■ 研究論文

GIS を用いた都市の道路連結性の分析手法の提案と京都市を対象としたケーススタディ

Proposal of a Method for Analyzing the Road Connectivity of a City and A Case Study in Kyoto City

山口 純* 武田 史朗*

Jun YAMAGUCHI Shiro TAKEDA

Abstract : Walkability of the city, which is now one of the central issues on urban planning, is considerably effected by the road connectivity. There are a lot of measures that can be used to determine road connectivity, and each of them has its advantages and disadvantages. In this paper, we propose a new index of road connectivity, travelable road magnification ratio, which is defined as the magnification ratio of the total length of travelable roads within a certain distance from a measure point, to this distance. The relation between travelable road magnification ratio and the travel distance can be displayed on a graph, which illustrates the characteristics of the road connectivity around the measure point, such as openness and closeness. As a case study, we applied this method to the analysis of the road connectivity of Kyoto city.

Keywords : road connectivity, walkability, walk environment, GIS

キーワード : 道路連結性, ウォーカビリティ, 歩行環境, GIS

1. 序

(1) 研究の背景と目的

今日の日本の抱える人口減少と高齢化という問題へのアプローチとして、人々の「健康寿命」を延ばすことが鍵となるが、そのために日常的な身体運動としての歩行がもたらす貢献の可能性は大きい¹⁾。また都市の持続可能性という観点から、都市の諸機能を中心部にまとめる「コンパクトシティ」の考え方が注目されているが、そこでは移動手段として歩行が重視される²⁾。こうした背景の中で、都市の「歩きやすさ」すなわち「ウォーカビリティ (walkability)」を向上させることへの、社会的関心が高まっている³⁾。そのため今後の都市計画において、ウォーカビリティは重要な考慮事項となるはずである⁴⁾。

ウォーカビリティを評価する質問紙として世界的に広く活用されている Abbreviated Neighborhood Environment Walkability Scale (ANEWS, 簡易版近隣歩行環境質問紙, 居住者へのアンケートによって地域のウォーカビリティを評価するもの) において、「世帯密度」「土地利用の多様性」「サービスへのアクセス」「道路の連結性」「歩道自転車道」「景観」「交通安全」「治安」が環境要因として取り上げられており、この質問紙の日本における妥当性は井上らによって実証されている^{5), 6)}。また村山らは ANEWS を参考とした居住者へのアンケートの結果と GIS によって算出される客観的指標の関係を調査した結果、「居住地から一定距離内の「歩道総延長」や「道路総延長」, 「四差路の数」, 「公園数」や、生活関連施設に対する最短距離を調べるのが有効である」と結論しているが、このうち歩道総延長, 道路総延長, 四差路の数は道路連結性の指標として用いられている⁷⁾。

以上から道路連結性がウォーカビリティに影響を与える環境要因となることを前提とした上で、本研究は客観的データから GIS を用いて算出できる道路連結性の新しい指標を提案する。道路連結性の指標として既往研究において用いられてきたのは「道路密度」や「交差点の密度」などであった^{5) ~ 7)}。しかし既往研究に

おける道路連結性の指標は概括的なものに過ぎない。たとえば、交差点の密度が高くても袋小路が多ければ道路連結性が高いとは言えないはずである。また村山らは徒歩で日常的に歩く範囲 (徒歩圏) を 500m と仮定しているが⁷⁾, 500m の歩行を想定したウォーカビリティと 1000m の歩行を想定したウォーカビリティは異なるはずである。そこで本論ではより詳細に、また多面的に道路連結性を分析するための手法を提案することを目的とする⁸⁾。このために、ある歩行距離で通行できる道路の総延長がその歩行距離の何倍あるかによって道路連結性を指標化する。道路連結性を、基準となる歩行距離 (基準移動距離) に依存するものとして分析することが、この指標の特徴となっている。またこの指標を用いることで、道路ネットワークが閉鎖的であったり開放的であったりする度合いを評価することができる。

ケーススタディとして、京都市においてこの手法を適用した道路連結性の評価を行った。対象として京都市を選択した理由として、1) 行政が「歩くまち・京都」を謳い「歩いて楽しいまち」の実現を目指していること³⁾, 2) 都市構造についての既往研究の蓄積があること¹⁴⁾, 3) 基盤の目状の規則的な道路ネットワークを有する中心部と、基盤の目からは外れた道路ネットワークを持つ周縁部といったように、多様な道路ネットワークを持つことがある。

(2) 道路連結性の指標

ANEWS の質問紙では道路連結性に関して次の複数の質問が用意されている。「近所の通りには、行き止まりは少ない。」「近所では、交差点から交差点までの間隔は短い (100 メートル以下程度)。」「近所では、目的地に行くのにいろいろな経路がある (いつも同じ経路を使う必要はない)。」また客観的な道路連結性の指標についても唯一の確定的なものは存在せず、都市計画やそれ以外の実践や研究のなかで、多様な観点から多くの指標が提案され用いられてきた。すなわち、道路密度 (street density), 交差点密度 (intersection density), 街区長さ (block length), 街区サ

