

1. はじめに

不特定多数の人々が訪れる都市において、安心かつ速やかに目的地に到達するためには、都市におけるレジビリティ確保は欠かせない。そのレジビリティを補うため、一般的には看板などの付属的サインが用いられるが、その設置個数の不足や過剰によって混乱が生まれることもある。それに対し道路網の全体構造でわかりやすさを実現することは、経年変化に耐えうるという点で優れている。

道路網のわかりやすさに関する既往研究では、増井氏らは「道に迷いやすい状況の構造と方向感覚の関係」において、道に迷うときの状況の分類を行っている。また、材野氏らによる一連の「街路空間の連続的認識に関する研究」においては、性質の異なる街路空間の空間構造と学習方法による認識の相違を比較し、それらの街路に対する人間の空間理解の傾向や個人的な特徴を明らかにしている。しかし、これらの研究は人間の恣意的な感覚による行動と街路環境との関連性を説明するものであり、本研究が目指している道路網のレジビリティを定量的に量るものではない。

都市内移動においては、ある特定の経路を記憶するだけでなく、探索領域の道路網を理解した上で、最もわかりやすい経路を導出することがその効率性を助ける。そこで本研究では、経路探索に必要な情報を用いて道路網のレジビリティの評価方法を提案し、また、提案した手法を仮想的な道路網モデルを用いてその実用性を示し、さらに既存の道路網にを適用し、それぞれの道路網のレジビリティについて比較考察を行う。

2. 道路網レジビリティの指標定義

2.1 情報理論の考え方

情報の基本形として、二者択一の情報は情報量の単位として1ビットとされている。この情報量 $f(x)$ は、

$$f(x) = \log_2 x \quad \text{ビット} \quad (1)$$

と表され、確率 p の事象が実際に起こったことを知らせる情報に含まれる情報量 I は、

$$I = -\log \frac{k}{n} = -\log_2 p \quad \text{ビット} \quad (2)$$

として定義される。本研究ではこの情報量の考え方を

用いて道路網レジビリティを計量する。

2.2 道路網の情報量の定義

(1) 交差点の情報量

①直進定義

直進する交差点においては分岐が存在しても進行方向は一方向しかないものとみなし、情報量もそれに従うと仮定する。よって直進定義と判断される経路は、その交差点において、

$$I_1 = -\log_2 1 = 0 \quad \text{ビット} \quad (3)$$

の情報量を保有する。さらに既存の道路網を考え、既往研究等を参考にして進行方向の道路が直進と定義される場合を以下のように定義した(図1)。

(i) 進行方向に値する分岐数が1つの場合

(ii) 交差点からの進行方向に値する分岐数が2つ以上ある場合、そこへの進行方向となす角が最も小さい街路となす角が a 以下であり、それ以外の街路となす角が b より大きい状態で、なす角が最も小さい経路を辿るものとする。ただし、進行方向となす角が最も小さい街路となす角が a 以下であっても、それ以外の街路が b より小さい状態で存在する場合は、そのどちらの街路も直進とみなさない。本研究では、 $a = 20^\circ$, $b = 25^\circ$ とした。

(iii) 経路が曲線道路沿いを道なりに辿る場合

②経路選択確率

情報量 I_i はある n 個の事象の起こる確率 p_i を用いて、

$$I_i = -\log_2 p_i \quad \text{ビット} \quad (4)$$

と表される。その確率 p_i は、すべて等確率で起こるものとする $1/n$ である。経路探索には各交差点においてどの方向を進行方向として選択したかという情報が

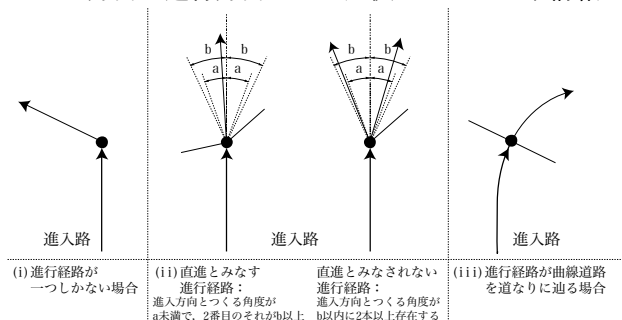


図1 直進定義

必要であり、経路交差点に接続する進行経路のうち、一本を選択して進行方向とするため、その確率を経路選択確率と呼ぶ。本研究ではその確率を右左折直進に関わらずすべて等確率とした。

