

日本都市道路ネットワークの複雑さの変化に関する研究

—経路探索に必要な情報量を用いて—

高 翰元

1. 研究の背景と目的

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、分かりやすい都市であることが重要である。人々は都市での移動において、周辺環境から情報を得たうえで行動していると考えられるが、近年特に都市圏において、開発による物理的環境の変化が激しさを増し、その都市に慣れ親しんだ者さえ、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の変動が激しく、不確かなものとなった今、道路網の経路探索に必要な情報の量を分析することにより、都市の複雑さを把握することが重要となっている。

現在の日本都市の道路網は、城下町をはじめとした近世以前に発達した道路網が骨格となっているが、その複雑さは時代により大きく変化してきた。例えば戦国時代には、軍事的な理由により道路を意図的に折り曲げ、容易に直進ができないような複雑な道路網が形成されるということが見られる。また、近代化が進むにつれて、街を効率的に発展させるため、合理的で分かりやすい道路網が形成される、というように、道路網の形成要因は時代背景によって異なり、それに伴って道路網の複雑さも変化してきたと考えられる。現在の道路網は、様々な時代の道路網が断片的に集まってできたものであり、道路網の複雑さの変化を明らかにすることは、現在の道路網の成立背景を明らかにするとともに、分かりやすい道路網の形態について考察するうえでも重要である。

本研究では、道路網の複雑さとその変化に着目し、情報理論を援用したネットワーク解析を行うことで、道路網の複雑さの変化を明らかにすることを目的とする。

2. 道路ネットワークの複雑さと情報量

2-1. 情報理論の考え方

道路網の複雑さを測る指標として、情報理論を用いた方法がある。これは、都市の道路網において経路探索に必要な情報の量というものを定義し、道路網上の全ての経路に対して情報量を算出することで、その道

路網が持つ複雑さを表現しようとするものである。以下にその定義と算出方法を説明する。

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う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、

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

と定義する。この情報量 K を道路網の総情報量とする。

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. 経路探索に必要な情報量

現実の状況を考えると、人が道路網を利用する際、

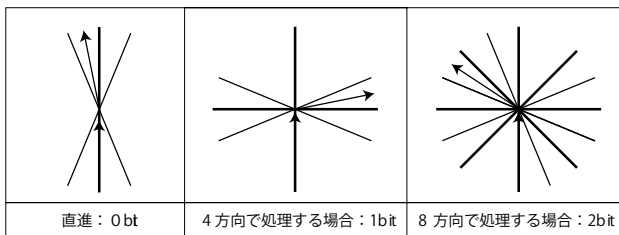


図1 方向変換における情報負荷

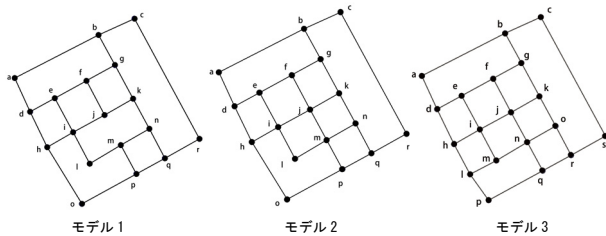


図2 簡易モデル

表1 簡易モデルの情報量

モデル	ノード数	リンク数	総リンク長	総情報量		平均各点情報量
				全ての最短経路の情報量の総和	各交差点の情報量の平均値	
モデル1	18	23	19,015	84,688	1.29	
モデル2	18	24	20,963	90,817	1.35	
モデル3	19	26	17,750	119,381	1.39	

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。

平均各点情報量は、ノード数が異なる道路網においても複雑さが比較できるように、道路網の各交差点で発生する情報量の総和を道路網のノード数で除した数値である。この数値により、時代による道路網の複雑さを比較する。