*立命館大学

イズ (block size), 街区密度 (block density), 連結ノード率 (connected road ratio), リンク・ノード比 (link-node ratio), 歩行者ルート直接性 (pedestrian route directness), 有効歩行範囲 (effective walking area), ガンマ・インデックス (gamma index) とアルファ・インデックス (alpha index), ネットワークバッファ・円バッファ面積比, スペースシンタックス理論におけるインテグレーション値などである。

それぞれについて簡単な説明をする。道路密度は単位面積当たりの道路長さの総計, 交差点密度は単位面積当たりの交差点の数であり, 多いほど道路連結性が高くなると考えられている。街区の長さ, サイズ, 密度については, 街区がより小さく区分されている方が, あるいはそのために単位面積あたりの街区の数が多い方が, 多くの交差点があることになり, したがって多くのルートがありえることになるという考えに基づいている。連結ノード率は, 交差点の数を (交差点の数+袋小路の数) で除した値である。袋小路が少ないほど連結性が高くなると考えるものである。リンク・ノード比は対象地域におけるリンクの数をノードの数で除したものである。ここでノードとは交差点あるいは袋小路の終結点であり, リンクとは二つのノードを結びつける道路のセグメントである。したがってこの指標もまた袋小路の少なさに注目しているのである。歩行者ルート直接性は, 二点間のルートの距離をその二点の直線距離で除したものであり, どれだけ遠回りする必要があるかを示している。ただしこの指標は二点の選択の仕方に依存している。有効歩行範囲は一定の歩行距離 (1/4 マイル) で到達できる土地区画の数を, その歩行距離を半径とした円に含まれる土地区画の数で除したものである。ガンマ・インデックスは地理学において提唱されたものであり, ネットワークにおけるリンクの数を, そのネットワークのノードの間に存在するリンクの最大値で除した値である。アルファ・インデックスは一つのノードを始点と終点とする周回路の数の最大値に対する可能なものの数の比である。以上の指標については Dill の論文がまとめている⁹⁾。

ネットワークバッファ・円バッファ面積比は井上らが提案した指標であり, 考え方としては有効歩行範囲に似ているが, 土地区画の数ではなく面積を用いている⁵⁾。つまりそれは, 一定の歩行距離で到達できる領域 (ネットワークバッファ) をポリゴン (多角形) で表し, このポリゴンの面積を同じ歩行距離を半径とした円の面積で除したものである。

スペースシンタックス理論はグラフ理論を用いて空間相互のつながり方を研究するものであり Hillier らによって提唱されている¹⁰⁾。規定された手法で道路ネットワークを「アクシャル・マップ (axial map)」と呼ばれる線分の集合に置換し, この線分のそれぞれをノードとしたグラフを作成する。このグラフにおける各ノードの位相距離をもとに, 繋がり方の程度を示す指標としてのインテグレーション値が定義される。この指標は距離を考慮しない位相幾何学的なものである。溝上らは, 特定の範囲の道路ネットワークのノードから他の全ノードへの最短距離の平均値としてアクセシビリティ値を定義した上で, 熊本中心部をケースとしてインテグレーション値と比較している。そして両者によるアクセシビリティの評価が必ずしも一致しないことを示している⁴⁾。

以上のように道路の連結性については, 多種多様な指標が提唱されている。これらを分類するとすれば, 規定された移動における, A) 到達可能な領域の大きさ, B) 到達可能な領域の多様さ, C) 道路の効率性, D) 移動の効率性という4つの観点が抽出される。

(A) 到達可能な領域の大きさ

到達可能な領域の大きさは, 通過可能な道路の長さとして線的にとらえるか (A1, 到達可能な範囲の面積でとらえるか (A2))

という主に二通りの方法で把握されるだろう。道路密度, 交差点密度, 街区長さ, 街区サイズ, 街区密度は, 通過可能な道路の長さを直接的に表すものではなく, また到達可能な領域の多様さにも関わるが, いずれにせよすべて通過可能な道路の長さに大きな影響を与える指標であり (A1) に含まれる。一方で, ネットワークバッファ・円バッファ面積比は, 到達可能な領域の大きさを面積的にとらえるものであるから (A2) に含まれる。

(B) 到達可能な領域の多様さ

有効歩行範囲のように到達可能な領域に含まれる土地区画などのエリアの数を考慮するもの (B1) のほかに, 選択可能なルートのバリエーションにかかわる位相幾何学的指標 (B2) を含む。後者として, アルファおよびガンマ・インデックス, そしてインテグレーション値がある。アクセシビリティ値はこれに加え (B1) の道路の長さも考慮したものとしてとらえられる。

