

ネットワーク評価手法への グラフ理論の適用

高梨 敬子

1. はじめに

都市内の道路は、交通機能のみではなく沿道の土地施設へのアクセスとしての機能や、都市のオープンスペースとしての都市環境保全機能、あるいは街区構成と市街化の誘導機能、また上下水道等都市施設の収容空間としての機能をもつなど、公共空間としての役割を有している。都市における道路網の整備に際しては、これらの機能のうち交通機能に重点がおかれ、その効率化をはかること、すなわち、いかにして速く目的地へ到着しうるかに重点がおかれている。しかしながら今日の複雑な都市システムを考えると、道路は単に線形のつながりとしてばかりでなく、多くの結節点をもった網としてとらえ、交通機能の効率化のみではなくアクセス機能や環境保全機能をも主要な目的として考えるべきである。とりわけ都市内居住者の生活にとって道路網は「どんなところからでもどこへでも行くことができる」ことや、「いろいろな場所で目的を果たしながら行くことができる」、「いろいろな経路を選べる」こと等の機能が要求される。本稿はこのような観点から街路網を評価することを目的とする。

2. 方法

道路網の諸特性を明確に抽出することは、煩雑

な作業をとめないデータ数も多くなる。いかなる道路網が配置パターンとして望ましいかという点や地点間の連結の具合はどうかという問題を分析する手法として、グラフ理論による研究成果があるが、本稿は複雑な道路網を単純化し、その構造を分析し交通計画へ適用しうる手法を探すための基礎的研究である。グラフ理論を用いて道路網を記述することは、道路網を1つのグラフとして理念化することであり、トポロジー的な構造特性を把握することである。

(1) 対象道路網

分析を進めるに当たり、数種の代表的パターンを選出し基礎的考察を行なった。代表的道路網の選出には道路網の発展段階を考慮した。道路網の基礎的パターンとしては放射環状型、格子型、梯子型、斜線型〔1〕等があるが、本分析に当ってはこの4類型を基本にして、次の条件から道路網パターンを設定した。道路網パターンは比較可能なように①ノードの数を一定にする②ネットワークの形を一定にする。という条件のもとで整備段階別に④放射状道路網に内外環状道路が整備されていくパターン8類型(図1)、②十字型道路が放射状に整備され、内外環状道路が整備されていく過程のパターン4類型(図2)を設定した。

