

バルセロナの歴史的発展過程を考慮した 広場-街路のネットワーク分析

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

(〒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、バルセロナ旧市街の広場と街路を対象にネットワーク分析を行った。歩行者の行動特性を考慮した分析の指標としてコミュニティ指標、媒介中心性、次数中心性を用い、ネットワーク特性から推測される歩行者行動の集積の傾向と自然発生的な都市の歴史的な生成過程を比較分析することで、歩行者中心の都市における街路と広場のシステムの構成原理の抽出を試みた。その結果、発展過程の初期に形成された街路が骨格として高い媒介中心性を示すこと、中世起源の広場も多くが媒介中心性の高い場所に位置すること、また複数の街路を束ねる比較的大きな広場は、結節点の集積となって街路の連結性の高い範囲をつくり出すことが明らかになった。

キーワード： ネットワーク分析, 媒介中心性, コミュニティ指標, 街路, 広場

1. はじめに

現在及び今後行われる都市の更新は、既存の都市を構成するものなかに新しいものをつくる場合がほとんどである。そのような場合、既存の都市の状況を診断し、それとの関係のなかで新しいものを構築していくことが大きな重要性をもつ。しかし現在、都市の文脈や場所がもつポテンシャルを読み込む方法や、都市に改変を加えたときの影響を知る方法は確立されていない。

本研究では、都市の中の場所のポテンシャルを、都市の中の他の構成要素との関係で捉える方法を見出すことを目的として掲げ、その第1歩として都市の街路と広場を取り上げる。広場と街路の関係は、移動する歩行者を媒介として捉えることができ、人の集中しやすい場所は、その場所が活性化するためのポテンシャルが高いといえる。人の行動は、様々な要因に影響されて決定されるが、個人の属性の違いから多種の環境条件に至る複雑な要因の影響度を理論的に導出することは難しく、観測データからモデルを構築することは可能だが、データの収集には時間とコストを要する。本研究では、基本検討段階などで比較的容易に行うことのできる分析手法の構築を見据えた検討を行う。

ネットワーク分析は、対象とするものの構成要素間の関係構造を探りそのものの特性を捉えようとする手法である。街路網の接続関係は、その中を移動する人にとって最も基本的な拘束条件であり、移動行動とは切り離せない確定的な要因である。人の行動特性を表す指標を用いて街路の関

係構造の特性を分析することによって、接続関係の影響の下でのその行動種別の集積の傾向を把握することができる。と考える。

ここでは研究の対象として歩行者行動と街路構成が密接な関係を構築してきたと考えられるバナキュラーな旧市街の街路ネットワークを取り上げる。自然発生的な都市の生成過程とネットワーク特性から推測される歩行者行動の集積の傾向を比較分析することで、歩行者中心の都市における街路と広場のシステムの構成原理を導き出すを試みる。また、都市に加えられた改変によって生じるネットワーク特性の変化から、改変が歩行者行動に及ぼす影響の大きさや範囲、効果などを把握し、都市の活性化に資する街路や広場の配置構成のあり方について考察する。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

街路網をネットワークとして捉えて都市解析を行う手法の主なものとして、スペースシンタックス、経路選択モデル、グラフ理論に基づくネットワーク分析が挙げられる。

スペースシンタックスは、グラフ理論を援用した空間解析理論・手法である。都市空間を線分の集合に置き換え、この線分をノード、隣接関係をリンクとするグラフとし、解析対象のノードから他のすべてのノードまでの距離（経由するリンクの数）を基に評価指標が構築される。この手法の特徴として、解析の対象をトポロジカルな相互関係に

限定していること、ノード相互の近接性を主な指標にしていることが挙げられる。このことから、街路の実際の長さが解析上考慮されないこと、経路選択が評価できないことが課題として指摘されている。