(C) 道路の効率性

連結性に貢献しない道路の少なさ, 実質的には袋小路の少なさを考慮するものである。これは連結ノード率とリンク・ノード比を含む。

(D) 移動の効率性

より短い距離で二点間を移動できることを評価するものであり, 歩行者ルート直接性やアクセシビリティ値を含む。ただし (A2) は実質的にこの移動の効率性を考慮することになるだろう。多くの地点により効率的に到達できるほど, 到達可能な範囲が多くなるからである。

道路連結性にかかわる以上の観点のうち, 本論は特に (A1) の通過可能な道路の長さに注目する。一定距離の移動で通過可能な道路の長さは, 歩いて行ける範囲の大きさの指標として読者にとって直感的に理解できるものであると考える。しかしこの観点における指標として先述した諸指標は概括的なものに過ぎない。というのも実際の通過可能な道路の長さは道路ネットワークの位相幾何学に依存しているが, (A1) における既往の指標はそれを考慮していないからである (たとえば道路密度や交差点密度は, 互いに連結されていない離散的な道路や交差点が密集している場合でも高くなることが原理上ありうる)。そこで本研究は, 実際に一定距離 (基準移動距離と呼ぶ) の移動で通過できる道路の総延長 (通過可能道路総延長) に基づく道路の連結性の指標を提案する。この指標は道路連結性を基準移動距離の関数として理解するものであることに特徴がある。

2. 指標の定義

(1) 道路連結性

道路上の計測点 i の道路連結性 C を「通過可能道路倍率」を表す以下の式 (1) で定義する。

$$C_i(S) = \frac{T_i(S)}{S} \dots\dots\dots (1)$$

$T_i(S)$: 通過可能道路総延長 (m)

S : 基準移動距離 (m)

$T_i(S)$ は計測点 i からの基準移動距離 S の移動によって通過可能な道路 (通過可能道路) の総延長距離であり, ArcGIS の到達圏解析を用いて算出することができる¹²⁾。図-1 に例として京都市の四条大宮交差点を計測点とした通過可能道路を示す。

基準移動距離とは道路連結性の評価のベースとなる移動距離である。ここでは, 通過可能道路総延長を基準移動距離で除した「通過可能道路倍率」によって道路連結性を定義している。

図－1 基準移動距離 600m の通過可能道路

これはつまり、ある距離で通過することの可能な道路の長さが、その距離の何倍かによって連結性をとらえるのである。

簡単な道路ネットワークを例に考えてみる。図－2の1)では、計測点*i*がそれを基点として枝分かれせずに距離*S*以上続く道路上にある。この場合、*S*の値に関わらず $T_i(S)=S$ となるため $C_i=1$ である。道路連結性 *C* とは、そのような袋小路の終着点と比較して何倍歩いて行ける範囲が多いのか表しているものとおおよそ述べる事ができる。図－2の2)で計測点は距離 2*S* 以上続く道路の midpoint にあり $C_i=2$ となり、3)で計測点はグリッド状の道路の交差点にあり $C_i=4$ となることが見て取れる。

図－2 道路連結性 *C* の例

(2) 通過可能道路率

道路連結性は計測点から基準移動距離内の道路密度と相関があると考えられる。そこで道路連結性と道路密度の関係を定式化する指標として通過可能道路率を定義する（先ほど定義した通過可能道路倍率とは区別される）。

まず、計測点*i*を中心とし基準移動距離*S*を半径とした円形範囲の道路総延長を基準移動距離内道路総延長 $T_i(S)$ と呼ぶ。移動における道路密度 $D_i(S)$ を用いて式 (2) で表される。

$$T_i(S) = \pi S^2 D_i(S) \quad \dots\dots\dots (2)$$

基準移動距離内道路総延長 $T_i(S)$ を用いて通過可能道路率 $R_i(S)$ を式 (3) で定義する。

$$R_i(S) = \frac{T_i(S)}{T_i(S)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

通過可能道路率 $R(S)$ は計測点からの基準移動距離内の道路の総延長に占めるその基準移動距離で到達することのできる道路の長さの割合であり、1以下の値となる。この指標は歩行者ルート直接性のように基準点を起点とした移動の効率性を表現していると捉えることができる。通過可能道路率が1となるのは、基準移動距離内の道路上の点の全てに直線距離で到達できるもっとも効率の良い状態であり、これは基準移動距離内の道路の全てが計測点から放射状に配置されている場合である。

道路連結性は計測点から基準移動距離内の道路密度と相関があると考えられるが、この相関が一定であれば、通過可能道路率の値も一定になる。

正方形グリッドの場合、通過可能道路は、一辺が $\sqrt{2}S$ の正方形の範囲に限定されるため、 $R(S)$ は基準移動距離がグリッドの一辺に対して十分に大きければ、 $2/\pi$ となり約 0.637 で一定となる。

図－3 通過可能道路と基準移動距離内道路

(3) 道路連結性増加率

道路連結性は基準移動距離に依存している。例えば、他の計測点と比較したときに、小さな移動距離で通過できる範囲は多くても、大きな移動距離で通過できる範囲は少ないといったことがある（もちろん逆もありうる）。この基準移動距離への依存のあり方は、基準移動距離*S*を変化させたときの道路連結性 $C_i(S)$ の変化をグラフにプロットし、それを結ぶ曲線を描くことで可視化される。このグラフの曲線を道路連結性曲線と呼ぶことにする（図－4の緑色の線）。道路連結性曲線は、計測点の周囲の道路ネットワークの形状と基準移動距離の範囲に依存して、おおむね直線として、あるいは上に凸や下に凸の曲線として近似することができる。

道路連結性曲線を切片0の一次関数 $C_i(S)=aS$ によって近似するとき（図－4の青色の線）、係数 *a* の値は*S*を増加させたときに $C_i(S)$ がどれだけ増加するかを表している。そこで係数 *a* を道路連結性増加率と呼ぶことにする。

面積あたりの道路延長（道路密度）が一定で平面に均一に広がる連続的な道路ネットワークにおいて、基準移動距離によって到達可能な領域の面積が基準移動距離の二乗に比例する。したがって道路連結性曲線は直線になる。このような道路ネットワークの例として一様な正方形グリッド状の道路ネットワークがある。一辺が *l* の正方形グリッドの道路ネットワークの交差点に置かれた計測点における *a* の値を考える。この場合、基準移動距離*S*における通過可能道路は、一辺が $\sqrt{2}S$ の正方形の範囲に限定されるため、通過可能道路総延長はこの正方形に含まれた道路総延長に等しい。この正方形の面積は $2S^2$ であり、この道路ネットワークの道路密度 *D* は $D=2/l$ なので、*S* が *l* に対して十分に大きければ通過可能道路総延長はこの正方形の面積と道路密度の積で表され、

$$T(S)=2S^2 \cdot D=2S^2 \cdot 2/l=4S^2/l \quad \dots\dots\dots (4)$$

従って、

$$C_i(S)=4S/l \quad \dots\dots\dots (5)$$

よってこの道路ネットワークにおいて $a=4/l$ であることが分かる。

図-4 道路連結性曲線

逆にいえば、道路連結性増加率が a の道路ネットワーク上の計測点は、 $l=4/a$ の正方形グリッド状の道路ネットワーク上の計測点に近い道路連結性を持つということである。

(4) 道路ネットワークの開閉度

道路ネットワークが均一に広がっている場合、道路連結性が基準移動距離に概ね比例し道路連結性曲線は直線状になる。近隣に多くの通過可能な道路があるものの、比較的外部に通過可能な道路が少なかったり、外部との連結性が低かったりする場合に、グラフは上に凸となる。たとえば周囲にたいして比較的閉ざされた新興住宅地のような場所ではこの傾向が見られることがある。一方で近隣に通過可能な道路が少ないものの、比較的外部に通過可能な道路が多い場合にグラフは下に凸となる。たとえば都市近郊の農地などでこの傾向が見られることがある。

そこで道路連結性曲線の形状が下に凸となる場合、道路ネットワークが「開いている」と呼び、上に凸となる場合「閉じている」と呼ぶことにする。道路連結性曲線を二次関数 $b_0 + b_1S + b_2S^2$ によって近似するとき（図-4のオレンジ色の線）、 $b_2 > 0$ なら近似曲線は下に凸であり、 $b_2 < 0$ なら上に凸である。したがって近似曲線 b_2 を道路ネットワークの「開閉度」と呼び、その値が0より小さければ道路ネットワークが閉じており、0より大きければ開いていると呼ぶことにする。

3. ケーススタディ

(1) 対象地域

分析の対象とするのは京都市の市街化区域である。京都市の市街化区域に重なる100mのメッシュごとに、その中央に計測点を設定した（ただし通過可能道路総延長の算出は、基準点からもっとも近い道路上の点を起点とした基準移動距離によっている）。

ただし市街化区域内であっても、50m以内に道路が無い場合は除外した。また今回の分析では京都府の道路データのみを用いているが、山科区の一部は基準移動距離の最大値とした1キロ以内に道路ネットワークデータの外部となる滋賀県の道路を含むために除外した。こうして、合計14570カ所の計測点を設定したデータとして国土地理院が発行する「数値地図2500（空間データ基盤）近畿_1」に収められた車道の「道路中心線」データを基に道路ネットワークデータセットを構築して利用した。

(2) 道路連結性の分析結果

全ての計測点に関して、日常生活における歩行距離を考慮して、基準移動距離を100m, 200m, 300m, 400m, 500m, 600m, 700m, 800m, 900m, 1000mとして道路連結性を計測した¹³⁾。図-6に $S=200, 400, 600, 800m$ における分析結果を示す。

京都市市街化区域における道路連結性の全体的な傾向を見ると、比較的連結性が中程度となる中心部の周りに連結性の高い地域がC字型に広がっていることがわかる。この傾向は基準移動距離400m以上においてあまり変化がない。

このC字型エリアに含まれる道路連結性が高い地域の例としては、左京区の元田中から一乗寺にかけての、京都大学吉田キャン

図-5 分析対象とする京都市市街化区域

パスの北のエリア、大徳寺の周囲、西陣の千本通と西大路通りの間のエリア、京都駅南部の東寺周辺のエリア、などがある。これらのエリアには細い街路が多い住宅の密集地である。そのため道路連結性が高くなっていると考えられる。

御所周辺や「田の字地区」（河原町通、烏丸通、堀川通、御池通、四条通、五条通の幹線道路沿道）周辺そして二条城を含む都心部において道路連結性が比較的低いことが注目される¹⁴⁾。

(3) 道路密度と道路連結性の比較

道路連結性の分布の傾向は、主に道路密度に依存する部分が多いと考えられるため、道路密度との比較を行った。道路密度の分布を図-7に示す。道路連結性の分布と同様の傾向が見られることが分かる。すなわち、道路密度の分布もまたC字型を取っている。

道路連結性と道路密度の比較は、通過可能道路率によってなされる。通過可能道路率の計算に用いる基準移動距離内道路は道路密度から算出されている。そのため、通過可能道路率の分布が一定であるということは、道路連結性と道路密度の分布が相関していることを意味する。通過可能道路率の分布を図-8に示す¹⁵⁾。

対象地域において、通過可能道路率の分布にはある程度バラツキが見られる。通過可能道路率が高い場所は全体的に見ると中心部に見られる。通過可能道路率が低い場所は河川や山沿いなどに見られる。特に鴨川下流の桂川との合流地点以北において、通過可能道路率が低くなっている。これは河川や山沿いにおいては、道路が存在して道路密度がある程度ある場合でも、道路が互いに良く接続されておらず道路連結性が低い傾向があるためであると考えられる。また山沿いであっても極めて通過可能道路率が高い地域も見られる。たとえば八瀬や高雄などの山間部である。この場合、道路が谷沿いを走りそれ以外の道は少ないために、移動距離内の道路のほとんどが通過可能道路となっている。

図-6 基準移動距離 S=200, 400, 600, 800m における道路連結性の分布

図ー 7 基準移動距離 S=200, 400, 600, 800m における道路密度の分布 (km/km²)

図－8 基準移動距離 S=200, 400, 600, 800m における通過可能道路率の分布

このように道路ネットワークが途切れがちで、道路連結性が低い地域において、道路密度は実際の道路連結性に比べて大きかったり小さかったりするものであり、こうした場合において提案した道路連結性の指標は道路密度より正確に実際の道路連結性の分布を示していると言えることができるだろう。逆に言えば道路連結性が一様に高い地域においては、道路密度によって十分に道路連結性の分布を表現することができることになるだろう。

(4) 道路連結性増加率

$Ci(S)$ のグラフを一次曲線で近似した際の一次の係数によって道路連結性増加率を定義した。近似式の係数は、表計算ソフト Excel を用いた最小二乗法によって導いた。近似式の r^2 値は、全ての計測点での平均値で 0.986 だった。道路連結性増加率の分布を図-9 にしめす。大まかに基準移動距離 400m 以上での道路連結性の分布と類似した分布となっていることが分かる。

道路連結性増加率が a の道路ネットワーク上の計測点は、 $l=4/a$ の正方形グリッド状の道路ネットワーク上の計測点に近い道路連結性を持つ。京都市の場合でいうと、今回の分析の全計測点の a の平均値は 0.0346 となり、一辺が 116 メートルの正方形グリッドの道路ネットワークに近い道路連結性であるということが分かる。

(5) 道路ネットワークの開閉度

$Ci(S)$ のグラフを二次曲線で近似した際の二次の係数によって道路ネットワークの開閉度を定義した。この開閉度の分布を図-10 に示す。近似式の r^2 値は、全ての計測点での平均値で 0.998 だった。値が小さいほど道路ネットワークは閉じており、逆に大きいほど開いている。道路ネットワークの閉じたエリアは周囲から比較的閉ざされて道路ネットワークが伸びているのであり、その意味でまとまりをもった地域である。道路ネットワークが開いたエリアは、閉じたエリアから見れば境界のようなものとして見なすことができる。京都の場合では、河川や寺社、大学キャンパスなどが、そのような境界となって地域を分割している（ただしこの結果は、寺社や大学キャンパス内を通る歩道について数値地図 2500 にデータが無い場合のため考慮していないことによる部分があるだろう）。開閉度が低いエリアを見てみると、白川の浄土寺、桂坂、京都駅南部の東寺駅周辺などがある。

(6) 道路連結性曲線についての分析

以上の分析を踏まえて、いくつかの典型的あるいは特徴的な連結性を示していると考えられる計測点に関して、その道路連結性曲線を見る。対象として、C 字型の連結性の高いエリアからは、叡電茶山駅、阪急西院駅、近鉄東寺駅を選んだ。またこのエリアの内側にある連結性が中程度のエリアとして、鴨川デルタ、四条烏丸、京都駅北口を選んだ。さらに C 字型エリアの外からは、桂川西大橋、京都大学桂キャンパス、叡電八瀬駅を選んだ（図-11）。それぞれの計測点の道路連結性曲線を図-12 に、道路連結性増加率と開閉度を表-1 に示す。それぞれについて、今回の分析の対象とした 14570 カ所の計測点のすべての平均値も示している。

連結性が高い計測点からみると、基準移動距離 300m までは東寺駅が最も連結性が高いが 500m 以上では西院駅より低くなる。このため開閉度としては西院駅より東寺駅が低くなる。これは、東寺駅の 200m 程度までの近隣は道路が高い密度で張り巡らされているが、その外で京都駅や線路などによって道路ネットワークが切断されているためであろう。連結性が高いこれらの計測点では相対的に開閉度が低くなっている。

連結性が中程度の計測点を見ると道路連結性曲線はおおむね直線状となり開閉度は 0 前後となる。四条烏丸と鴨川デルタが似た傾向を示し 200m までの基準移動距離では連結性が低いだが 400m 以上で大きくなる。計測点から少し離れた領域に道路密度が高いエリアがあることによる結果であろう。京都駅北口は四条烏丸や

図-9 道路連結性増加率の分布 (1/m)

図-10 道路ネットワークの開閉度の分布 (1/m²)

鴨川デルタに比べて全体的に連結性が低かった。これは線路によって南部と分断されていることが大きいだろう（この点についても、先ほどの寺社や大学キャンパスと同様に駅舎内の歩道を考慮していないことが結果に影響しているだろう）。またC字型エリアの外の桂川西大橋も京都駅北口とそれほど変わらない連結性を示した。

連結性が低い計測点として叡電八瀬駅と京都大学桂キャンパスがある。八瀬は谷沿いであり、京都大学桂キャンパスは山の中腹にある。このため両者とも道路がほとんど2方向にしか広がっていないため道路連結性が低くなっている。

（7）道路連結性増加率と開閉度の関係

検討した地点においては道路連結性増加率が高い地域ほど開閉度が低い傾向が見られた。そのため全ての計測点を対象として道路連結性増加率と開閉度の相関を散布図によって描いた（図-13）。緑色の線で近似曲線を描いている。相関関数 $r=-0.229$ ($P<0.0001$) であった。相関の程度は弱いだが、道路連結性増加率が高い地域ほど開閉度が低い傾向がみられる。

個別の計測点を見ると、近鉄東寺駅が近似曲線から大きく離れていることが分かる。道路連結性増加率が非常に高い計測点において、東寺駅を含め開閉度が大きくマイナスとなる点があるが、開閉度が大きくプラスとなる点がないことが注目される。

図-11 道路連結性曲線の分析対象計測点

表-1 選択した計測点における道路連結性増加率と開閉度

	道路連結性増加率 (1/m)	開閉度 (1/m ²)
阪急西院駅	0.063439864	-1.80115E-05
叡電茶山駅	0.056670164	-0.720779E-05
近鉄東寺駅	0.052713364	-3.43368E-05
四條烏丸	0.037582632	1.44649E-05
鴨川デルタ	0.037342193	1.13388E-05
京都駅北口	0.031663955	0.231041E-05
桂川西大橋	0.027092431	-0.0188662E-05
京都大学桂キャンパス	0.008903578	0.635504E-05
叡電八瀬駅	0.006421284	-0.175073E-05
全計測点平均	0.034631207	0.187856E-05

図-12 選択した計測点における道路連結性曲線

図-13 道路連結性増加率と開閉度の関係

（8）通過可能道路率についての分析

通過可能道路率は、計測点を中心とし基準移動距離を半径とした円形範囲内の道路の総延長のうちの、計測点から基準移動距離の移動で通過できる道路の総延長の割合であった。したがってこれは基準移動距離に依存する指標である。選択した計測点について基準移動距離を変化させたときの通過可能道路率の変化をグラフに描いた（図-14）。

基準移動距離 400m 以内では通過可能道路率は大きく変動するが、500m 以上では安定した傾向を示している。また平均値の推移を見ると、100m から 200m では下降するがそれ以降は徐々に上昇する傾向がみられた。これは基準移動距離が街区サイズより小さいときに通過可能道路率は高くなるためであると考えられる。基準移動距離 500m 以上で桂キャンパスにおける通過可能道路率の低さが目立つが、これは 500m 程離れて広がる住宅地において

図-14 選択した計測点における通過可能道路率

道路が高密度で張り巡らされており、この住宅地の道路ネットワークが歩行者ルート直接性の低いものであることと思われる。

4. 結論と課題

(1) 結論

「歩きやすい街」を実現することが、都市計画における重要なトピックとなる。歩きやすさの一要因として、道路連結性があるとされている。道路連結性を計測する観点として、(1) 到達可能な領域の大きさ、(2) 到達可能な領域の多様さ、(3) 道路の効率性、(4) 移動の効率性という4つがある。本研究では特に到達可能な領域の大きさを、通過可能な道路の長さとしてとらえた。通過可能な道路の長さにかかわる指標としては、これまでは道路密度など概括的なものが用いられていた。

そこで本研究では、実際に一定距離の移動によって通過可能な道路の距離を計測することで道路連結性を分析することを考えた。本論における道路連結性の指標 C は、基準移動距離の移動によって通過できる道路の総延長の、基準移動距離に対する倍率として定義される。この指標を軸として、通過可能道路率 R 、道路連結性増加率 a 、道路ネットワークの開閉度 b_2 という別の指標を定義した。

これらの指標を用いた道路連結性の分析を、京都市をケースとして行った。道路連結性 C の分布には、道路密度の分布との類似が見られた。提案した通過可能道路率 R は、実質的にこの二つの指標の関係を示すものである。道路連結性の分布をみると、たしかに全体的には道路密度と道路連結性が良く相関しているが、道路ネットワークが断絶することの多い山沿いや河川においては相関しない傾向があることが見て取れた。このように道路ネットワークが途切れがちな、道路連結性が低い地域において、提案した道路連結性の指標 C は道路密度より正確に実際の道路連結性の分布を示していると言えることができるだろう。

本論が道路連結性の指標として提案した C は基準移動距離の開数である。したがってそれは道路連結性を単に一次的な量の大小で見のではなく、二次元的にとらえるのである。この関数を表す道路連結性曲線についての近似式に基づいて道路連結性増加率 a と道路ネットワークの開閉度 b_2 を定義した。

道路連結性増加率は道路連結性曲線についての直線による近似における直線の傾きとして定義される。これによって道路連結性を一次的にとらえることができる。道路連結性増加率の分布は基準移動距離 400m 以上においては道路連結性と類似の分布を示した。

道路ネットワークの開閉度は道路連結性曲線についての二次関数による近似における二次の係数として定義される。これによって「道路ネットワークが閉じている / 開いている」という違いを見ることができた。この指標を使って道路ネットワークによって結びつけられたエリアの分割を可視化することができた。

本論で提案した緒指標の特徴は以下の三点である。

- 1) 道路密度や道路交差点密度より詳細に道路連結性を評価できること。
- 2) 道路連結性を基準移動距離に応じたものとして計測できること。
- 3) 道路ネットワークの開閉度を区別できること。

それぞれの特徴のもたらす具体的な意義としては以下がある。

1) 道路ネットワークの変更による道路連結性の変化を評価するときに用いることができる。たとえば道路を新設したり、障害物を取り払って連続させたりするときに、それによって周辺の道路連結性がどの程度変わるのかを評価する場合である。道路密度や交差点密度といった観点からは同等の計画案であっても道路連結性においては異なるということがありえ、そのような場合に今回提案した指標は役に立つだろう。

2) 以上の評価を基準移動距離に依存するものとして扱うことによって多面的に捉えることができる。都市のウォーカビリティを捉えるにあたって想定される歩行距離は、歩行者の年齢や目的に応じて異なったものとなるはずである。本論の指標は、一つの基準移動距離のみを採用するのではなく複数の基準移動距離をまとめて扱うことを可能にしている。

3) ANEWS では、ウォーカビリティに影響を与える環境要因として「サービスへのアクセス」が挙げられている。本論で提案した開閉度は施設の配置を検討するために用いることができるだろう。たとえば、遠距離からアクセスする場合が少ないが近距離からアクセスすることは多いと想定される施設や、その逆の施設があると考えられるが、開閉度の指標を用いてそういった施設の種類の応じた道路ネットワークの連結性を把握することが可能になるだろう。

(2) 課題

今回は全ての道路を同等に扱い、また施設や公園などに含まれる歩道を考慮していなかった。道路の種類の違いや、歩道の考慮が今後の課題となる。先述のように、道路連結性には多くの観点があり、本研究はその一つの観点からの分析を与えただけに過ぎない。さらに、ウォーカビリティという課題についても道路連結性はその一つの観点に過ぎず、他の多くの観点がウォーカビリティを左右している。今回提案した指標群について、今後それらのほかの観点との関係を考慮していきたい。