(2) 方法

道路網の評価を「短い距離でどこへでも行くことができる」、「地点間はどこにでも到達可能」という点に着目すると、これは道路網としては「最

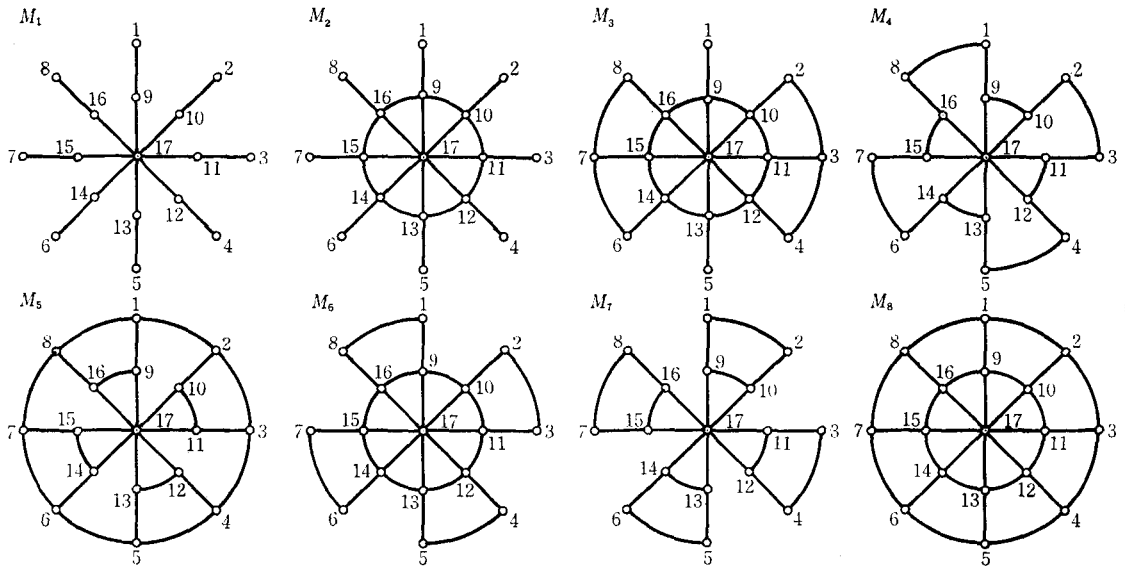


図 1 放射状道路+内外環状道路の発展型

短経路の距離はどれだけ短いか一道路網の到達性」と「最短経路の代替ルートはどれだけ多く存在するか一代替性」という問題に置き換える。そこで到達性を説明する手法としてショーテストパスの距離を、代替性を説明する手法としてショーテストパスの本数による評価を行なう。

次に「地点間はどこにでも到達可能」と「同一地点間でどれだけ多くの経路を選べるか一選択性」という問題に置き換える。この事項を評価する手法として、道路網の変化や新しいリンクの追加の影響については評価しないという条件と、重複する経路については解釈がむずかしくなるので考慮しないという条件を入れると、道路網のマトリックス表示として、定向パスマトリックスが

利用可能である。道路網の到達性については定向パスの経路の種類で評価を行なうことができる。代替性および選択性の評価を迂回路の本数と各ノードの利用される頻度により評価を行なう。本稿は特に道路網の代替性評価とノードの利用頻度について評価する。

以下フローにしたがい手法の説明を行なう。

①ショーテスト・パスマトリックス

このマトリックスは諸ノード間の最短経路のみを算出する。マトリックスの元は i, j 間の最短経路のリンク数である。すべての元のうち最大のもは道路網の直径を表わしている。

②最短経路の本数

ショーテストパスの本数すなわち任意の2ノ-

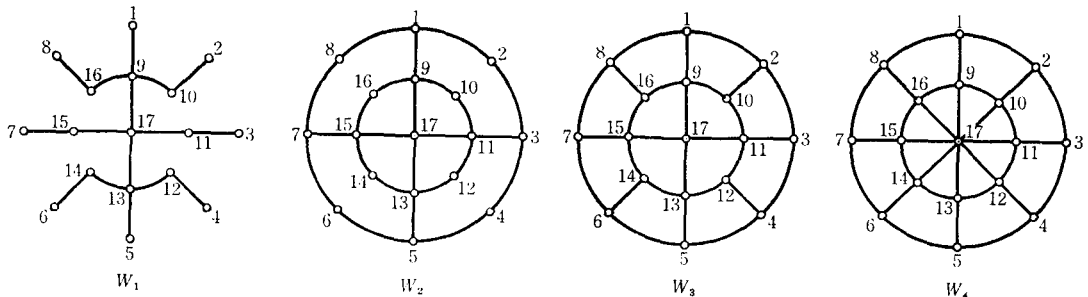


図 2 十字型道路+内外環状道路の発展型

ド間の最短経路の本数

③ 定向パスマトリックス

定向パスマトリックスはノード i, j 間の重複しないパスをすべて算出する。このパスの最短のものは最短経路である。定向パスは次式で表わされる。

$$(ab)(bc)(cd)\dots(yz) = (abcd\dots yz)$$

ただし (ab) はノード a から b へのリンクを示す。 $a \times b \times c \times \dots \times y \times z$

3. 道路網の評価手法

3.1 道路網の代替性評価

「どこにでも行くことができる」という点から道路網を評価する。すなわち道路網の代替性を最短経路の本数と迂回路の本数によって評価する。

(1) 最短経路の本数

「最短経路でできるだけ多く行くことができる」という点から代替性を評価するために最短経路の本数を計算する。十字状道路パターン¹⁾の発展型 $W_1 \rightarrow W_2 \rightarrow W_3 \rightarrow W_4$ では最短経路の本数は内外環状道路整備+放射状道路未整備の W_3 が一番多く、ついで内外環状整備済+十字道路の W_2 である。すなわち $W_3 > W_2 > W_4 > W_1$ である。これは道路網の直径が W_1 では4、 W_2 では5、 W_3 では6、 W_4 では4であり、道路網としては W_4 の内外環状+放射状道路整備済のほうが複雑であるが、最短経路による距離が W_3, W_2 のほうが大きいことにより(すなわち到達性がよくない)最短経路の本数が多くなっている。 W_1 は代替経路がない道路網であり、 W_2 は最短経路の代替路が内環状が整備されたことにより増大し、最短経路で全ノードを1回だけ廻るとき一番時間のかかる道路網であるが、各ノードからの最短経路の代替性は一番高い。 W_4 は放射環状の整備されたパターンであり、最も短い時間ですべてのノードに到達しうる道路網であり代替性も高い。