経路選択モデルは、都市空間内での人の行動に着目して都市を分析する手法である。観測データと因果関係のある他の要因との関係性を数式等で表現し、要素間関係の理解や予測値の算出を行う。現実空間での人の行動に即した詳細な検討が可能であるが、モデルの特定化を行うためには実際の行動データの収集が必要であり、作業量やコストを要する手法であることは否めない。

ネットワーク分析は、対象の構成要素間関係構造を分析する手法であり、スペースシンタックスもこの応用例である。解析には主にグラフ理論が用いられ、ネットワーク内のノードの重要性を評価する様々な指標が提案されている。

施設や公園に関する既往の配置計画論は、施設と利用者の距離との関係から配置を決定するものが中心である。しかし、公共施設など利用の必然性の高い施設と異なり、広場は歩行行動の中でその場所が選ばれることが重要であり、立地の評価にあたっては経路選択を考慮することが求められる。都市改変等の基本検討における一次的な情報取得という目的に照らすと、先述の3つの解析手法のうち、比較的容易に経路と街路延長を考慮した検討を行うことができるネットワーク分析が、有効性を発揮できるものと考えられる。

3. 分析のフレーム

(1) 分析の前提

本研究では、都市の街路網を対象にネットワーク分析を行う。街路をネットワークに置き換える上では、街路の実際の長さが歩行の負担の大小に関わり評価が必要であると考え、街路などの線的要素をリンク、これらが交差する点をノードとする方法を取り、媒介中心性では街路の長さを評価に入れた計算を行う。

分析の対象には、中世の都市形態をよく残す欧州旧市街の中で、スペインのバルセロナを取り上げる。自然発生的な街路形態が多く残っていることに加え、市街の中に歴史的過程をもつ広場が散在すること、また計画概念の異なる複数の都市改変の過程を経ておりその影響を比較できることが選定の理由である。街路や広場の歴史的形成過程を、ネットワーク特性の変遷との関係から年代を追って読み解くことを試みる。

(2) 分析に用いる指標

本研究では、街路ネットワークを移動する歩行者行動を考えたときに高い重要性をもつ点を評価したい。広場配置

に関するポテンシャルの評価は、歩行者の経路選択結果が集中する場所と相関があると考え、歩行者の行動特性を考慮して適切なネットワーク指標を選定することを考える。

a) 経路選択の評価

個々の経路選択の判断には、様々な要因が影響する。本研究で歩行者行動の集積の傾向を捉える上では、このうち最も単純で基本的な最短経路選択を行動指標として用いる。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い。このような目的型行動では経路は基本的には既知であり、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。また、目的型行動での選択経路と広場の関係は、他の目的で行動しているときに休憩などで立ち寄る場合が多く想定され、出発地と目的地をつなぐ経路上にある場所が選ばれやすいことになる。そこで、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評価する指標を考える。これは媒介中心性と呼ばれ、式(1)で定義される。

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

g_{jk} はノード j と k の間の最短距離数、 $g_{jk}(i)$ 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。

b) 街路の連結性の評価

街路の生成過程を考えると、相互に関係の強い地点間には街路が形成され、街路が多く築かれている場所は、相対的に結びつきの強いエリアだと捉えることができる。逆に行動から見ると、回遊行動のように目的地を決めずにランダムに移動する場合は、街路の連結性が高い範囲を移動する可能性が高いといえる。街路の連結性の評価指標として、コミュニティ指標と次数中心性を用いる。

コミュニティ指標は、ネットワーク内部で相対的にリンクの密度が高いノードのグループを抽出するものである。ここでは、Newman¹⁾によって提案されたモジュラリティと行列の固有ベクトルを用いてコミュニティを抽出する方法: leading eigenvector 法を用いる。モジュラリティは、コミュニティ内の連結の強さを表す指標である。モジュラリティをコミュニティ内の実際のリンク数から、各ノードの次数が同じネットワークでリンクをランダムに置いたときのリンクの期待値を引いたものとして式(2)で定義する。