(2) 最短経路の情報量

以下の方法に基づいて目的地までに経由した交差点毎の情報量を加算していく。目的地に到達したときに必要な情報量の和が最短経路の情報量となる。

① スタート地点での経路選択確率 p_i

出発地点の交差点における経路選択は、接続するすべてのリンクのうち一本を選択するため、その差路数を n とすると、経路選択確率 $p_i = 1/n$ となる。

② それ以降の経路選択確率 p_i

経路探索では、最短経路を通ると仮定すると探索開始以降は辿ってきた道に戻ることはない。よって、進行方向は進入路以外の分岐数に従い、その経路選択確率 $p_i = 1/(n-1)$ とする。

以上により、最短経路の情報量 H は、

$$H = I_1 + \sum_{i=2}^n I_i \quad \text{ビット} \quad (5)$$

すなわち、

$$H = -\log p_1 - \sum_{i=2}^n \log p_i \quad \text{ビット} \quad (6)$$

- I_1 : スタート地点の交差点の情報量
- I_i : 最短経路の情報量
- i : 通過交差点番号 (1 : スタート地点)
- n : 最短経路に存在する通過交差点数

と定義する。また複数の最短経路が存在する場合は、情報量の最も低いものを最短経路とした。

(3) 道路網の情報量

道路網領域において、あるノードをスタート地点として、そこからその他のすべてのノードに対する最短経路の情報量を求める。同様にすべてのノードをスタート地点として計算を行い、それらの総和を道路網の情報量とする。道路網の情報量 K は、

$$K = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n H_{ij} \quad (\text{ただし } i \neq j) \quad \text{ビット} \quad (7)$$

- H_{ij} : スタート= i , ゴール= j の最小最短経路情報量
- i : スタート地点
- j : ゴール地点
- n : 交差点数

と定義する。

なお、道路網の情報量を算出するプログラムのフローを図2に示す。

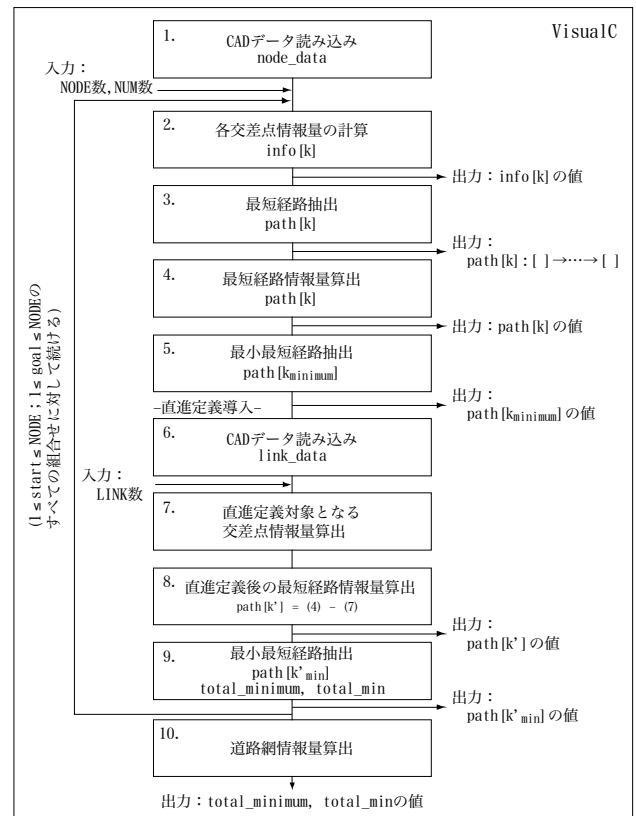


図2 プログラムの流れ

3. 道路網モデルを用いたレジビリティ分析

3.1 格子型道路網のレジビリティ

単純な道路網モデルである格子型道路網を選定し、密度を変えて5種作成し、情報量を算出した。その結果、道路密度や網密度が高くなるにつれ、情報量は極端に大きくなる傾向がみられた(図3・表1)。格子型1と5のモデルについてその変化傾向をみると、道路密度と網密度が3倍、9倍となるのに対し、情報量は直進定義なしで280倍、ありで130倍と極めて高い増加が確認される。直進定義適用後にその差が縮まるのは道路密度の増加に伴い、直進定義数が増えるためである。つまり、同一の道路網パターンにおいては、道路密度や網密度の高さが迷いの原因となる経路選択の増加を生み、レジビリティ低下に大きな影響を与えることが明らかになった。同時に、異なる道路網の比較を行う際の指標の平均化の必要性が示唆された。