放射状道路に内外環状道路が整備されていく発展パターンである $M_1 \sim M_8$ の評価を行なう。道路

表 1 代替経路の本数

道路網	ショーテストパス SP	定向パス DP	SP-DP
M_1	272	272	0
M_2	336	8,336	8,000
M_3	380	59,748	59,368
M_4	352	80,416	80,064
M_5	384	49,312	48,928
M_6	288	2,608	2,320
M_7	304	9,512	9,208
M_8	432	626,048	625,616
W_1	272	272	0
W_2	528	2,352	1,824
W_3	816	178,432	177,616
W_4	432	626,048	625,616

網の直径はすべて4である。すなわちどの道路網も到達性は等しい。放射状道路のみが整備された M_1 は最短経路の代替路をもたない。 W_1 も M_1 もトリー構造であり代替経路は存在しない。最も代替性の高い道路網は内外環状+放射状道路網整備済の M_8 である。他は $M_8 > M_5 > M_3 > M_4 > M_2 > M_7 > M_6 > M_1$ である。 M_3, M_3 は外環状は未整備であるが内環状は整備された道路網である。 M_6 と M_5 では同じように内外環状が未整備であるが M_7 のほうが最短経路が多い。すなわちブロック化して整備していくよりも地点間をすべて結んでいくほうが代替性が高くなる。

(2) 定向パスの本数

最短経路以外の代替路(重複しない)を評価すると代替路の多い順に次の順位となる。 $M_8 > M_4 > M_3 > M_5 > M_7 > M_2 > M_6 > M_1$ である。このうち M_8 は他の道路網に比べて代替路が多い。放射状および内外環状道路の整備された道路網である。 M_5 と M_3 では同じように内環状が整備され、外環状は未整備であるが最短の代替路は多い。

すなわち未整備の外環状道路でも部分的に整備していくよりも連結して整備していくほうが、どこにでも、またいろいろの経路を使って到達可能になる。

迂回路の本数のみを評価の対象とすると、 $M_8 >$

表 2 ノード発着利用頻度回数

ノ ド	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	W_1	W_2	W_3	W_4
1	32	1012	6620	8850	6860	362	1204	77320	32	260	21696	77320
2	32	1012	8774	8850	6860	362	1204	77320	32	298	21162	77320
3	32	1012	7652	8850	6860	362	1204	77320	32	260	21696	77320
4	32	1012	8774	8850	6860	362	1204	77320	32	298	21162	77320
5	32	1012	6620	8850	6860	362	1204	77320	32	260	21696	77320
6	32	1012	8774	8850	6860	362	1204	77320	32	298	21162	77320
7	32	1012	7652	8850	6860	362	1204	77320	32	260	21696	77320
8	32	1012	8774	8850	6860	362	1204	77320	32	298	21162	77320
9	32	1012	6620	10800	5112	276	1112	74304	32	260	18068	74304
10	32	1012	6300	10800	5112	276	1112	74304	32	298	23402	74304
11	32	1012	7020	10800	5112	276	1112	74304	32	260	18068	74304
12	32	1012	6300	10800	5112	276	1112	74304	32	298	23402	74304
13	32	1012	6620	10800	5112	276	1112	74304	32	260	18068	74304
14	32	1012	6300	10800	5112	276	1112	74304	32	298	23402	74304
15	32	1012	7072	10800	5112	276	1112	74304	32	260	18068	74304
16	32	1012	6300	10800	5112	276	1112	74304	32	298	23402	74304
17	32	480	3272	3632	2848	112	496	39104	32	240	19552	39104
計	544	16672	119496	160832	98624	5216	19024	1252096	544	4704	356864	1252096

$M_4 > M_3 > M_5 > M_7 > M_6 > M_2 > M_1$ であり、最短経路も含んだ代替経路の本数と同じ順位である。

3.2 ノードの利用頻度

代替性の評価はノード i, j 間の全体の本数により道路網を評価しているために、途中その代替経路がどこを通るかを評価することはできない。そこでノードの利用頻度を測度としてノードの利用され方をノード i からの発地と着地においての利用と通過利用のされ方と両者の合計で評価する。