補注及び引用文献

- 1) 厚生労働省 (2014) : 健康長寿社会の実現に向けて～健康・予防元年～
- 2) 『『できるだけ徒歩や自転車と利用できるように範囲に、日常施設があることが好ましい』。これが、コンパクトシティやアーバンビレッジの基本的な考え方の一つとなっている。』海道清信 (2001) : コンパクトシティ持続可能な社会の都市像を求めて、学芸出版社、p.204
- 3) 「都市の walkability (ウォーカビリティ; 歩きやすさ) への関心は高く、年齢・性別・運動経験を問わず、日常生活の中に誰でも容易に取り入れることの出来る歩行に適した環境は、身体活動を促進し肥満の解消・予防に繋がるという仮説の下、多くの研究が行われている。」山田育穂

- (2011)：健康的な住環境を目指して：米国の肥満研究を題材に（子どもの安全と健康，公開シンポジウム II，発表要旨）日本教育学会大会研究発表要項 70，pp.368-369
- 4) たとえばアメリカの都市計画家ア Speck はウォークビリティの重要性を指摘している。Speck, J. (2013): *Walkable City: How Downtown Can Save America, One Step at a Time*, North Point また本研究の対象とする京都市では、「歩くことを中心としたまちと暮らしに力強く転換していくことが不可欠」との認識から「歩くまち・京都」の政策を打ち出している（ただしウォークビリティの概念を採用してはならず，また公共交通機関の整備に焦点が当てられている）。京都市（2010）：「歩くまち・京都」総合交通戦略
 - 5) 井上茂，下光輝一，永富良一，小田切優子（2007）：日常生活の歩数に影響を与える環境要因に関する研究，平成 17 年度～平成 18 年度科学研究費補助金（基盤研究（C））研究成果報告書
 - 6) Cerin, E., Saelens, B. E., Sallis, J. F., Frank, L. D. (2006), Neighborhoods Environment Walkability Scale: Validity and development of a short form, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38, pp.1682-91
 - 7) 村山祐司・浅井崇俊（2008）：健康づくりを支援する環境とその整備状況の評価手法に関する研究，厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業）総合研究報告書，pp.77-102
 - 8) 本論は山口らの以下の研究を発展させたものである。道路連結性の指標の略称を RCI ではなく C としている。山口純，安田優，武田史朗（2015）：ネットワークバッファを用いた道路連結性の評価手法の提案—草津市野路地区を対象としたケーススタディ，日本建築学会近畿支部研究報告集，第 55 号，計画系，pp.581-584
 - 9) Dill, J. (2003): Measuring network connectivity for bicycling and walking, Joint Congress of ACSP-AESOP, Leuven, Belgium
 - 10) Hillier, Bill (2015): *Space is the Machine*, Createspace Independent Publishing Platform
 - 11) 溝上章志・高松誠治・吉住弥華・星野裕司（2012）：中心市街地の空間構成と歩行者回遊行動の分析フレームワーク，土木学会論文集 D3（土木計画学），土木計画学研究・論文集第 29 巻，363-374
 - 12) 具体的には，ArcGIS の Network Analyst を用いた到達圏解析において「施設」のロケーションとして計測点を追加し，「インピーダンス」を「長さ」，「デフォルトブレイク値」を「基準移動距離」として「true line」を生成するように設定した上で解析を実行する。これによって生成されるラインを施設ごとにディゾルブすることによって得られるラインの長さがその計測点における通過可能道路総延長となる。
 - 13) 徒歩圏として「概ね 800m 程度」（海道清信 2001）や，「概ね 1 km 圏」（国土交通政策研究所 2011）が採用されている。そこで本研究では基準移動距離 1km までを分析対象とした。海道清信（2001）：コンパクトシティ—持続可能な社会の都市像を求めて，学芸出版社，p.204，国土交通政策研究所（2011）：交通バリアフリーの地域社会に及ぼす効果に関する調査研究，国土交通政策研究，第 95 号，p.16
 - 14) 京都の「田の字地区」については以下の論文を参照のこと。魚谷繁礼，丹羽哲矢，渡辺菊真，布野修司（2005）：京都都心部の街区類型とその特性に関する考察，日本建築学会計画系論文集 第 598 号，pp.123-128
 - 15) 今回の通過可能道路率の分析において，S=100m において通過可能道路率が原理上は不可能な 1 より大きい値をとることがあった。これは通過可能道路総延長の算出においてはメッシュ中点の計測点から 50 メートル以内で最も近い道路を起点としているが，基準移動距離内道路の計測点はメッシュ中点としているため，誤差が生じたものと考えられる。通過可能道路率が 1 より大きくなった計測点は道路ネットワークの端部に集中していることが確認できた。これは，そのような場所ほど計測の起点の違いの影響を受けやすいからであると考えられる。

（2015.8.30 受付，2016.9.6 受理）