2-4. モデルによる検討

道路網の形態が変化することにより、算出される情報量がどのように変化するかを明らかにするため、簡単なモデルを用いて分析した(図1、表1)。

モデル2はモデル1よりリンクを一つ増やしたものである。変化率指標にはあまり変わらない、モデル3

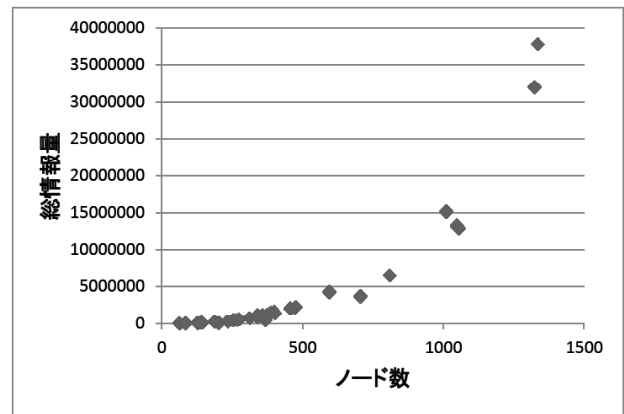


図3 ノード数と総情報量

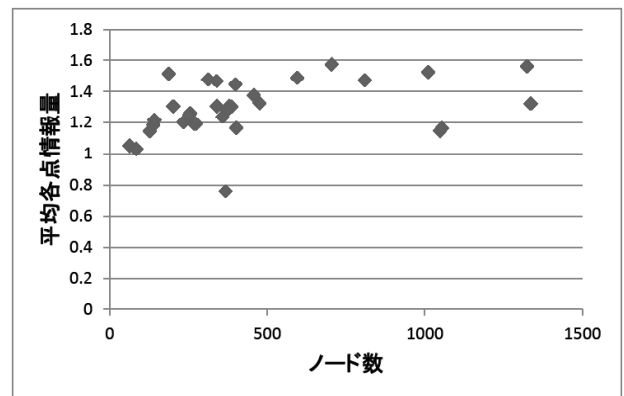


図4 ノード数と各点平均情報量

はモデル2より、リンクとノード数は各一つ増やしたものである、結果はたいそう変化した。

3. 算出結果と時代ごとの情報量の比較

3-1. 対象都市と年代

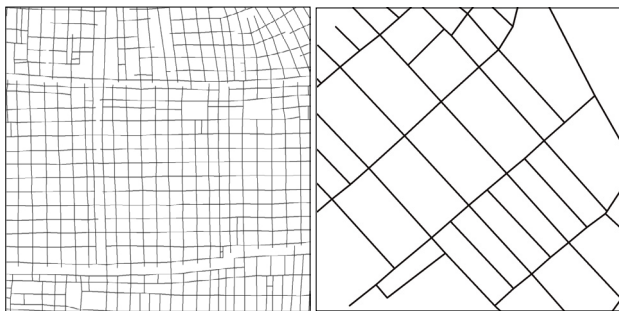
国内の11都市(大阪、京都、奈良、仙台、名古屋、佐賀、金沢、長崎、博多、広島、神戸)を対象地として選定し、それぞれ戦国時代(15世紀末期-17世紀初)、明治・昭和時代(1700-1900)、昭和前期()の三つの時代の道路網についてネットワークを作成し、情報量を算出した。対象範囲は都市重要道路と城下町に中心とし、2km×2kmの範囲とした(博多・長崎は明治時代前にはほとんど発展しなかったため、800m×800mの範囲とした)。ネットワークの作成には○○地図を用いた。

3-2. 総情報量と平均各点情報量

総情報量は、道路網そのものもつ情報量の総和であり、直観的に道路網全体的な状況を表せることができるが、道路網のノード数が増えるにしたがって単純に増加する(図3)。一方、平均各点情報量は、各交差点における情報量の平均値であり、ネットワークのノード数による影響がなく、ノード数の異なる道路

表 2 戦国時代の各都市の情報量

戦国時代	ノード数	リンク数	総情報量	
			全ての最短経路の情報量の総和	平均各点情報量
大阪	705	1149	3,668,054	1.58
仙台	476	648	2,246,982	1.32
名古屋	457	656	2,042,930	1.37
佐賀	268	330	533,796	1.19
金沢	1048	1259	13,313,034	1.15
長崎	202	283	86,405	1.30
博多	63	77	15,380	1.05
広島	402	500	1,431,294	1.17
京都	188	306	268,357	1.51
奈良	234	293	328,781	1.20
神戸	—	—	—	—