3.2 平均情報量の定義

道路網のレジビリティの指標はあらゆる規模の道路網に適用できる。しかし、その情報量は経由交差点の情報量を加算して求めるため、対象領域のノード数の増加が情報量の増加を生んでしまう。そのためノード数が異なる道路網を単純に比較することができない。そこで、平均情報量という指標を提案した。

① 交差点情報量の平均化

n 個の交差点を持つ道路網の場合、ある交差点 i に対

して、(n-1)通りの最小最短経路の情報量が求まる。それらの総和は、交差点 i が持つ情報量 J であり、

$$J_i = \sum_{j=1}^n H_{ij} \text{ (ただし } i \neq j \text{) ビット} \quad (8)$$

で表され、その時の i が持つ情報量の平均値 M は、

$$M_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{H_{ij}}{n-1} \text{ (ただし } i \neq j \text{) ビット} \quad (9)$$

で表される。

②道路網情報量の平均化

同様に道路網の情報量とは、それぞれの交差点が持つ情報量の総和であるため、(n-1)通りの最短経路の情報量を n 個の交差点分だけ足し合わせたものが最終的な情報量、道路網のレジビリティの値として算出される。よって、その道路網の全情報量の平均値 N は、

$$N = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{H_{ij}}{n(n-1)} \text{ (ただし } i \neq j \text{) ビット} \quad (10)$$

が成り立ち、これを道路網の平均情報量とする。

3.3 異なる道路網パターンのレジビリティ

幹線道路網の基本形とされる放射環状型、格子型、格子環状型、斜線型の4パターンを対象に情報量を計算した。その結果格子環状型道路網が最も情報量の低い

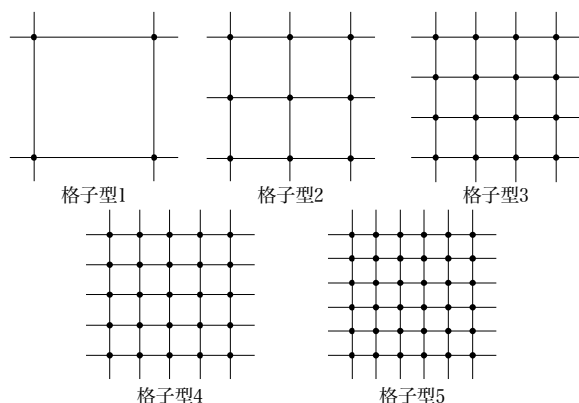


図3 対象格子型道路網パターン

値を示した(図4・表1)。また、情報量では網密度や道路密度の高い放射環状道路網でレジビリティは高く、平均情報量では平均差路率が高い斜線型道路網で低くなった。格子型と格子環状型道路網では、密度が等しいにも関わらず、格子環状型の情報量が低い結果となったのは、平均差路率による影響が考えられる。以上のように、道路密度、網密度、平均差路率がレジビリティに影響を与えることが明らかになった。

4. レジビリティ指標の適用

4.1 都市幹線道路網

九州各県の県庁所在地を選定し、各都心の中心部に位置する市役所から半径5kmの円の領域内に属する一般都道府県道、一般国道、主要地方道に限定してレジビリティの指標を適用した(図5・表2)。また、モデルで使用した直進定義のほかに、路線番号による直進性も同時に定義し、同じ路線番号を直進する場合は直進であるとみなし、情報量を0とした。その結果、大分市が最もレジビリティの高い道路網を形成し、比較的初期情報の値の低かった長崎市も近い情報量が算出された。熊本市と宮崎市もその初期情報の値から、近いレジビリティを示した。一方、初期情報の値が他都市に比べて非常に高い値を示していた福岡市では、その平均情報量の最終値が、次に初期情報の値が高かった