ノードの利用のされ方を発着、通過、総合的利用頻度から評価する。

①ノードの発着利用頻度

道路網別に最も利用頻度の高いノードは表 2 に示す。これらのノードの発着利用頻度から道路網の特徴を挙げると放射状道路未整備型 W_1 はすべてのノードが等しい発着利用頻度を示す道路網である。内外環状+放射状道路未整備型 W_3 は内環状上のノード 10, 12, 14, 16 が発着利用頻度の高い道路網である。 W_1 は外環状上のノードが発着利用頻度が高い。

放射上道路上の内外環状道路の発展段階別 (M_1

$\sim M_8$) に道路網を発着利用頻度で評価すると、 M_1 は W_1 と同様すべてのノードが等しい発着利用頻度を示す。 W_1 は放射状未整備道路網であり、 M_1 は放射状整備済道路ではあるがグラフ理論ではトリー構造であり、道路網の直径の長さも等しいから、道路網の発着利用頻度も等しい。次に M_2 は中心ノード以外のノードが等しい発着利用頻度をもつ。 M_5, M_6, M_7, M_8 は外環状上のノードが最も利用頻度が高い。 $M_1 \sim M_8$ で最も利用頻度の低いノードは中央のノード 17 であり発着回数が少ないことを示す。

②ノードの通過利用頻度

十字状道路網上の内外環状道路の整備段階別 ($W_1 \sim W_4$) の評価をノードの通過利用頻度別に行なうと、通過利用頻度の合計値の多い順に並べると $W_4 > W_3 > W_2 > W_1$ で内外環状道路が整備されていくにつれて通過利用頻度が増加する。次に放射状道路上の内外環状道路の整備段階別 ($M_1 \sim M_8$) 評価を行なうと $M_3 > M_4 > M_3 > M_5 > M_2 > M_6 > M_1$ である。概略的にはリンク数の多い道路網ほど通過利用頻度が多くなる。通過利用頻度の

表 3 ノード通過利用頻度回数

ノード	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	W_1	W_2	W_3	W_4
1	0	0	0	50906	14344	352	3802	376012	0	0	105724	376012
2	0	0	20082	50906	14344	352	3802	376012	0	0	110052	376012
3	0	0	32408	50906	14344	352	3802	376012	0	0	105724	376012
4	0	0	20082	50906	14344	352	3802	376012	0	0	110052	376012
5	0	0	0	50906	14344	352	3802	376012	0	0	105724	376012
6	0	0	20082	50906	14344	352	3802	376012	0	0	110052	376012
7	0	0	32408	50906	14344	352	3802	376012	0	0	105724	376012
8	0	0	20082	50906	14344	352	3802	376012	0	0	110052	376012
9	30	4538	34070	37268	32664	700	4938	404082	126	1450	128594	404082
10	30	4538	40126	37268	32664	700	4938	404082	30	1008	97596	404082
11	30	4538	37090	37268	32664	700	4938	404082	30	1450	128594	404082
12	30	4538	40126	37268	32664	700	4938	404082	30	1008	97596	404082
13	30	4538	34070	37268	32664	700	4938	404082	126	1450	128594	404082
14	30	4538	40128	37268	32664	700	4938	404082	30	1008	97596	404082
15	30	4538	37090	37268	32664	700	4938	404082	30	1450	128594	404082
16	30	4538	40126	37268	32664	700	4938	404082	30	1008	97596	404082
17	224	7392	52964	73560	43240	2400	8536	547856	176	1648	119792	547856
計	464	43696	500940	778952	419304	10816	78456	6788608	608	11480	1887656	6788606

多いノードは $W_1 \sim W_4$ においては W_8 を除くすべての道路網 $M_1 \sim M_8$ においてはすべての道路網で中心ノード17が通過利用されやすい。これらの特徴を分類すると、中心ノードが一番通過利用されやすく、次に内環状のノードが通過利用されやすいタイプの道路網として M_1, M_3 を除くすべての放射状道路 M_1, M_4, M_5, M_7, M_8 がある。これを道路網計画としてみると、放射状道路網に内外環状道路を整備していく時、市街地中心および内環状道路上の各ノードは道路網の構造から言っても通過利用されやすい。