$$Q = \frac{1}{4m} \mathbf{s}^T \mathbf{B} \mathbf{s} = \frac{1}{4m} \sum_{i=1}^n (\mathbf{u}_i^T \cdot \mathbf{s})^2 \beta_i \quad (2)$$

m はネットワーク内のリンクの数、 \mathbf{s} はノード i がコミュニティに属しているとき $s_i=1$ 、属していないとき $s_i=0$ をとる列行列、 \mathbf{B} は式(3)で定義されるモジュラリティ行列である。

$$B_{ij} = A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \quad (3)$$

A_{ij} は隣接行列の成分、 k_i と k_j はノードの次数である。 \mathbf{B} を

固有ベクトル \mathbf{u}_i と固有値 β_i で書き下すと、 Q 値を最大にするようなノードのコミュニティは、コミュニティ内部のリンク数が最大となりコミュニティをつなぐリンク数が最小になるような形で切り取られる。このような分割作業の繰り返し計算を行うことで、ネットワーク内の複数のコミュニティの抽出が可能となる。

また、結節点となるノードを評価する指標として、次数中心性を用いる。多くのリンクをもつノードほど、結節点として多くの人の経路上に位置する可能性が高いという状況が生じている。次数中心性は次式(4)で表される。

$$C_d(i) = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (4)$$

n はノード数、 a_{ij} は隣接行列の成分を示す。

4. バルセロナの街路と広場のネットワークの変遷

(1) ネットワークの概要

バルセロナ旧市街は4つの地区で構成されるが、本研究では、そのうち中世の自然発生的な街路構成をもつゴシック地区（中央部）、カスク・アンティック地区（東部）、ラバル地区（西部）の3地区を対象に分析を行う。3地区のネットワークの概要を表-1に示す。

表-1 バルセロナ旧市街の街路ネットワークの概要

	面積 (km ²)	ノード数	リンク数	ノード数 / 面積	リンク数 / 面積
旧市街全体 ₁	2.87	917	3,404	320	1,186
ゴシック	0.83	297	1,036	360	1,248
カスク・アンティック ₂	0.95	336	1,214	352	1,278
ラバル	1.09	284	1,056	261	969

*1 バルセロナネータ地区を除く。 *2 シウタデリヤ公園を除く。

(2) バルセロナ旧市街の街路及び広場の歴史的形成過程

バルセロナ旧市街の街路及び広場の歴史的形成過程を以下に整理する（図-1）。

1) 古代ローマ都市（1～3世紀頃）

都市の起源は古代ローマ都市に遡り、中央部に直交街路や東西・南北の大通りの名残が認められる。3世紀には市街を取り囲む市壁がつくられ、後の中世都市の中心となる。

2) 第1市壁の時代（10～12世紀頃）

中世の都市の成長・拡大過程は、(1)市壁内の密実化と市壁外の新居住地の成長、(2)市壁の拡大、というパターンを示す。中世最初の都市核はローマ時代の市壁内であり、市壁内への出入りは数箇所の市門で管理されていた。10世紀頃には、市門を起点に放射状に延びる道路上に衛星的な

居住地が成長した。これらは市壁内と道路でつながりつつ、独立した不連続な範囲で、教会などの核を中心に発達した。

3) 第2市壁の時代（13～14世紀頃）

市壁内の人口の増大と郊外居住地の成長に伴い、衛星状の居住地を包含する形で市壁が拡大される。市壁で囲まれた範囲は、人口増に伴い街路の密実化が進んだ。人の流れが集中し、対外的な接点でもあった門の前には広場が成立した。また、村落の核となった教会には、少なくとも14～15世紀には広場も整備され、地区の中心として機能した。中世の広場は、街路と空間的に明確な区別がなく連続的にその一部が広がった形をとり、小広場がこの時期の広場の大部分を占める。