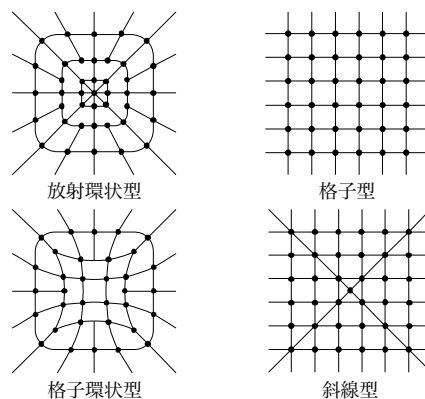


図4 対象幹線道路網パターン

表1 異なる道路網パターンモデルのレジビリティ

	—格子型道路網モデル—					—幹線道路網モデル—				
	格子型1	格子型2	格子型3	格子型4	格子型5	放射環状型	格子型	格子環状型	斜線型	
道路網の初期情報)										
ノード数	4	9	16	25	36	41	36	36	37	
リンク数	4	12	24	24	60	72	60	60	72	
直進定義数	0	12	32	60	96	120	96	96	116	
平均差路率(%)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.90	4.00	3.75	4.65	
道路密度(km/km ²)	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	13.29	12.00	12.45	15.39	
網密度(個/km ²)	4.00	9.00	16.00	25.00	36.00	41.00	36.00	36.00	37.00	
道路網の情報量)										
情報量(ビット)	直進定義なし	30	264	1,101	3,419	8,511	10,310	8,511	7,354	9,218
	直進定義あり	30	212	718	1,820	3,946	4,553	3,946	3,448	4,430
	変化量	0	52	384	1,599	4,565	5,757	4,565	3,906	4,787
	変化率	0.00%	19.78%	34.83%	46.78%	53.63%	55.84%	53.63%	53.12%	51.94%
平均情報量(ビット)	直進定義なし	2.53	3.67	4.59	5.70	6.75	6.29	6.75	5.84	6.92
	直進定義あり	2.53	2.95	2.99	3.03	3.13	2.78	3.13	2.74	3.33

表2 九州7都市の既存道路網のレジビリティ

	九州7都市幹線道路網							福岡市内道路網			
	福岡市	佐賀市	長崎市	熊本市	大分市	宮崎市	鹿児島市	奈良屋	博多駅前	渡辺通	
道路網の初期情報)											
ノード数	96	59	20	43	19	44	27	88	79	93	
リンク数	161	88	23	59	22	60	36	150	128	149	
直進定義数	246	124	24	78	28	75	46	266	223	205	
平均差路率(%)	3.61	3.39	2.80	3.33	3.00	3.11	3.07	3.63	3.53	3.52	
平均リンク長(m)	210.11	317.87	621.50	433.33	654.14	362.02	484.44	64.72	67.23	64.57	
道路密度(km/km ²)	6.89	5.70	2.91	5.21	2.93	4.42	3.55	33.66	31.91	33.47	
網密度(個/km ²)	2.84	2.11	1.40	1.68	1.32	2.03	1.55	9.07	9.18	9.67	
道路網の情報量)											
情報量(ビット)	直進定義なし	80,079	25,210	1,571	11,124	1,462	11,873	3,982	63,430	48,386	74,753
	直進定義あり	30,209	11,418	1,030	5,488	863	6,030	2,048	23,030	21,148	31,134
	変化量	49,870	13,792	541	5,636	599	5,843	1,934	40,400	27,238	43,619
	変化率	62.28%	54.71%	34.44%	50.67%	40.95%	49.21%	48.57%	63.69%	56.29%	58.35%
平均情報量(ビット)	直進定義なし	8.78	7.37	4.13	6.16	4.27	6.28	5.67	8.29	7.85	8.74
	直進定義あり	3.31	3.34	2.71	3.04	2.52	3.19	2.92	3.01	3.43	3.64