③総合的利用頻度

発着利用頻度と通過利用頻度の両方からノードの利用され方を検討するために両指標を合計した総合的利用頻度により評価する。

$$GUM_i = ODM_i + PUM_i$$

GUM_i : 総合的利用頻度

ODM_i : 発着利用頻度, PUM_i : 通過利用頻度

総合的利用頻度によるノード別合計回数を順位づけてみると、その順位は通過利用頻度による評価と等しい。

次に発着利用頻度と通過利用頻度の両利用頻度がどのような割合で利用されノード別にどのような構成をとっているかをみる。

$$RODM_i = ODM_i / \sum_i GUM_i$$

$$RPUM_i = PUM_i / \sum_i GUM_i$$

$$RGUM_i = GUM_i / \sum_i GUM_i$$

ただし GUM_i : 総合的利用頻度合計, $RODM_i$

表 4 利用割合

ネット ワーク	ツウカ リョウ	ハッチ ャク リョウ
M_1	46%	54%
M_2	72	28
M_3	84	16
M_4	83	17
M_5	81	19
M_6	67	33
M_7	80	20
M_8	84	16
W_1	53	47
W_2	81	29
W_3	84	16
W_4	84	16

：発着利用頻度割合， $RPUM_i$ ：通過利用頻度割合， $RGUM_i$ ：総合的利用頻度割合

これらの利用頻度割合は総合的利用頻度割合，通過利用頻度割合はそれぞれかなりばらつくが，発着利用頻度割合に着目すると，大略次のように分類される。

○総合的利用頻度の合計に対して，各ノードが1%ずつ発着利用される道路網 M_8, M_4, M_3, M_5, M_7

○各ノードが2%ずつ発着利用される道路網 M_2, W_2, M_6 中心ノード17は1%利用される。

○各ノードが3%ずつ発着利用される道路網 M_1, W_1 これらはトリー構造をもつ。

次に道路網全体で全利用頻度に対して通過利用頻度および発着利用頻度がどのような割合で利用されているかをみると，総合的利用頻度の最大の道路網は M_8, W_4 で通過利用割合が84%，発着利用頻度割合が17%であり，各ノードの利用割合をみても均等に利用されている。 W_3 は各ノード間が均等に連結されているので，総合的利用頻度は W_1 に比べあまり高くないが通過利用割合が84%と高い。このように通過利用割合が高い道路網は短いパスから長いパスまでノードに偏りなく通

過させると考えられるのでノードの通過利用割合が高くなる。

4. おわりに

本稿は道路網の整備計画を考える時，単に効率性のみを考えるのみでなく，代替経路も機能として特に生活者にとって重要であることを前提とし代替経路を測る測度を考え，発展段階別評価を行った。その結果，道路網の構造的な特性から考えると，放射環状道路の整備に当っては放射状道路の中心ノードと内環状上のノードは通過利用されやすいこと。十字型道路においても中心ノードは通過利用されやすいこと。未整備の外環状道路において，整備段階を考えると部分的に別々に整備していくより，連結して整備していくほうがどこにでも，また種々の経路を使って到達可能な道路網となること等がわかった。

参考文献

- [1] 都市計画標準策定委員会：都市計画道路の計画標準，都市計画協会，昭和49年
- [2] 浅野光行，桐越 信：都市における道路網の整備水準評価，建築研究資料 No. 43

次号予告

年頭あいさつ	会長 横山 勝義	スーパーORからマイクロORへ	刀根 薫
特集 これからのOR		データの洪水，モデルの濁水	矢島 敬二
		もう一度初心に帰ろう	
(未定)	佐久間 孝	一学会の一層の発展のために	矢部 眞
ORの活性化	三根 久	専門家集団に閉じこもるな	沼田 久
使いやすいOR	森村 英典	ORの普及について	御園生善尚
(未定)	朝尾 正	大学教育におけるORの活用	本多 波雄
ORのジレンマ	伊理 正夫	ORのあらたな発展をめざして	長谷川利治
応用理計学・OR・運籌学	上田亀之助	(未定)	青木 兼一
これからのOR学会		ORのあいまいさと有限	須永 照雄
一公的地位の確立をめざして	小田部 齊	座談会 ORの旗を掲げよう	
ダボハゼORのすすめ	唐津 一	事例研究 東京ディズニーランドとOR	渡辺 哲也
OR活性化への提言	権藤 元	ニュース ビジネス・スクールとOR	西ヶ谷邦正