最大：大阪 最小：博多

図 5 戦国時代の道路網例

網を比較することができる。

3-2. 戦国時代の情報量比較

表 2 の分析結果を見ると、大阪が最も平均各点情報量の高い道路網を形成し、比較的ノード数の低い京都もそれに次ぐ平均各点情報量であった。仙台と名古屋はノード数やリンク数が近く、情報量もほぼ同じ値となった。一方、ノード数が他都市に比べて非常に高く発展した道路網である金沢では、その平均各点情報量は 2 番目に低い値となった。

3-3. 明治時代の情報量比較

表 3 に示すように、明治時代において平均各点情報量の最も高い数値は名古屋であり、ノード数は戦国時代より低くなった。大阪は、ノード数と総情報量が増えたが、平均各点情報量が減った。広島はノード数が減ると共に総情報量が減少し、また明治時代において平均各点情報量は最も低い都市となった。

全体的に見ると、戦国時代より、平均各点情報量は減少した都市が多く、全体的に道路網の複雑さは減少したといえる。

3-4. 昭和前期の情報量比較

表 4 の結果を見ると、多くの都市でノード数が増え、道路網は明治時代より発展したといえる。平均各

表 3 明治時代の各都市の情報量

都市	ノード数	リンク数	総情報量	
			全ての最短経路の情報量の総和	平均各点情報量
大阪	810	1267	6,473,568	1.47
仙台	255	350	490,988	1.26
名古屋	312	479	753,650	1.48
佐賀	274	338	563,450	1.19
金沢	1054	1278	12,982,427	1.16
長崎	139	184	109,057	1.18
博多	85	102	32,317	1.03
広島	368	354	493,637	0.76
京都	340	527	1,123,498	1.47
奈良	380	512	1,248,927	1.31
神戸	358	475	1,150,838	1.24

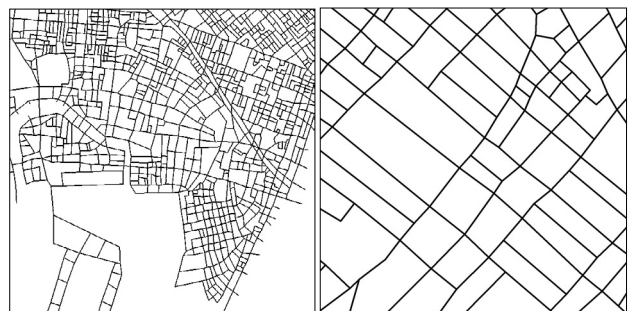


最大：名古屋 最小：広島

図 6 明治時代の道路網例

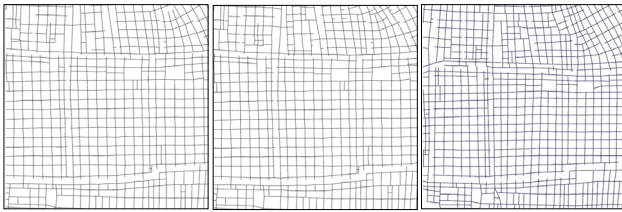
表 4 昭和初期の各都市の情報量

都市	ノード数	リンク数	総情報量	
			全ての最短経路の情報量の総和	平均各点情報量
大阪	1011	1625	15,155,714	1.53
仙台	253	344	482,029	1.25
名古屋	596	911	4,236,513	1.49
佐賀	340	460	885,375	1.31
金沢	1336	1806	37,761,231	1.32
長崎	142	190	111,505	1.22
博多	128	164	83,588	1.14
広島	387	526	1,479,758	1.30
京都	399	605	1,572,542	1.45
奈良	373	501	1,170,693	1.28
神戸	1324	2053	31,969,633	1.56

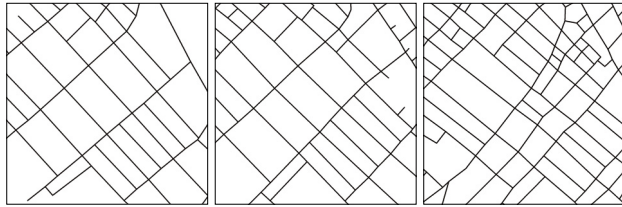


最大：神戸 最小：博多

点情報量は増える都市が多い。その中でも、神戸は平均各点情報量が最も高い数値を示し、総情報量は 2 番



平均各点情報量：戦国 1.575 明治 1.472 昭和 1.525
 図 7 大阪経年変化



平均各点情報量：戦国 1.052 明治 1.03 昭和 1.143
 図 8 博多経年変化



平均各点情報量：戦国 1.167 明治 0.76 昭和 1.3
 図 9 広島経年変化

目に多く、複雑な道路網となった。金沢は総情報量が高いが、平均各点情報量はノード数の少ない佐賀や広島に近い数値が算出された。

4. 各都市の情報量の変化

4-1. 類型ごとの考察

(城下町) 例：大阪

大阪は城下町として、道路網ネットワークの変化は図 10 と図 11 で見える。大阪の総情報量は、一番高くなる時代は昭和であり、変化の量も多い。明治時代には、平均各点情報量が低くなり、道路網の複雑さは戦国から明治にかけて減少したのち昭和に入り再び増加したといえる。

(港町) 博多

図 11 を見ると、戦国から明治にかけての平均各点情報量はあまり変化していないが、昭和に大きく増加した。また、総情報量も数倍に増えている。

(門前町) 広島

表 3 と表 4 を見ると、広島ノード数は、明治時代と昭和時代がにはあまり変化が見られないが、平均各点情報量は明治時代に大きく減少したのち昭和には増加した。

4-2. 情報量変化の傾向

全体的にみると、各都市類型によって、道路網ネッ

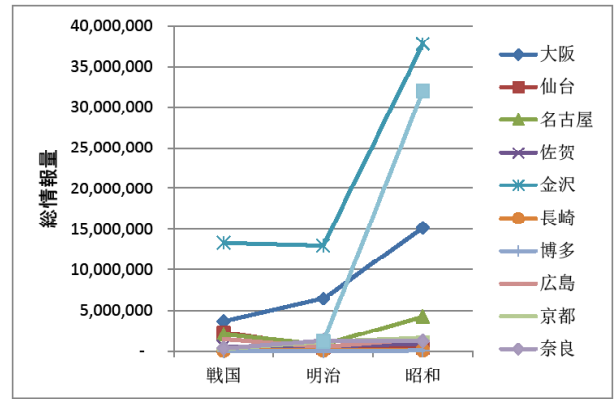


図 10 総情報量の変化

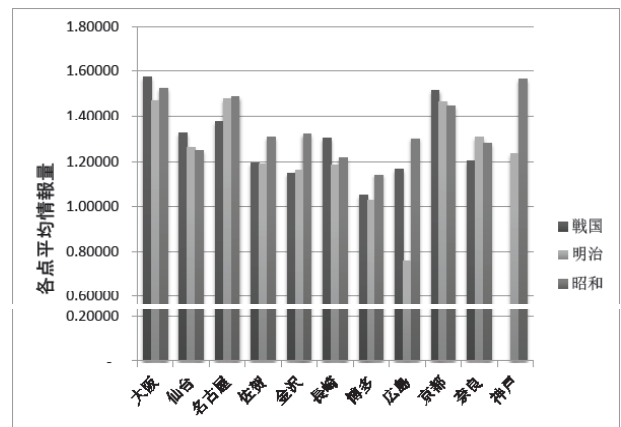


図 11 各点平均情報量の変化

トワークの複雑さの大部分が明治時代には減少し、昭和時代には増加したという傾向がみられる。城下町では、他都市類型と比べ、最も発展した時代は昭和であり、変化の量は低い。奈良は寺町であるが、都市道路網ネットワークはほとんどと発展しておらず、平均各点情報量を見ると、明治時代には微増した。港町である長崎と博多は、時代によって複雑さの変化が異なることを分かった。近世以降に発展した神戸は、明治から昭和にかけての道路網の複雑さの変化が非常に大きい結果となった。

5. 終わりに

以上によって、情報量を用いて道路ネットワークの複雑さを定量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道路網経年変化に適用した結果、指標の妥当性及び適用性が示された。

参考文献

- 1) 図集日本都市史：東京大学出版社、1993年
- 2) 城下町の類型：都市史研究会編、山川出版社、1994年
- 3) 日本城下町繪圖集：昭和礼文社、1980年
- 4) 日本都市地図集成：柏書房、1987年
- 5) 坂本夏絵、「情報量を用いた道路網レジビリティの解析に関する研究」、九州大学修士論文、平成15年
- 6) 河村光展、「経路探索における情報量の都市間比較研究」、九州大学修士論文、平成21年