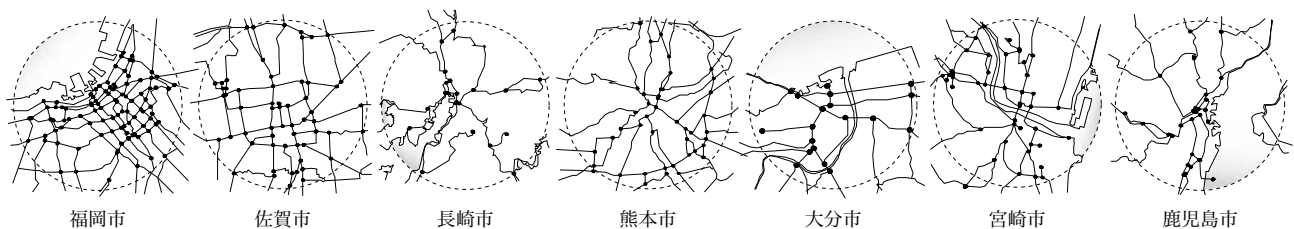


図5 九州7都市対象幹線道路網

佐賀市を下回る結果となったのが特徴的である。それは、福岡市が格子状道路網を形成するため、直進定義による変化率が62.28%と非常に高く、情報量が極端に減少したと予想できる。以上から、既存道路網においては、モデルとは異なり道路網の情報量は密度や差路率のみに左右されるのではなく、初期情報が相互に影響し合ってレジビリティが決定されることが示された。

4.2 都市内道路網

九州7都市の幹線道路網の情報量が極めて高い値を示した福岡市内の道路網に着目し、その幹線道路の内部に分布する細街路網に指標を適用した(図6・表2)。対象道路網としては、福岡市内に位置する格子型道路網の奈良屋地区、放射環状型道路網の博多駅前地区、及び不規則な道路網の渡辺通地区を選定した。なお対象区域はすべて約0.28km²と同規模のものを抽出した。その結果、不規則な道路網を形成する渡辺通地区の道路網の情報量が最も高く、レジビリティの低い道路網であることが明らかになった。他の2道路網に関しては、直進定義適用前においては、放射環状型の博多駅前地区の道路網の情報量が7.85ビットと最も低いが、直進定義適用後は、格子型の奈良屋地区の情報量が8.29ビットから3.01ビットに激減し、奈良屋地区のレジビリティが最も高いことが判明した。これは、本研究のすべての実証分析からも明らかのように、格子型道路網において直進定義による変化率は非常に大きく、整った格子状の道路網においては、探索経路に“直進”を選択して移動を行うことで、道に迷う状況に合

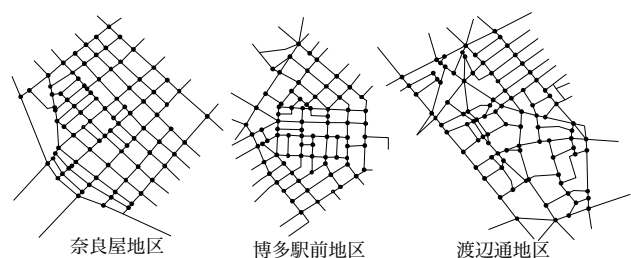


図6 対象都市内道路網

う可能性は減り、よってその道路網はそれに伴い、わかりやすいものとなることが示唆される。同様に不規則な道路網においては進行経路を右左折する回数が増えることによる情報量の増加を招くため、渡辺通地区のレジビリティが低いことも理解できる。

5. おわりに

以上によって、情報量を用いて道路網のレジビリティを定量的に評価するための手法を提案し、また、提案した指標を複数の道路網パターンモデル及び九州7都市の幹線道路網と福岡市内の都市内道路網に適用した結果、指標の妥当性及び適用性が示された。

【参考文献】

- 1) 甘利俊一, 「情報理論」, ダイアモンド社, 1970年
- 2) 日笠端, 「都市計画第3版」, 共立出版, 1993年
- 3) ナイジェル・フォアマン, ラファエル・ジレット: 竹内謙彰, 且直子監訳, 「空間認知研究ハンドブック」, 二瓶社, 2001年
- 4) 四茂野英彦, 「経路記憶の情報量」, 日本都市計画学会学術研究論文集, pp. 577-582, 1989年
- 5) 西應浩司, 材野博司, 松原斎樹, 蔵澄美仁, 「認知地図からみた街路空間の連続的認識」, 日本建築学会計画系論文集, 第529号, pp. 217-223, 2000年
- 6) 覺知昇一, 吉川徹, 「道案内の情報記述量に着目した都市空間の利便性に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, 第562号, pp. 217-223, 2002年
- 7) 増井幸恵, 今田寛, 「道に迷いやすい状況の構造と方向感覚との関係」, 関西学院大学文学部人文論究, 43, pp. 45-58, 1993年