4) 第3市壁の時代（14世紀後半～15世紀）

14～15世紀にかけて、第3市壁がラバル地区を取り込む形で建設された。この拡張は、人口の充満ではなく宗教施設の市壁外への移転の進行に起因する。ラバル地区の市街地は、14世紀にはゴシック地区から延びる2本の幹線の間にはほぼ限定され、15世紀には他の主要街路の沿道部分にも拡大するが、依然として大部分は農地が占めていた。地区内に中心的な場所が形成されないまま、18世紀の工業化で爆発的に高密度化する過程をたどった。

5) 19世紀から20世紀前半の都市改変

19世紀前半、工業の発展により高密度化、衛生状態の劣悪化などの問題が増大し、1820年頃からいくつかの大きな都市改変が行われた。収用された修道院の土地に、市場や広場、大学などの公共施設が整備され、市街の東西方向をつなぐ貫通道路も、建物を撤去してつくられた。1854年には市壁の取り壊しが決定される。南北方向を貫通するライエタナ通りの整備は1908年から実行に移された。

6) 1980年代からの保全的再生戦略

新市街の整備に伴う旧市街の相対的な地位低下等によって進展した居住環境の劣悪化の問題を改善し、旧市街に新しい役割を与えるために、多孔質化による再生プランが実行された。街路の骨格は基本的には保全しつつ、老朽化した建物を部分的に撤去して公共空間がつくられている。

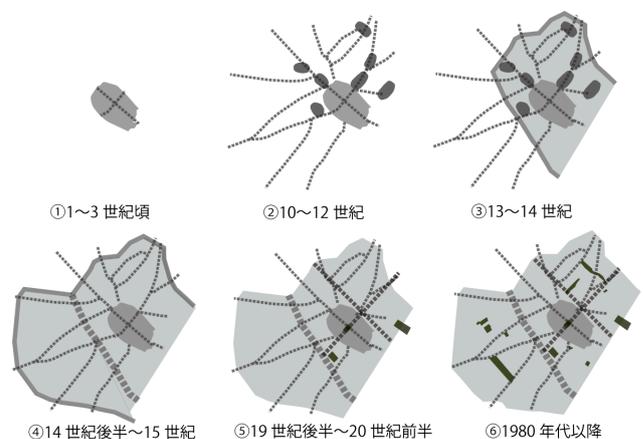
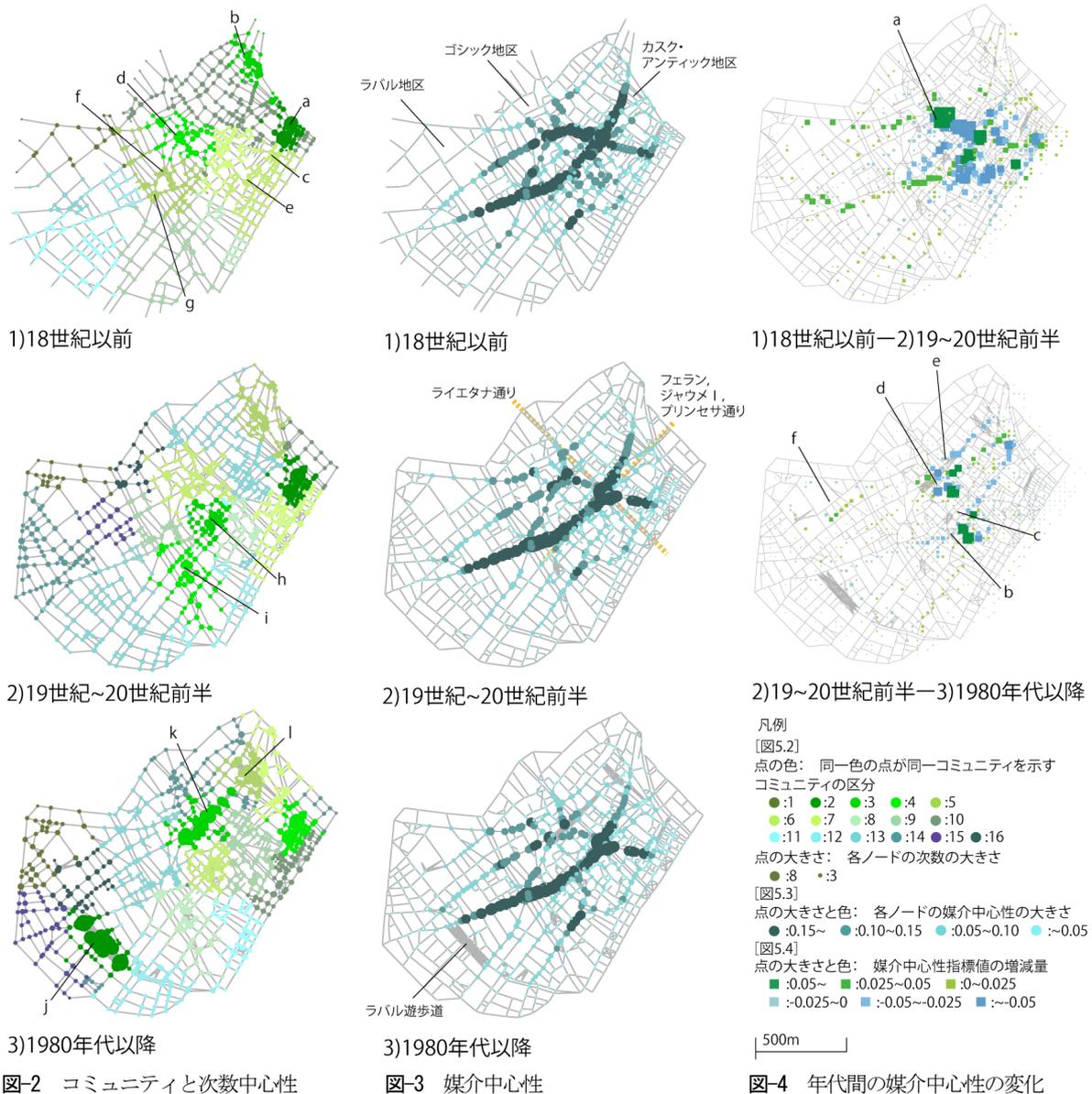


