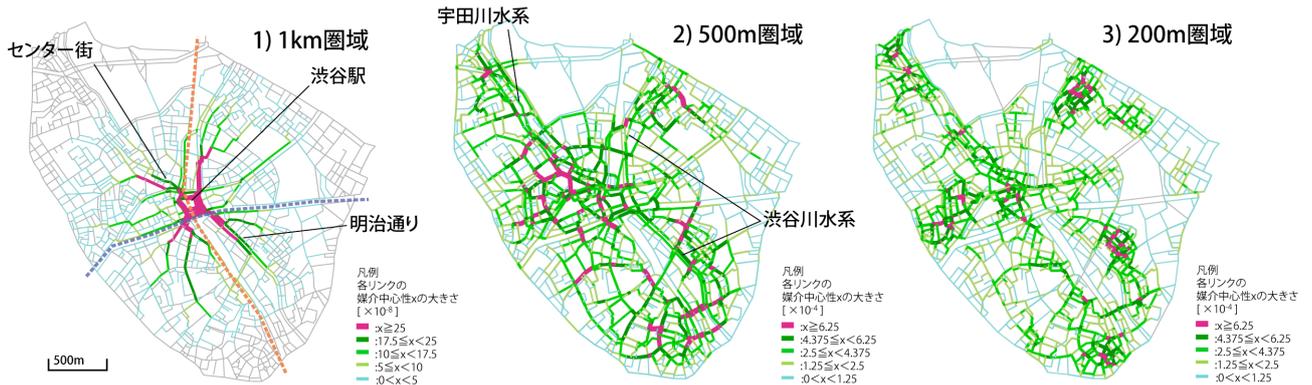


図-10 街路ネットワークの媒介中心性分析結果（現在）

(2) ネットワーク形態から見た歩行圏域の抽出

歩行圏域をネットワーク形態の分析から抽出するため、歩行圏域を100m～1200mまで100mピッチで変化させて媒介中心性の計算を行い、得られた各ノードの中心性の値を基に、歩行圏域のクラスター分析を行った。自然発生的な街路ネットワークにおいて特徴的な歩行圏域を調べるため、街路ネットワークは区画整理前（昭和20年）のものを用いた。クラスター分析にはk-means法を用い、各歩行圏域の媒介中心性の図示結果から概ね3つの分布傾向が予想されたため、クラスター数を3に設定して分析を行った。

分析の結果、歩行圏域は、1) 100m～300m, 2) 400m～700m, 3) 800m～1200mにクラスタリングされた。すなわち、300-400m間, 700-800m間で、中心性分布の傾向が変化することになる。各クラスターの特徴を示す歩行圏域として、以下の分析では、各クラスターの中央値である200m, 500m, 1000mを用いる。

(3) 歩行圏域を用いた街路ネットワーク分析

次に、特徴的な歩行圏域について区画整理前後の街路ネットワークの媒介中心性分析を行い、特性の変化について考察する。分析する歩行圏域は、住宅や会社など個人的な拠点の近傍での行動を想定した200m、買物など中距離の移動を想定した500m、駅に向かう1kmの3パターンとする。また1km圏域については駅を出発点または到着点とする行動が大部分を占めるため、駅と圏域内の各

ノードを結ぶ経路に限定した分析とする。

区画整理前と現在の街路ネットワークについて、それぞれ3つの歩行圏域における中心性分析を行った結果を図-9～図-10に示す。

区画整理前と現在の変化について、1km圏域と500m圏域の分析結果を見ると、六本木通り・玉川通りとなる都市計画道路整備の影響が顕著である。1km圏域の図から、区画整理前の街路構成は、道玄坂と宮益坂が主軸となり、そこから南北方向に枝分かれする街路が二次的な幹線となって、駅と地区内をつなぐ骨格を形成していた様子がわかる。道玄坂と宮益坂から発展した渋谷の成立過程をよく示している。駅の西側は東側に比べて街路が密で、駅の正面を成していたと考えられ、南に湾曲する道玄坂に対して北西に延びる現在の東急本店通りが北側の街路を集め、2本の主軸を成していた。また500m圏域の図を見ると、西側には駅を中心点とする環状の街路が高い中心性を示し（図中a）、地区内の細かい街路を集めて南北をつなぐ役割を果たしている。一方、現在の街路ネットワークでは、1km圏域において道玄坂と宮益坂の中心性が大きく低下し、六本木通り・玉川通りとJR線で分割される4つのエリアのそれぞれで地区内の動線を集める街路が主軸を成す形になっている。北西エリアでは、道玄坂に代わり、区画整理によって整備されたセンター街が中心性を高め、西側を向いていた駅の正面が北西向きに変化している。駅の東側では宮益坂が六本木通りによって南側のエリアと完全に切り離され、代わって

