

セル・オートマトンを用いた歩行空間の連続性評価 に関する研究

熊沢, 翔太郎
九州大学大学院人間環境学府都市共生デザイン専攻 : 修士課程

趙, 世晨
九州大学大学院人間環境学府都市・建築部門

<https://doi.org/10.15017/1456078>

出版情報 : 都市・建築学研究. 24, pp.15-20, 2013-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン :
権利関係 :

セル・オートマトンを用いた歩行空間の連続性評価に関する研究

Study on The Evaluation of Continuity in Walking Space with Cellular Automaton

熊沢翔太郎*, 趙 世晨**

Shotaro KUMAZAWA* and Shichen ZHAO**

In recent years, movement toward the pedestrian revolution to the central part in the center of city came to be seen in various cities. So, the importance of walking space is being improved. The comfortable walk space with migratory is realizable by the continuous walking space. The purpose of this research is to propose the index by which the continuity of walk space is evaluated quantitatively, and to evaluate the continuity of the walk space of an actual city.

Keywords : Cellular Automaton, Continuity, WalkingSpace

セル・オートマトン 連続性 歩行空間

1. はじめに

1.1 研究の背景

20世紀中頃から急速に進展したモータリゼーションは我が国の生活に多大な変化をもたらした。道路網は歩行者経路から、自動車経路へと再編された。その結果都心の快適な歩行空間は徐々に失われてきた。しかし近年様々な都市で、都心中心部への歩行者回帰の動きが散見されるようになり、都心に人を集め、賑わいを創出する方法として、快適な歩行空間の重要性が見直されつつある。移動の速さや効率性が重視される道路ネットワークとは異なり、歩行空間ネットワークでは「途切れのない、つながりのよいネットワーク」であることが重要であり、回遊性が高く、快適な歩行空間の形成は、“連続した歩行空間”によって実現可能であると考えられる。また、「歩行空間の連続性」を明らかにすることで、今後の政策づくりに役立つことが期待できる。

1.2 既往研究

道路空間や歩行空間のネットワークに関する研究はこれまで数多くなされてきたが、その多くが道路空間をグラフとして近似し、道路の接続関係の評価、分析

したものである。大別すると、ネットワークに関する研究と、歩行空間に関する研究に分けられる。

ネットワークに関する研究は、代表的な手法として、「スペースランク」¹⁾「ノード間平均距離」²⁾を用いたものが挙げられる。いずれもグラフ理論を適用し、つまり道路ネットワークをノードとリンクで表現し、ネットワーク内の各地点の中心性、近接性、ポテンシャルなどを評価している。歩行空間に関する研究は、歩道の幅員や総延長などによって歩行空間の回遊性や快適性を評価している。「スペースシンタックス」などを用いたもの³⁾がこれにあたる。

1.3 研究の位置づけと目的

上で述べた「スペースランク」「ノード間平均距離」などの指標は、ある地点がネットワーク全体の中でどのような位置・重要性を持つかというネットワーク内のポテンシャルを評価するものである。しかし、連続性の観点から考えると、ポテンシャル指標はネットワーク全体に対する相対的な値であるため、対象地点周辺に変化がなくてもネットワークの大きさが変化することにより対象地点の値も大きく変化する。連続性を評価する上で相対的な値を用いることは適当ではなく、より局所的な連続性を考慮した指標を用いる必要があるが、このような評価指標を用いた既往研究は見当たらない。

また、既往研究の多くは歩行空間ネットワークをノー

* 都市共生デザイン専攻修士課程

** 都市・建築学部門

ド(点)とリンク(線)で表している。歩行空間をノード(点)とリンク(線)で表すと歩行空間の面積が考慮されず、幅が細い歩道も幅の広い歩道も同一に扱ってしまう。このことは連続性を評価する上で適当ではなく、都市空間を平面として捉え歩行空間の面積を考慮する必要がある。

以上のことを考慮して、本研究では歩行空間の面積を考慮にいれ、対象地点周辺を評価する局所性を考慮した指標を提案し、2値画像を用いた画像解析を行うことで、歩行空間そのものの「マイクロな連続性」を評価し、各都市間の歩行空間の連続性評価の比較及び、同都市内における歩行空間の連続性の評価を行うことを目的とする。

2. CAの定義と性質について

2.1 CAについて

本研究では、歩行空間の連続性を定量的に評価するための手法としてセルオートマトン法:cellular automaton(以下CA)に着目する。CAとは、格子状のセルと単純な規則による計算モデルであり、近傍するセル間の相互作用により時間ステップの変遷によるパターンの変化を見るための手法である。

CAは状態、近傍、遷移ルール of 3つの基本特性からなる。

(1)状態:状態とはセルの特性を表すものであり、都市でいう土地の用途である。

(2)近傍:近傍とは、対象セルの状態に影響を与えるセルのことである。一般に対象セルと隣接する8セルを扱うムーア近傍(図2-1)と、対象セルとその上下左右のセルを扱うノイマン近傍(図2-2)がある。

(3)遷移ルール:遷移ルールとは近傍セルの遷移ルールと状態によって対象セルがどのように変化するかを定義した一連のルールのことである。

CAはこれら3つの特性をそれぞれの研究にふさわしいように定義し、生き物の成長、生態、遺伝、反応、拡散現象、災害、交通、森林などの分野に適用されている。都市計画の分野に関しては、土地利用、人口分布などの分野で適用されている。しかし歩行空間に適用した既往研究は見られない。

2-2. P値の算出

本研究ではCAの手法を応用し、セルごとの連結性の分析を行うことで歩行空間の連続性を定量的に評価する。本研究ではCAの3つの基本特性を以下のように定める。

(1)状態:初期値として用いるセルの状態は、“歩行空間”

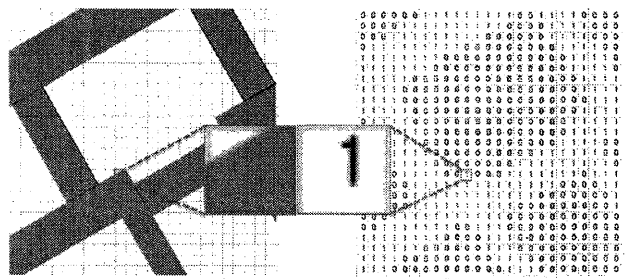


図2-3 セルの読み取り方“歩行空間”の場合

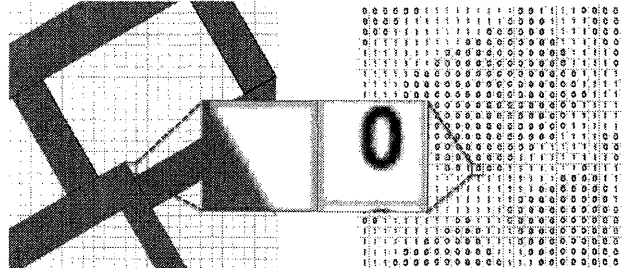


図2-4 セルの読み取り方“歩行空間以外”の場合

と“歩行空間以外”の2種類とする。地図にメッシュを被せ、セルの中の歩行空間の割合が50%以上の場合そのセルを歩行空間とみなす。セルの状態が“歩行空間”の場合そのセルの値を1(図2-3)、“歩行空間以外”の場合そのセルの値を0(図2-4)と設定する。

(2)近傍ルール:本研究では、対象セルとそれと隣接する8セルを扱うムーア近傍を用いる。

(3)遷移ルール:

①初期値 {STEP_t(以下t)=0の時)}

(x,y)が歩行空間の場合P_{xy}(0)=1,(x,y)が歩行空間以外の場合P_{xy}(0)=0とする。

すなわち、初期値は歩行空間セルを1,歩行空間以外を0と設定する。

②適用規制 (t≥1の時)

(a) P_{xy}(t-1)>0の場合

t=nの時のP値はt=n-1時点の隣接する8セルと自身の値の合計値となる。(式1)

$$P_{xy}(t) = \sum_{i=x-1}^{x+1} \sum_{j=y-1}^{y+1} P_{ij}(t-1) \quad \dots(\text{式1})$$

(b) P_{xy}(t-1)=0の場合

歩行空間以外のセルはtに関係なくP値は0である。

(式2)

$$P_{xy}(t) = 0 \quad \dots(\text{式2})$$

この遷移ルールは、原料らの考案した指数CONの概念⁴⁾と同様であり、P値が高いほど対象セルの局所的な歩行空間の連続性は高いと言える。以下に例を示す。(図2-5)

2-3. Q値の算出

STEP数tが大きくなるにつれP値は非常に大きい値をとるため、すべてのセルの中でのP値の最大値をP_{max}(t)

0	1	1	0	0
1	1	1	0	0
0	0	1	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0

t=1

0	5	4	0	0
3	6	6	0	0
0	0	5	5	2
0	0	4	0	0
0	0	2	0	0

t=2

0	24	21	0	0
14	19	31	0	0
0	0	16	22	7
0	0	16	0	0
0	0	6	0	0

t=3

0	119	105	0	0
67	145	153	0	0
0	0	124	102	29
0	0	70	0	0
0	0	22	0	0

t=4

図 2-5 遷移ルール例

として、(式3)より算出される $Q_{xy}(t)$ を用いることとする。すなわち Q 値は $P_{max}(t)$ をとるセルの P 値を 100 に換算した相対値である。(式3)

$$Q_{xy}(t) = \frac{P_{xy}(t)}{P_{max}(t)} \times 100 \quad \dots (式3)$$

例として(図 2-5)の $t=4$ のときの Q 値を(図 2-6)に示す。

2-4. STEP 数の決定

同都市内の歩行空間の連続性を分析する場合、ステップ数 t を決定するための手法の一つとして Fowler と little のアルゴリズムを用い、ピークを抽出する方法が挙げられる。この手法は、地形の特徴点を抽出する手法であり、

0	73	69	0	0
44	95	100	0	0
0	0	81	67	19
0	0	46	0	0
0	0	19	0	0

図 2-6 Q 値算出例

3×3セル内の中央のセルよりも隣接する8セルがすべて低いセルの場合中央のセルをピークとする。(図 2-7) ピーク数の例をグラフで示す。(図 2-8)

56	69	51
73	85	73
51	58	69

図 2-7 ピーク例

(i) ピーク数が増加している時

隣接するセルの P 値が同値であっても STEP を重ねることにより、セルの P 値に差異が生じ新たにピークが現れている。

(iii) ピーク数が減少している時

例を以下に示す。(図 2-9) は赤色の矢印の列の P 値をグラフにしたものであり、100 及び 300 の値をとるピークが2つあるとする。

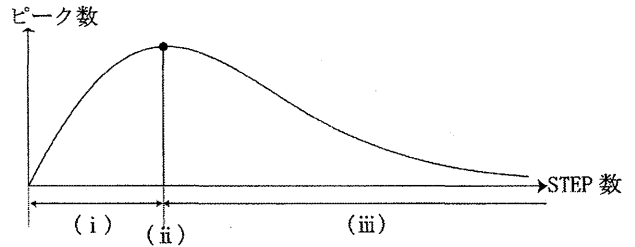


図 2-8 ピーク数グラフ

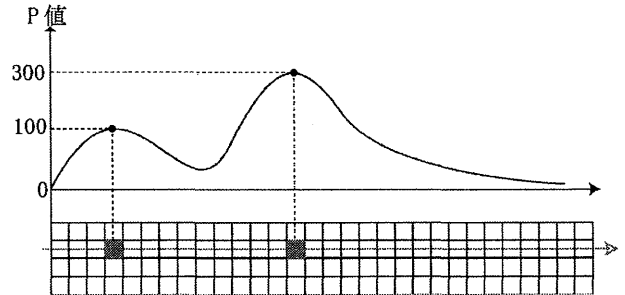


図 2-9 ピーク消滅例 STEP 数小

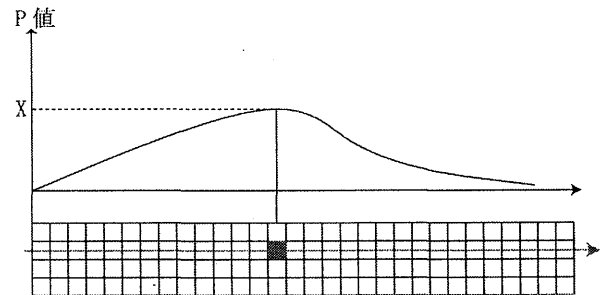


図 2-10 ピーク消滅例 STEP 数大

さらに STEP を重ねていくと、より大きな値のピークの影響を受けピーク数が減少していく。(図 2-10) このように極端に値の大きいセルの影響により、周辺のピークが消滅する。最終的にピーク数は一つになる。(ii) ピーク数が最大の時

都市内の局所的歩行空間の連続性を最も特徴的に表している。そのためピーク数が最大をとる STEP 数を用いて分析を行う。

2-5. セルの大きさについて

研究の精度を高めるためには都市内の歩行空間の面積を正確に反映させる必要があり、セルの大きさを小さく設定すべきである。一方本研究における CA の特性を考慮すると、セルが小さいとセルに影響を及ぼす範囲が非常に狭くなってしまふ。これらのことを考慮してセルを $1 \times 1m$ に設定する。

2-6. 簡易モデルへの適用

いくつかの基本パターンに対して指標を適用し、考察を行う。基本的なパターンとして、(図 2-11) に示す 13 種類を用いる。(図 2-11) は黒いセルを歩行空間とする。STEP を重ねて行ったところ $STEP_t=5$ の時に「広場」の $(x, y)=(4, 7)$ のセルにおいて最大値 5161 をとった。よって条件を同じにするため、全ての基本パター

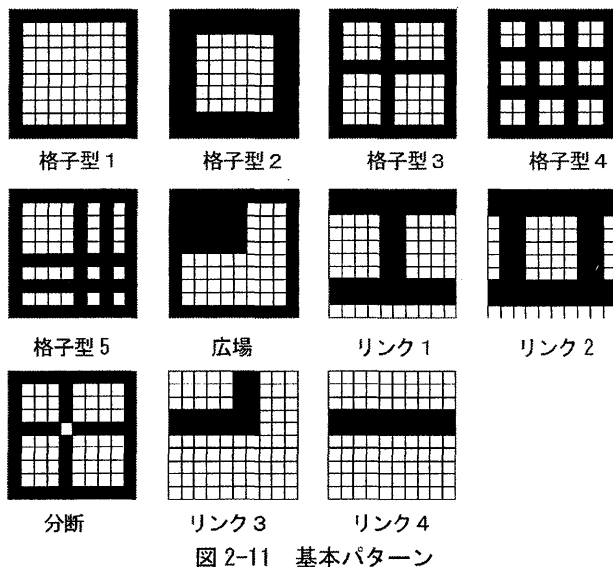


図 2-11 基本パターン

表 2-1 基本パターンへの適用結果

	歩行空間率 (%)	平均Q値	標準化値
格子型 1	36	22	6.2
2	64	28.6	45
3	51	4.5	8.7
4	64	7.8	12.1
5	64	10.2	15.9
広場	56	32.8	58.6
分断	50	3.8	8.4
リンク 1	50	28.6	57.12
2	60	32.6	54.33
3	20	23.5	11.75
4	20	20.6	10.28

表 3-1 各地区への適用結果

対象都市	歩行空間率 (%)	平均Q値	標準化値
札幌市(すすきの)	20.3	52.2	2.57
仙台市(仙台駅西口)	18	57.9	3.22
新宿区	19.3	54.8	2.77
渋谷区	17.3	50.4	2.92
吉祥寺	16.9	51.2	3.03
下北沢	16.9	51.8	3.07
横浜市(関内)	17.3	47	2.72
名古屋市(栄)	15.5	53.3	3.45
京都市(四条河原町)	14.3	57.6	4.03
大阪市(難波・心斎橋)	17.7	50.7	2.862
岡山市(表町)	19.2	55.1	2.865
広島市(紙屋町)	17.9	59.8	3.35
福岡市(天神)	17.4	53.1	3.05

んでSTEP_t=5のときのセルの値を5161で除しQ値を算出する。各基本パターンにおいて平均値を算出する。平均Q値は歩行空間率による影響が非常に大きく、歩行空間率の大きく異なる都市同士の比較が難しい場合

がある。そこで、平均Q値を対象エリア内の歩行空間率で除し標準化することを考える。これを用いることにより歩行空間率の影響を除き、歩行空間形態に着目した比較を行うことが出来る。各基本パターンの歩行空間率、平均Q値、標準化値を(表2-1)に示す。

(1)格子型1<格子型2:この結果から幅の細い歩道よりも幅の広い歩道のほうが評価が高くなる事が分かる。

(2)格子型3<格子型4:この結果から幅が同じ歩道場合、リンク数の多いほうが評価が高くなる事が分かる。

(3)格子型4<格子型5:この結果から幅が同じでリンク数も同じ歩行空間の場合、リンク密度の偏った格子型5の方が標準化値が高くなった。格子型5ではリンク密度の大きい右下周辺では格子型4より高い標準化値をとるが、リンク密度の低い左上では格子型4より小さい値を取っている事が分かる。

(4)格子型3>分断:この結果から同じ歩行空間形態でも、歩行空間が途切れていた場合標準化値が低くなる事が分かる。

(5)広場:基本パターンの中で最も高い標準化値をとることが分かった。このことから本研究で用いる指標は広場空間の抽出という性格を持っていることが伺える。

(6)リンク1>リンク2:リンク2の方が平均Q値は高くなったものの標準化値はリンク1の方が高くなった。このことから、都市内の歩行空間率に対する横断歩道率が高いほど標準化値は小さくなる事が伺える。

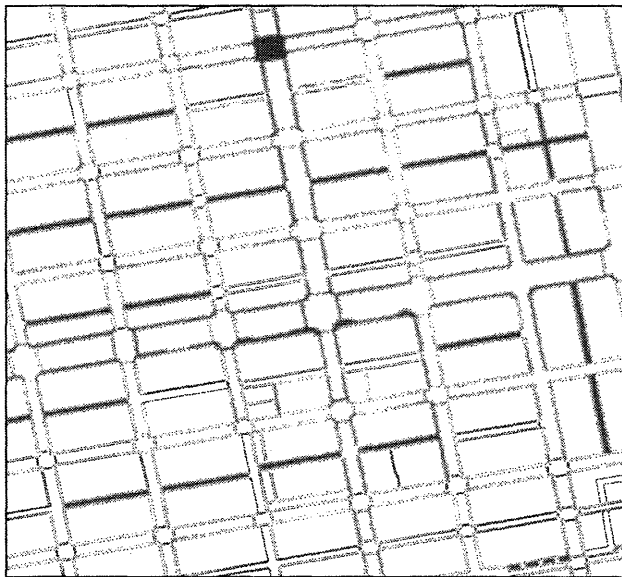
3. 連続性の都市内分布

3-1. 対象都市及び対象範囲

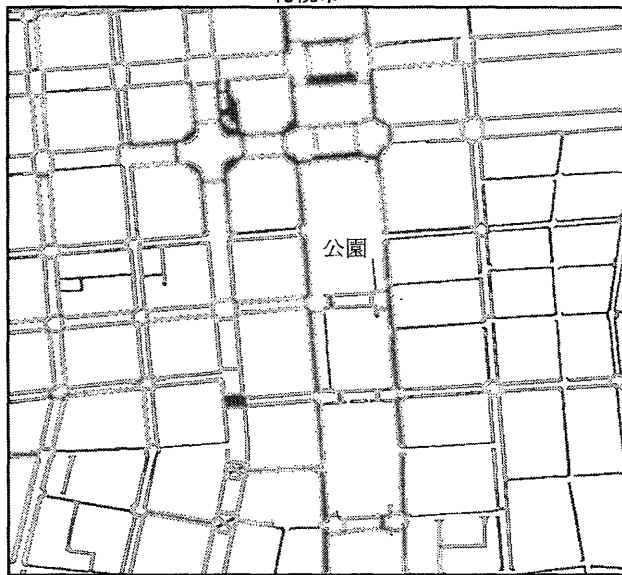
中心市街地がある程度の大きさを持っている国内10都市(札幌, 仙台, 東京, 横浜, 名古屋, 京都, 大阪, 岡山, 広島, 福岡)の中心市街地13地区を選定し各地区の歩行空間ネットワークを作成した。^{注1)}対象範囲は、地区の主要な駅や広場を中心に5分徒歩圏を想定した800m四方の範囲とした。

3-2. 歩行空間の定義

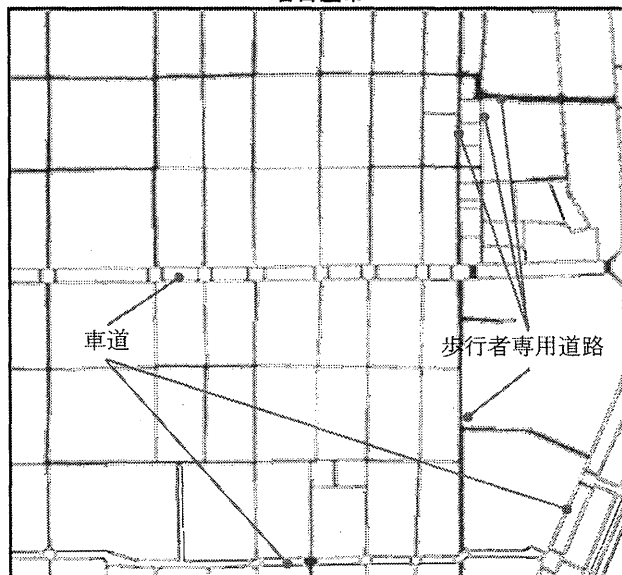
一般的には、歩行空間は歩道などの歩行者専用道路のみを扱う場合が多いが、本研究ではより実態に即した研究とするため、歩行者専用道路に加え、歩道の区画されていない道路(歩車共存道路)も「歩行空間」として扱う。また本研究のまとまった空間が有利となるという性質を考慮し、公園、公開空地などは歩行空



札幌市



名古屋市



京都市

図 3-1 Q 値分布図

間に含まないこととする。さらに地図作成の都合上、屋内の歩行空間も含まず、屋外の歩行空間に限定することとする。

3-3. 連続性の都市内分布

ここまで定義した指標を国内 13 地区に適用した。適用結果を(表 3-1)に示す。これらの都市から特徴的な値を示した共に格子状の街路構造を持つ札幌市、名古屋市、京都市の 3 都市を例に連続性の都市内分布(図 3-1)について考察を行う。STEP 数を(図 3-2)に示す。

札幌市を見てみると、対象範囲内の道路には両側 2 車線以上のもが多く、歩道は幹線道路によって細かく分断されている。リンクの密度分布は特に均質的である。リンクの密度が均等であるということは、歩行空間の連続性も均等であるということなので平均 Q 値の分布も比較的均等となっている。歩行空間率は 13 地区で最も高いものの標準化値は 13 地区で最も低く歩行空間の連続性は低いことが明らかになった。

名古屋市を見てみると、対象地区の中心には南北に延びる公園が広がっておりそれを境に東西の歩行空間形態が異なっている。西側はリンク密度も高く、幅員も大きいため Q 値も平均的に高くなっている。一方、東側はリンク密度は低く、幅員の小さい歩行空間がままとまっているため Q 値も平均的に低くなっている。標準化値は高く、高い歩行空間の連続性が示された。

京都市を見てみるとリンク密度が少ないため歩行空間率は対象都市全体で最も低い値となったものの車道が少なく幅員の大きい歩行者専用道路及び歩車共存道路が多いため平均 Q 値は高い数値を示し、13 地区で最も歩行空間の連続性が高いことが明らかになった。

同じ格子状の街路構造であるが、リンク密度、歩行空間形態などによって歩行空間の連続性算出結果に違いが見られることが示された。

3-4. 街路別平均値の算出

Q 値の分布図をもとに街路ごとに Q 値の平均値を算出する。街路別の平均 Q 値が高いほど街路を太く表現している。すなわち太く表示されている街路ほど局所

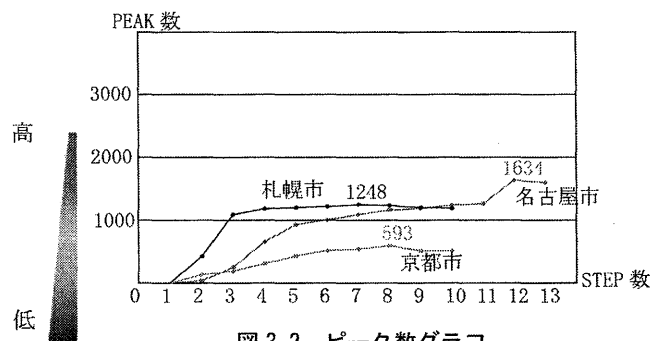


図 3-2 ピーク数グラフ

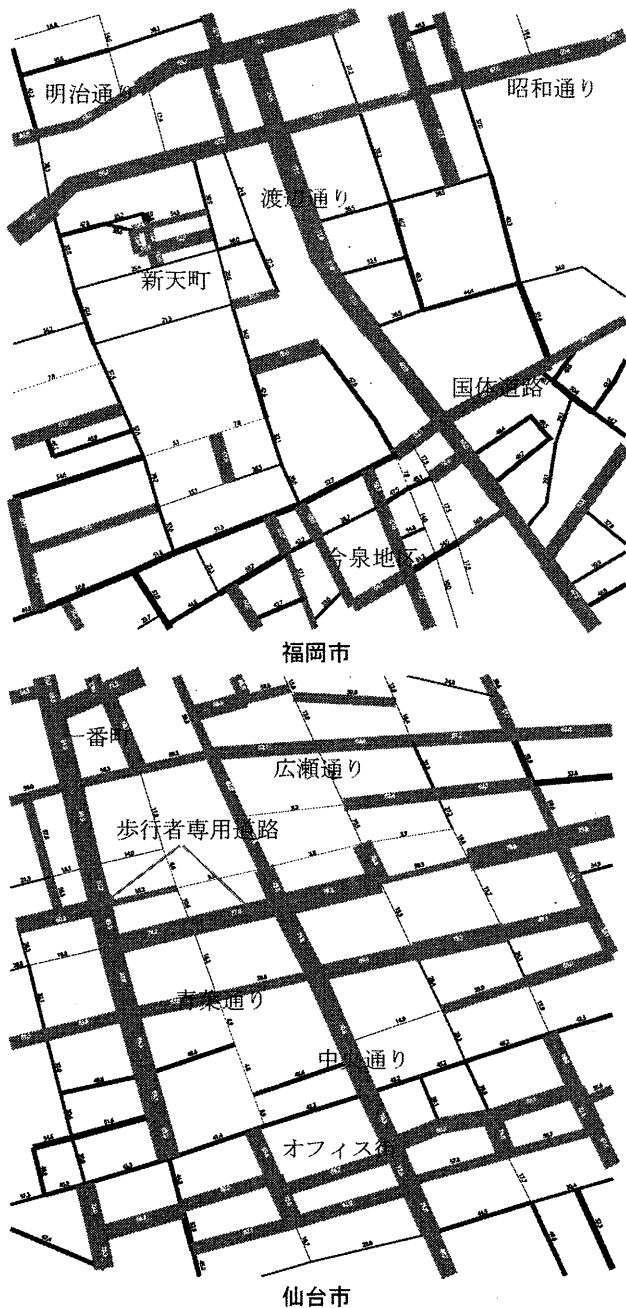


図 3-3 街路別平均 Q 値図

的連続性が高いということである。同程度の平均 Q 値、歩行空間率、標準化値を示す福岡市、仙台市の街路別平均値をもとに考察を行う。平均 Q 値が 55 以上の街路は赤色で表している。(図 3-3)

福岡市の街路別平均 Q 値分布図を見てみると、昭和通り、渡辺通り及び明治通り、の 3 本の幹線道路沿いが全体的に太く、局所的歩行空間の連続性が高いことを示している。またアーケード付き商店街である新天町周辺、今泉地区も比較的高い局所的連続性を示す街路が多いものの、これらを繋ぐ歩行空間は連続性が低く、高い連続性を示す街路が分断・分散されていることが分かる。

仙台市の街路別平均 Q 値分布図を見てみると青葉通り、広瀬通、中央通りの 3 本の幹線道路沿いの歩道が高い値を示している。また、仙台市を代表する繁華街であり対象地区内左上に位置する一番町、南側に位置するオフィス街に歩行空間のまとまりが確認できる。さらにこれらと対象地区外の西部に位置する JR 仙台駅が東西、南北に延びる歩行者天国により接続されており、非常に優れた歩行空間形態であると言える。

街路別平均 Q 値図を用いることで、局所的に連続性の高い歩行空間のまとまり、街路を把握できた。また、同程度の歩行空間率、平均 Q 値、標準化値を示す 2 都市であるが、歩行空間のまとまり同士のつながりに違いが見られた。

4. 総括

本研究では歩行空間の連続性を評価する指標を提示し、国内の歩行空間ネットワークに適用することで、その連続性を定量的・視覚的に示すことができた。各都市ごとの分布を分析することで、幅員の狭い歩行空間がまとまっているところ、リンク密度の小さいところなどは低い連続性を示した。また、京都市、仙台市など歩行者天国等幅員の大きい歩行空間を持つ都市の高い連続性が明らかとなった。街路別の平均 Q 値分布図により連続性の高い歩行空間のまとまり同士のつながりの分析など各都市の歩行空間形態の評価も行うことが出来た。

今後の展開として歩車共存道路、横断歩道等の重み付けを行うこと、階段、EV などの重み付けを行い三次元空間に適用し建築空間や地下を含めた都市の歩行空間の連続性の評価を行うなどが挙げられる。

謝辞

なお本研究は、平成 23～25 年度の科学研究費補助金・基盤研究 (B) (代表：趙世晨、課題番号 23404023) による、ここに記して謝辞を表す。

注釈

1) 13 地区の歩行空間の面積を表している地図がなかったため、ゼンリン地図をトレースして作成した。

参考文献

- 1) 池田峻平・趙世晨：歩行者交通量の推定方法に関する研究－スペースランクと歩行者交通量の関係について－、九州大学卒業論文、2011 年
- 2) 外井哲志・吉武哲信：ノード間平均距離を用いた市内道路網の形態評価、都市計画論文 No. 27, pp. 271-276, 1992. 11, 1992. 11.
- 3) 荒屋亮、竹下輝和、池添昌幸：スペースシンタックス理論に基づく市街地オープンスペースの特性評価、日本建築学会計画系論文集、第 589 号, pp. 153-160, 2005. 3
- 4) 原科幸爾、日本列島における森林の連続性の地域的差異農村計画論文集、1991 年
- 5) 小林優介・石川幹子：セルオートマトンを利用した森林ネットワークの分析手法に関する研究、都市計画論文集 No. 39-3, pp. 103-108

(受理：平成 25 年 5 月 23 日)