図-1 バルセロナ旧市街の歴史的形成過程



(3) 街路ネットワーク特性の変遷

次に、バルセロナ旧市街の街路についてネットワーク分析を行い、前項で述べた歴史的形成過程を踏まえてその特性を考察する。街路網の形成過程を1)中世以降自然発生的に発展した都市の状態、2)19世紀及び20世紀前半の計画的な街路整備実施以後の状態、3)多孔質化による公共施設整備実施以後の状態の3段階に分けて比較する。

a) コミュニティと次数中心性

各年代の街路ネットワークの次数とコミュニティの計算結果を図-2に示す。1)の時代を見ると、次数中心性の高いノードが集まった場所が図中a~gの地点に見られる。これらの場所は中世都市形成初期の郊外居住地の核や市壁の門などに該当し、これらを中心にネットワークのコミュニティが抽出されている。一方ラバル地区は、中心性の高い場所をもたない茫漠とした状態であり、長らく市壁内の郊外という立場に置かれたラバル地区の歴史的経緯の反映と見ることができる。2)及び3)では、新設された大規模な広場

の部分に次数の高い点が集出し、新しいコミュニティの核となって周辺のコミュニティの分布を変化させている(図中h~l)。特にラバル遊歩道(図中j)が顕著である。他の部分の構成が変わらない中に広場の創出で凝集性の高い部分が追加されたことは、地区の街路ネットワークの連結性を高める方向に働いていると考えられる。

b) 媒介中心性

各年代の街路ネットワークの媒介中心性を計算した結果を図-3に示す。市街の中心部を成す旧市壁の市門から放射状に延びる街路を骨格とする都市構成が、非常に明瞭に指標値に現れており、中心と周縁を結ぶ主要な街路とそれに接続する細街路の階層構造を見て取ることができる。主要街路の強い中心性は2)及び3)の改変でもほとんど影響を受けず、現在の都市に引き継がれている。

1)~3)の変化を示した図-4を見ると、1)~2)間では、東西方向の新設街路及びそれに連続するラバル地区の骨格街路の中心性が高まる一方、ゴシック地区の中央部では新設

街路周辺の街路の中心性が新設街路に吸収される形で低下している。また、図中 a の付近には、ライエタナ通りの新設とそれに伴う周辺街路の線形の変更によって最短経路が移動した様子が強く現れている。2)~3)間では、ラバル遊歩道付近には変化がほとんど見られない。全般的にも指標値は微小な増減である。その中で図中 b~f は広場の新設が最短経路の移動を引き起こした例である。

c) 個別地区の分析 (ラバル地区)

ラバル地区での変化をもう少し詳細に分析するため、地区内の移動を対象に指標値を算出した (図-5)。2)~3)間では、旧市街全体に着目したときには見られなかった指標値の変化が、地区内の南北方向の動線の変化として現れてくる。歴史的過程から南北方向の動線が弱く、ラバル遊歩道ができる前は図中 a, b の主軸街路間の動線は各細街路が主従なく全体的に動線を負担していたが、ラバル遊歩道が縦方向の動線を集約し、これが遊歩道南北のノードの指標値の大幅な増と、東西辺及び周辺ノードの指標値の大幅な減となって現れている。

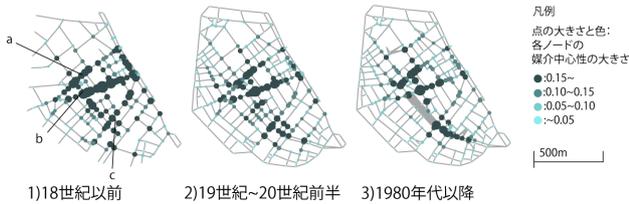


図-5 ラバル地区の媒介中心性

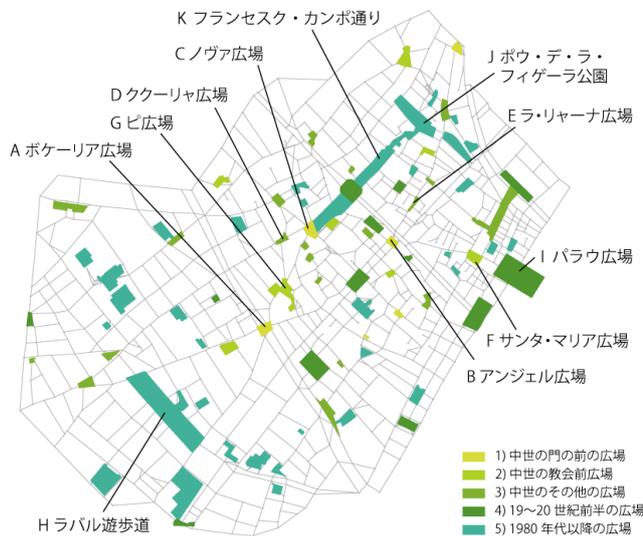


図-6 バルセロナ旧市街の広場の類型

(4) 広場の類型とネットワーク特性との関係

旧市街の広場を文献²⁾³⁾等を基に 1)市門の前の広場, 2)教会前広場, 3)その他現時点では用途が特定できない中世の広場, 4)19世紀半ばに整備された広場, 5)1980年代以降の多孔質化による広場に分類し (図-6), 分類別の特徴を中世の広場 1)~3) と 19世紀以降の広場 4)・5)の違いに着

目して分析する (図-7, 図-8)。4)・5)では規模が大きいものも比較的多いのにに対し、中世につくられた広場は一つを除き 2500 m²以下である。媒介中心性については、2ヶ所の1)の広場の数値の高さが際立つほか、全体的に中世起源の広場が上位のランクに多く、都市成長初期の都市核に該当する広場がこれらの大部分を占める。媒介中心性の分布を見ると (図-9)、媒介中心性の高い広場の多くは都市成長初期の新興居住地の核である教会前広場や市門前の広場であることがわかる。