明治通りが東側エリアの第1幹線の役割を担うようになった。500m圏域の図では、区画整理前に見られた駅西側の環状街路は分断され、道玄坂の北側にその名残が見られる。区画整理前に比べて街路が密になり、特に地区の東側で顕著であるが、東側では渋谷川、西側では宇田川による谷に沿って、強い中心性ではないものの、地区を南北につないでいく動線の流れが現れている。区画整理は、玉川通り・六本木通りと、六本木通りと宮益坂上を結ぶ青山通りの一部以外では、基本的に骨格街路は従前の形状が維持されており、地形に沿った街路の発展過程の流れが妨げられずに継続されていたことが予想される。

200m圏域の図で中心性の高い場所は、集落など街路が密に形成されている部分の中で経路の集まる拠点的な場所であると考えられる。2つの年代の図を比較すると、区画整理前に中心性の高かった場所は現在のネットワークでもそのまま継承され、街路が密になって新たに形成された拠点が追加されている。500m圏域と同様に水系に沿った低地で街路が密な中心性の高い部分が連なっている。また駅近傍の北西エリアは区画整理によりセンター街を中心とする格子状の街路が整備され、従前は1本の街路に集中していた動線が面的な広がりをもったことがわかる。

5. まとめ

本研究では、歩行圏域に着目した街路ネットワークの媒介中心性分析を行うため、PP調査による実際の行動データの分析と、ネットワークの形態分析の2通りの方法により歩行圏域を抽出した。その結果、PP調査の行動分析からは、1) 日常的に必要なことを行う会社近傍の歩行距離200m程度の移動圏、2) 会社まわりではできない目的を果たすために行う歩行距離600~700mの中距離移動圏、3) 会社等から駅を目指す大きな移動圏（渋谷駅から半径1km圏内）があることがわかった。一方、区画整理前の街路ネットワークを対象に、歩行圏域を100mピッチで変化させた媒介中心性の計算結果に対してクラスター分析を行い、中心性分布の傾向から歩行圏域が1) 100m~300m、2) 400m~700m、3) 800m~1200mの3グループに分類された。2つの方法による分析結果がほぼ一致する結果となり、分析対象とした渋谷地区においては、街路形態が歩行者のもつ行動圏域のパターンを反映したネットワーク特性をもつこと、また歩行圏域を想定したネットワーク分析結果が、各歩行圏域を特徴づける生活行動パターンとの関係において考察されることが妥当性もち得ることが確認できた。

また、以上の分析から得られた歩行圏域を用いて、

渋谷の区画整理前の昭和20年時点と現在の街路ネットワークの媒介中心性分析を行い、街路構成の変化について考察した。結果として、以下の点が把握された。

- 1) 区画整理で整備された都市計画道路（六本木通り・玉川通り）が地区の南北を分断するとともに主要な骨格街路をシフトさせ、江戸以来渋谷の軸であった宮益坂・道玄坂の相対的地位が低下するとともに、渋谷の商業集積地が北西エリアに集中する素地が築かれた。
- 2) 東西を貫通する都市計画道路以外の骨格街路は区画整理において従前の形状が維持され、地形に沿った渋谷の街路構成は概ね継承された。現在に至るまでに密実化が進んだ街路の多くは、渋谷川と宇田川の2つの水系が築いた低地に沿って連続的に分布する。
- 3) 区画整理によって整備されたセンター街を中心とする北西エリアの格子状街路は、動線に面的な広がりをもたらした。

以上の考察の1)と3)は、3章の(1)で得られた回遊行動の経路の集中する範囲と整合し、北西エリアにおいて回遊動線を担う放射状の複数の骨格街路は、ネットワーク分析結果の図においても中心性の高い場所になっている。本研究で提案した歩行者行動を考慮したネットワーク分析の手法が、都市の特性を把握する上で有効性をもつ可能性を示すことができたと考えられる。

今回行った分析は、会社まわりの行動データのサンプルが少ないため、より多くのデータの分析を行って一般性を高めることが今後の課題である。また行動圏域は都市ごとに特徴をもつ可能性があるため、他都市においても同様の分析を行って傾向を把握したい。

参考文献

- 1) 竹上直也, 塚口博司(2006), 空間的定位に基づいた歩行者の経路選択行動モデルの構築, 土木学会論文集D Vol. 62 No.1, pp. 64-73
- 2) Kemperman, A. D. A. M., Borgers, A. W. J., Timmermans, H. J. P. (2009), Tourist shopping behavior in a historic downtown area, *Tourism Management* 30, pp. 208-218
- 3) Zhu, W., Timmermans, H. (2009), Modeling Pedestrian go-home decisions: A comparison of linear and nonlinear compensatory, and conjunctive non-compensatory specifications, *Journal of Retailing and Consumer Services* 16, pp. 227-231
- 4) 木川剛志, 古山正雄(2004), 都市エンタロピー係数を用いた都市形態解析手法, 日本都市計画学会都市計画論文集 No. 39-3, pp. 823-828
- 5) 高松誠治, 堀口良太, 赤羽弘和(2009), 道路網の位相幾何学的評価尺度を導入した交通事故リスク推計モデルの構築, *交通工学*, Vol. 44, No. 1, pp. 54-62
- 6) 李燕(2005), 歩行者経路選択モデルのための街路網分析, 第31回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM