

# 経路探索における情報量の都市間比較研究

河村 光展

## 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、分かりやすい街であることが重要である。人は看板やサインを利用し目的地までの情報を得るが、そうした情報の過剰や不足によりしばしば混乱が発生する。

情報にはいろいろな種類、形態、価値があり、人々は毎日の生活の中で様々な情報を選び抜き、それぞれの用途に役立てている。つまり、情報とは、不確実な知識を確実にしてくれるものであり、情報の量とは、その情報を得たことによって状況の不確定さがどのくらい減るかということである。

私たちは、様々な情報をもとに都市内を移動している。近年、都市圏では開発及び再開発による物理的環境の変化が激しさを増し、その道路網に慣れ親しんだ者さへ新たな環境に戸惑うことも少なくない。建物やランドマーク等から得られる情報が不確かなものとなった近年、道路網経路探索に必要な情報の量を把握することは重要となっている。

吉原氏は道路網における経路探索に対し、情報理論を適用し、道路網の基本構造を定量的に把握する1つの指標として「探索情報量」を考案している。これは、実際に探索することを想定し、道路網での経路選択において処理しなければならない情報の量を考慮しており、経路選択に必要な情報の量を表している。道路網全体としての情報量である探索総情報量は、道路網の解析範囲の多寡による影響がみられる。規模の異なる都市の比較を可能にするため、さらに「単位距離当たり探索情報量」を比較指標として提案している。これらの指標を実在する様々な都市道路網で適用することで、道路網の経路探索の際の情報量の特性を把握することができる。

本研究の目的は、「情報量」を各都市道路網で解析し、経路探索に必要な情報量の特徴を把握し、さらに情報量という観点から道路網形態を分析し、経路探索の際に必要な情報量と道路網形態の関係に対する知見を得ることである。

## 2. 情報理論の定義と研究方法

### 2-1. 情報理論の考え方

情報量の基本形として、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。確率  $p$  の事象を確定させるのに必要な情報  $I$  は、

$$I = -\log_2 p$$

と表すことができる。本研究ではこの情報量の考え方をを用いた道路網の評価指標として「基本情報量」と「探索情報量」を用いる。

### 2-2. 道路網の情報量の定義

ある交差点で経路を選択するのに必要な情報を情報理論に則って算出すると、選択確率  $p_i$  の経路を確定させるために必要な情報量  $I_i$  は

$$I_i = -\log_2 p_i$$

となる。各交差点での情報量は互いに独立事象であり、情報量の加法性が成り立つ。よって、ある目的地へ到達するために必要な情報量  $H$  は、それまでに経由した交差点  $m$  箇所において必要な情報量の総和になる。

$$H = \sum_{i=1}^m I_i$$

本研究では、あるノードをスタート地点とし、その他のすべてのノードをゴール地点として情報量を求めるという過程を  $n$  個のノード全てに対して行い、その情報量の総和をもって道路網が持つ情報量とする。つまり、道路網の情報量  $K$  は、

$$K = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n H_j \quad (\text{ただし } i \neq j)$$

と定義する。この情報量  $K$  を道路網の基本総情報量とする。

なお、スタート地点からゴール地点の間の経路は情報量が最小になる経路を辿るものとする。これは、選択される確率が最も高い経路であり、最も自然な経路ということができる。

## 2-3. 探索情報量

現実の状況を考えると、人が道路網を利用する際、探索しながら情報を得て処理し経路選択を行っている。つまり、探索時に交差点で処理しなければならない負担要素の1つとして、方向変換の際に処理しなければならない情報の量がある。この情報量を基本情報量に付加し、探索情報量とする。

具体的には、4方向で方向変換を処理する場合は1ビット、それで処理できない方向変換は8方向で処理すると仮定し2ビットの情報を付加した(図1)。これは、直進しているときは縦の軸しか意識していないのに対し、4方向を処理するときは横の軸か縦の軸かの情報が必要になるので1ビット、8方向を処理するときは、さらに2本の軸を意識する必要があるので2ビットという理由によるものである。

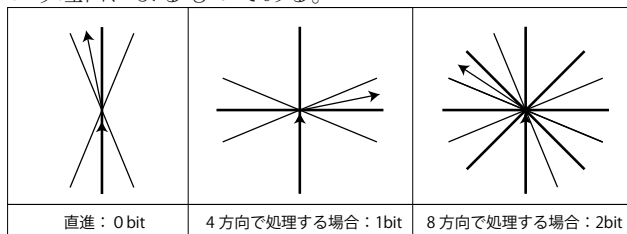


図1 方向変換による情報負荷

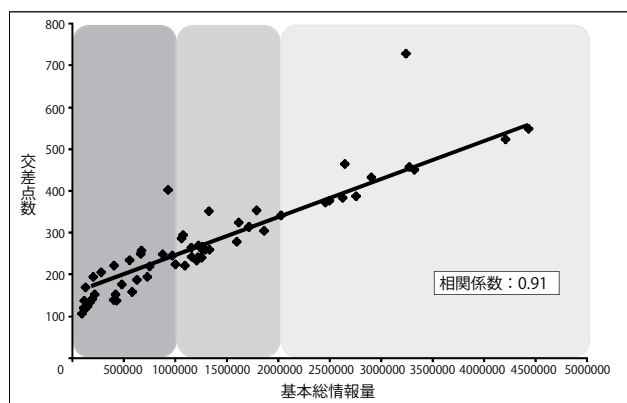
## 2-4. 研究の対象及び方法

本研究では、まず各都市道路網における経路選択に必要な情報量を解析し、その傾向を分析する。次に各都市道路網形態の特徴と情報量の関係を分析する。

時代・国や地域・用途などの特性が強く表れていると考えられる部分を含む都市を解析対象都市として60箇所を選定した。国・地域別では、アメリカ12都市15箇所、ヨーロッパ26都市28箇所、日本15都市、その他が2都市である。

表1 各情報量

	基本総情報量	都市名	単位当たり探索情報量	都市名
平均値	1266637		15.88	
中央値	1084094		15.18	
最大値	4432088	サバンナ	36.74	ヴェネツィア
最小値	92326	萩市	9.78	サンフランシスコ



解析範囲は、際限なく広げることが可能であるが、計算効率を考え1.5km四方とした。また、解析範囲を同一にすることで、解析範囲の多寡による影響が無くなり、各総情報量の特徴を比較することができる。

## 3. 各情報量の傾向

### 3-1. 基本総情報量

各情報量解析の結果を表1に示す。基本総情報量は、長さを考慮しておらず、道路網の交差点の位置関係のみで算出されるため、道路網全体の基本的な構造を反映しているといえる。基本総情報量は、地図等で道路網全体を見たときの情報量ともいえる。基本総情報量の分布を図2に示す。約1260000が平均的な値であり、0-2000000に約80%が分布しており、分布範囲が広い。

### 3-2. 基本総情報量の傾向

基本総情報量は、交差点数及び道路数との相関が高く、交差点数や道路数が増加すれば、顕著に増加している。分布範囲が広いため、基本総情報量を1000000区切りで3つの段階に分類した。各段階の都市例を図3に示す。

### 3-3. 単位距離当たり探索情報量

単位距離当たり探索情報量は、探索総情報量を経路総長で割った値である。つまり、1km経路探索する時に必要な情報量を示しており、実際に経路探索する時の負荷といえる。約15.88が平均的な値であり、10-20に約80%が分布している。

### 3-4. 単位距離当たり探索情報量の傾向

単位距離当たり探索情報量は、交差点数や道路数との相関は、基本総情報量と比較すると小さい。交差点数や道路数によらず様々な規模の単位距離当たり探索情報量がみられる(図4)。

### 3-5. 基本総情報量と単位距離当たり探索総情報量

基本総情報量と単位距離当たり探索総情報量の分布を図5に各段階の都市例と単位距離当たり探索情報量

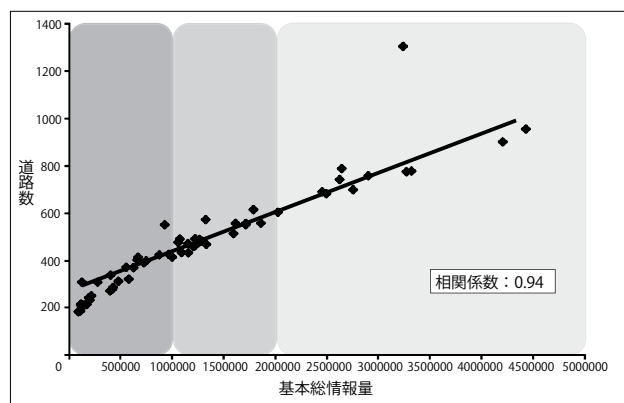


図2 基本総情報量分布

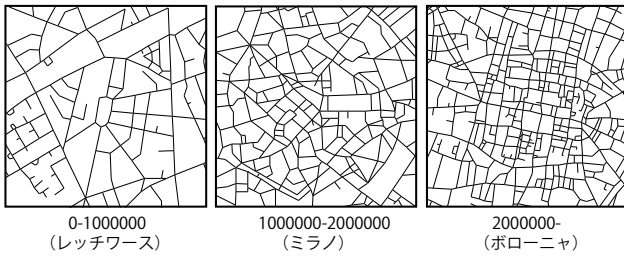


図3 基本総情報量と各都市道路網例

を表2に示す。基本総情報量と単位距離当たり探索情報量は相関が弱く、3つの各段階において、単位距離探索情報量は大小様々な値が分布している。つまり、全体の情報量が大きければ、探索の際に必要な情報量が大きくなるわけではなく、基本総情報量と実際の探索の際に必要な情報量とは関係がないことが分かる。

#### 4. 情報量の都市間比較

##### 4-1. 基本情報量によるクラスター分析

60箇所の道路網における経路探索に必要な情報量に対して、ワード法によるクラスタリングを異なる変数を用いて2度行い、情報量の特徴及び道路網形態との関係を分析した。各道路網形態の例と各クラスターの情報量・交差点数・道路数の平均値を図6に示す。

まず、変数として用いたのは、道路網の基本的な構造を構成する交差点数・交差点間の道路数・1交差点当たりの接続道路数に加え、経路を構成する総経路長・平均経路長、さらに、基本総情報量を加えた合計6つ

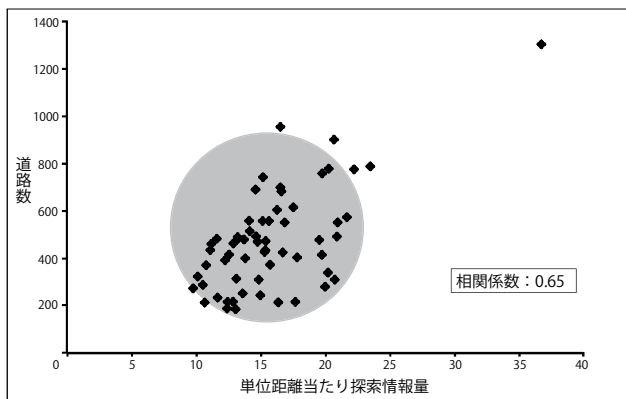
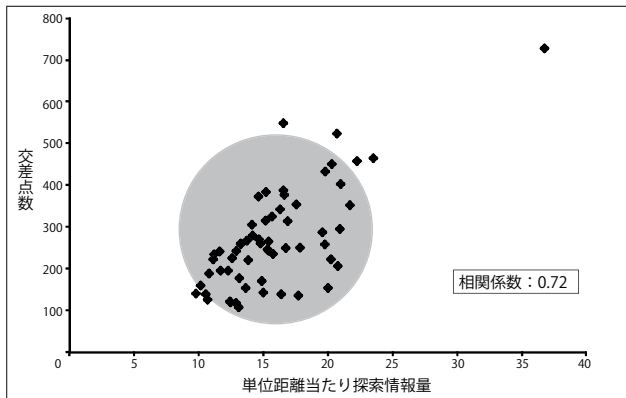


図4 単位距離当たり探索情報量分布

である。3つのクラスターに分類した。大きく3つの道路網形態に分類したが、同じクラスター内に異なる道路網形態がみられた。これは、異なる道路網形態であっても、経路探索に必要な情報量という観点では似ていることを示している。

##### i. 多方向に分散する都市

基本総情報量が大きいクラスターである。また、交差点数や道路数も大きい。多くが多方向に道路が広がり分散している道路網形態であるが格子状のものも含まれた。

##### ii. 単一の格子状、異なる複数の格子が重なる都市

基本総情報量がやや小さいクラスターである。また、交差点数や道路数もやや小さい。単一の格子状道路もしくは格子状道路が異なる方向にいくつか重なる道路網形態が多くみられた。

##### iii. 群を形成、多方向に分散している都市

基本総情報量が小さいクラスターである。また、交差点数や道路数も小さい。様々な道路網形態が含まれるが、道路から派生し群を形成する道路網がみられた。

全体の傾向として、交差点数や道路数、基本総情報量に応じて、1km経路探索の際に必要な情報量は変化している。しかし、基本総情報量は交差点数や道路数の影響が強く、基本総情報量と道路網形態との強い関係があるとはいえない。

##### 4-2. 単位距離当たり探索情報量によるクラスター分析

変数として用いたのは、交差点数・交差点間の道路数・1交差点当たりの接続道路数・総経路長・平均経路長、

表2 基本総情報量段階別単位距離当たり探索情報量

基本総情報量	都市名	単位距離当たり探索情報量
0-1000000	ウエルウィン	20.28
	ヘルシンキ	14.86
	出雲	12.41
1000000-2000000	バス	21.69
	バリ	15.40
	名古屋	11.11
2000000-	フィレンツェ	20.28
	フィラデルフィア	14.62
	マルセイユ	16.54

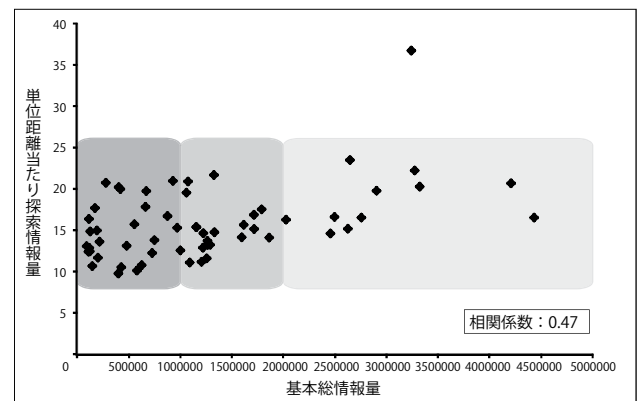


図5 基本総情報量と単位距離当たり探索情報量分布

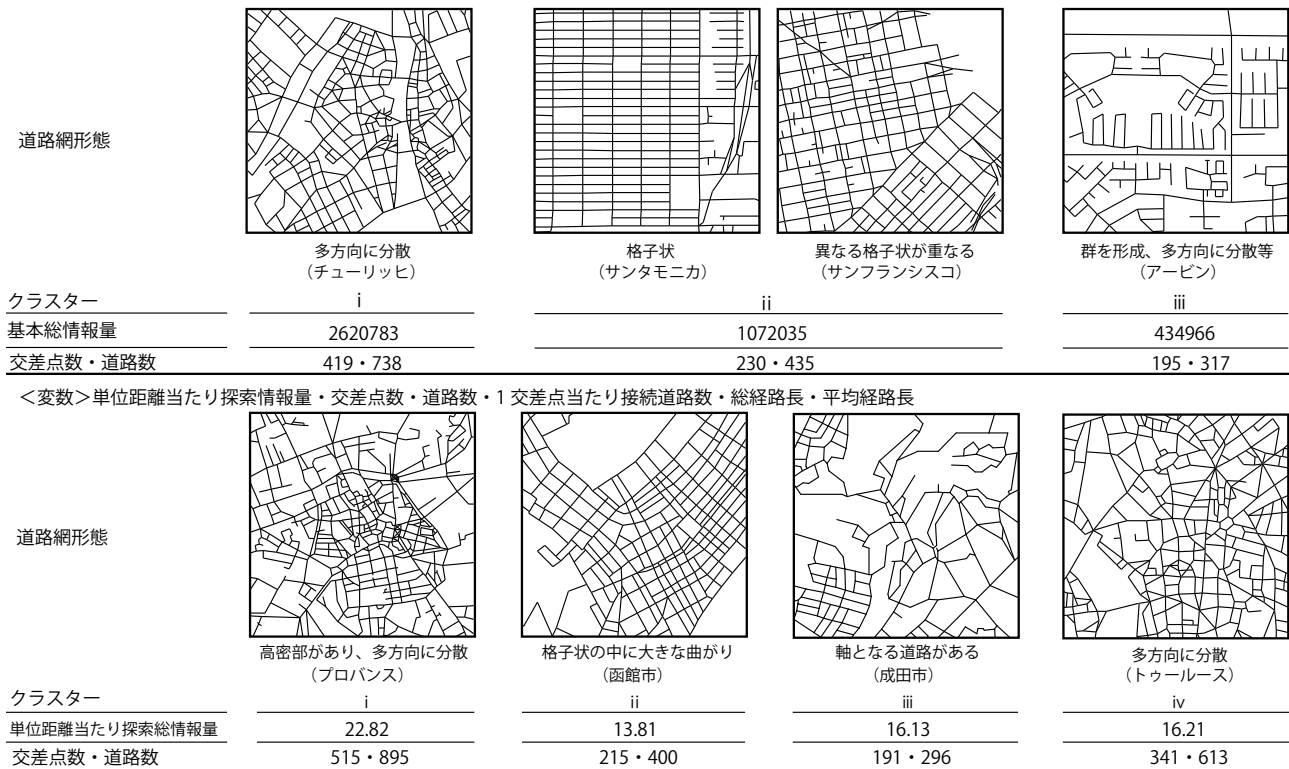


図6 クラスタリングの結果と道路網形態例

さらに、単位距離当たり探索情報量を加えた合計6つである。4つのクラスターに分類した。これらにも、同じクラスター内に異なる道路網形態がみられた。

i. 高密度部があり、多方向に分散する都市

1km当たりの経路探索の負荷が大きいクラスターである。また、交差点数・道路数は共に大きい。多くが高密度部があり多方向に分散するものであるが、格子状のものも含まれた。

ii. 格子状の中に大きな曲がりがある都市

1km当たりの経路探索の負荷が小さいクラスターである。交差点数・道路数は共にやや小さい。多くが格子状が大きく曲がるものであるが、多方向に分散するものも含まれた。

iii. 軸となるような道路をもつ都市

1km当たりの経路探索の負荷がやや大きいクラスターである。交差点数・道路数は共に小さい。軸となる道路があり、その軸から道路網が広がっている形態がみられた。

iv. 多方向に分散する都市

1km当たりの経路探索の負荷がやや大きいクラスターである。また、交差点数・道路数は共にやや大きい。多くが多方向に道路が分散しているものであるが、格子状のものも含まれた。

以上から、経路探索の際の負荷は、道路網が多方向のものは大きくなり、軸があるものや格子状のように

方向の少ないものは小さくなるという大まかな傾向が明らかになった。さらに、道路網形態は異なっても、経路探索に必要な情報量という観点からは同様であるものがあり、単純な構造と多方向に分散するような道路網の経路探索に必要な情報量は必ずしも異なるわけではなく、道路網形態と経路探索に必要な情報量には強い関係がないことが明らかとなった。

5. 終わりに

本研究では、「基本情報量」及び「探索情報量」を様々な都市道路網で解析することで、経路探索に必要な情報量の特徴を把握し、さらに各道路網形態との関係性に対する知見を得た。今後、より多くの様々な都市道路網形態で情報量を解析することで、経路探索の際に必要な情報量と道路網形態との特性を明らかにし、都市計画の際の助力としたい。

参考文献

- 1) 坂本夏絵,「情報量を用いた道路網レジビリティに関する研究」,九州大学 修士論文, 2003年
- 2) 吉原洋,「道路網における分かりやすさの指標としての探索情報量に関する研究」,九州大学 卒業論文, 2004年
- 3) 山本直英, 岡部篤行,「曲線通路における方向判断についての実験による分析」,日本建築学会計画系論文集, 第559号, pp165-170, 2002年