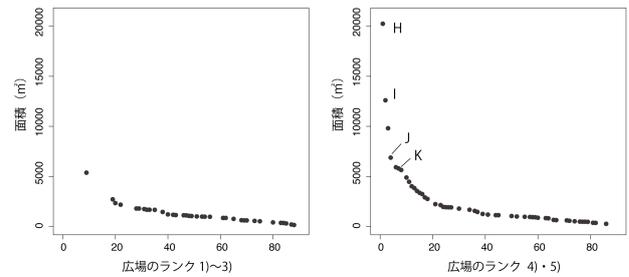


図-7 広場面積のランク

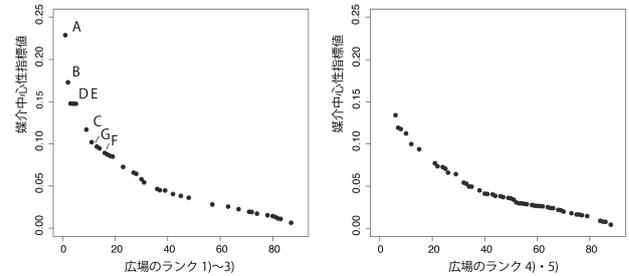


図-8 媒介中心性のランク



図-9 広場の媒介中心性の分布

(5) 広場の現地調査からの考察

バルセロナのラバル地区とカスク・アンティック地区の主要な広場について、現地でビデオ撮影により歩行者数の観察調査を行った。調査対象は両地区内の16の広場とし、広場内部と広場と街路が接続する箇所について、撮影地点1ヶ所あたり30秒~1分ずつビデオ撮影を行った。集計結果を図-10に示す。広場の形態は、行き止まり型の広場は66番のみであり、他はすべて通り抜け型の広場である。実際の広場の通行量と滞留人数を見ると、広場内の通行人数と滞留人数がほぼ同等という広場が多い。その中で、MACBA

前の広場（図中 a）は通行人数に対して滞留人数が著しく多いという特徴を示す。

この歩行者量と媒介中心性との関係を図-11 に示す。右下方のグループには概ね正の相関が見られる。一方で左上のグループが、媒介中心性の低さに対して歩行者量が非常に多くなっている。これらはいずれも地区の周縁近くに位置し、指標値が低めに出る傾向があるが、いずれも旧市街で最も賑わっている広場の一つであり、居心地やロコミニなど立地だけでは計れない要素の影響も予想される。

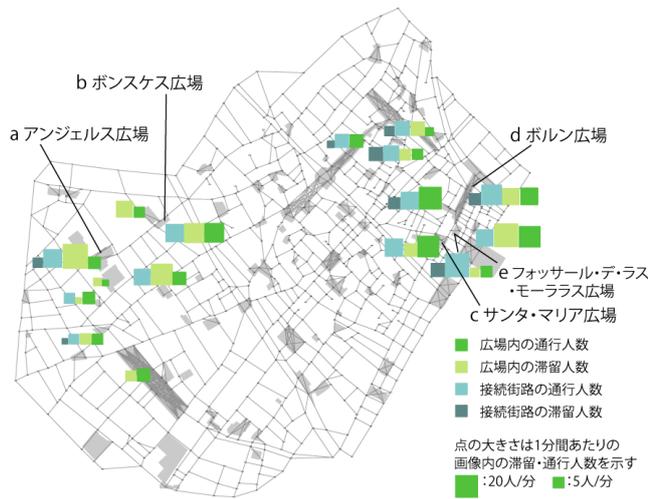


図-10 広場の通行人数と滞留人数

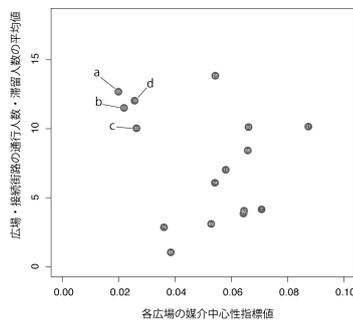


図-11 滞留・通過人数と媒介中心性



図-12 広場の状況

5. 結論

本研究では、街路及び広場の配置・接続関係に着目し、歩行者主体の都市におけるその特性や構成原理を探ることを目指して、バルセロナ旧市街を対象にネットワーク指標を用いた分析を行った。この結果、バルセロナ旧市街の街路-広場システムに関する以下の構成原理が抽出された。

- ・都市形成初期に成立した骨格街路が、地区内の任意の地点をつなぐ最短経路の集積と一致する。
- ・骨格街路上に、内外の結節点や地区の拠点として機能した媒介中心性の高い広場が位置する。
- ・複数の街路を束ねる形の広場は次数の高い点の集積となり、街路網の連結性の高い範囲（ネットワークのコミュニ

ティ）をつくり出す。

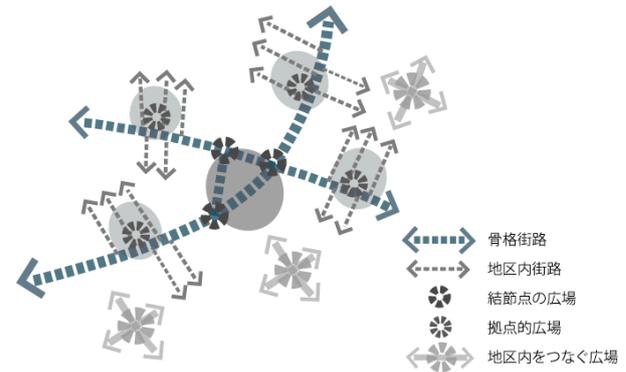


図-12 バルセロナの街路-広場構成の概念図

バルセロナ旧市街のような自然発生的な都市では、外縁部に向かって中心部と直結する骨格街路が伸び、その街路を起点にした二次的な街路の成長によって都市が密実化する。骨格街路の起点には結節点の機能をもつ広場が成立する。二次的な発展の中核となる広場は、高い媒介性をもつ場所に位置し、地区を中心地と連結する拠点として機能する。これらの広場は同時に地区の核として地区内の連結性を高める機能ももつ。複数の街路を束ねる形でつくられる比較的規模の大きい広場は、地区内の連結性を高める機能をもつが、地区間にまたがるような移動には直接的な関わりをもたない。

以上、バルセロナ旧市街の歴史的な広場や街路について、そのネットワークがもつ階層構造や中心性の高い場所の分布特性などを明らかにし、自然発生的な都市における街路-広場の構成原理を捉える手がかりを得た。また、発展初期に形成された都市骨格の媒介中心性は強固に維持され、骨格街路の構成に大きく関わらない範囲での改変は地区内の流動性の向上にのみ寄与すること、媒介中心性に関連する通行量のポテンシャルを利用するならば、既存の都市のもつ中心性の流れと関係するように広場や街路の配置構成を検討する必要があることがわかった。

ネットワークから導き出される街路や広場の特性は、都市の中の場所の特性やポテンシャルを把握する上で基本的な部分を表現するものとなり得る。今後の課題として、この分析では明らかにできない要因に関する解析手法を組み合わせることで、都市についてのより詳細な現状把握に取り組みたい。

参考文献

- 1) Newman, M. E. J. (2006) Finding community structure in networks using the eigenvectors of matrices, arXiv: physics/0605087v3, 23 Jul 2006
- 2) Busquets, J. (2005) BARCELONA the urban evolution of a compact city, Nicolodi
- 3) 阿部大輔 (2009) バルセロナ旧市街の再生戦略, 学芸出版社