

都市高速道路における環状線整備の意義に関する考察*

Reasoning for the Development of Ring Road in City Expressway*

秀島 栄三**

By Eizo HIDEISHIMA**

1. はじめに

大都市圏の都市高速道路では環状線を整備することが一般的となっている。他方、一般幹線道路においても放射線と環状線で構成されることがあるが、これは都市空間の骨格形成としての役割を担うことが目的になっている。都市高速道路の環状線の場合は、およそいくつかの線状の路線が形成されるという過程を経た後に整備されているようである。すなわち一般幹線道路網とは違って都市内の交通需要の増大と密接な関わりをもっているといえる。

それでは、ある発達段階の高速道路網で環状線を整備することの意義は何か。以下ではいくつかの意義を想定し、一般的な条件におかれた道路網でそれらが正当化されるものか否かを簡単なモデルを用いることによって明らかにしたい。

2. 環状線整備の意義

(1) いくつかの意義

本研究では、環状線を整備する意義として次のことがあると考えた。

a. 全方面に対して代替経路を用意できる。交通需要の高まりに応じて様々なODに対して経路配分が実現されるだろう。(以下では、このような効果を配分効果と呼ぶこととする)ただしこの効果はロータリーのような一方通行の環状路では達成されない。

b. 災害による損壊や事故による部分的な通行止めにに対して代替路を用意できる。一種のリダンダンシー¹⁾といえる。(以下では、冗長化効果と呼ぶこととする)災害直後は全線通行止となるからこの効果は復旧途上の部分開通時にあてはまる。

c. 用地取得も含めて費用節約効果が期待される。環状路の容量に余裕がある限りは、極端ではあるが全てのODに対応して道路を整備するよりも少ない路線長で交通需要をさばくことができる。もちろんその一方で所定のODを直線的に走行できない、他の交通流と合わさって渋滞に巻き込まれるという理由によって所要時間が増大するというデメリットも考慮すべきであろう。

d. 大都市であることの誇示という意義も考えられる。推測の域を出ないが、環状線が整備されるのは交通需要に対応しているというより大都市が備えるべき魅力あるインフラとして認識されているためのようにも思われる。これについては環状線の存在自体を評価・計測するための枠組み、また計画策定に至った過程に関わる史実を明らかにすることが必要となろう。本稿では今後の課題としたい。

以上は都市高速道路に限ったものとはいえない。その他の交通体系における環状路線にも当てはまるものもあると思われるが、ここで交通体系間の違いを考察し、最終的には都市高速道路に絞って議論を進めることとする。

(2) 都市環状鉄道

環状線の整備は地下鉄等の都市高速鉄道においても見受けられる。発達途上に計画される場合が多く、都市高速道路と同様の背景をもっているものといえるだろう。ただし、都市高速道路は基本的に一企業体(公団・公社)が運営しているのに対して、鉄道網は、総合的に計画策定されるものの、複数の企業によって運営されている。このため受益構造は複雑になる。また道路とは異なり、列車運行の効率性も考慮にいれなければならないであろう。

(3) 環状幹線道路網

国土・地域レベルの道路体系においても環状網が計

* キーワード: 道路計画・計画手法論

** 正会員、博(工)、名古屋工業大学社会開発工学科

(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町、Tel & Fax 052-735-5586)

画されることがある。一般に道路網の発達途上で計画されるという点で都市高速道路と同様である。ただしそれらは環状線の役割をもつ一方で、個々の地域・地区において幹線道路としての役割も担っており、単に各ノード（例えば国土における一地域）をつなぐだけの意味合いにとどまっていない。また「外環状線」などと呼ばれる道路は都市内通過交通を排除するための迂回路の役割を担っており、必ずしも完全な環形である必要性は認められない。

3. モデル分析

(1) 配分効果に関する分析

本章では、中央に都心をもつ単純なモデル都市を想定し、都心周囲に環状線を整備した場合としない場合の便益比較を行う。

まず、都心部に、同一線上にない3つのノードをつなぐ環状線があるものと想定する。環状線を想定するためには3つのノードがあれば十分である。都市全体の発生交通は全て都心部において全てこの3つのノードのいずれかに到達し、それとは違うノードから出ていくものとする。したがって環状線には全部で6種類のODの組合せがある。

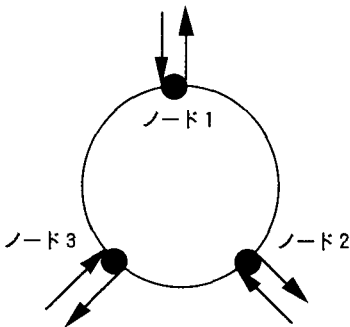


図1 モデル路線

交通の出発ノードを $i(i=1,2,3)$ 、目的ノードを $j(j=1,2,3, j \neq i)$ とする。 ij 間のOD交通量を Q_{ij} とする。各OD交通量に対する配分交通量を f_{ikj} とする。ただし、 $k(k=\phi, 1, 2, 3, k \neq i$ かつ $k \neq j)$ は経由ノードを表し、いずれのノードも通過しない場合、 $k=\phi$ と表す。またノード $s(s \in S/S=\{1, 2, 3\})$ からノード

$t(t \in S, t \neq s/S=\{1, 2, 3\})$ のリンク交通量を x_{st} とする。 ij 間の所要時間を m_{ij} で表す。等時間配分原則をとるものとすれば、経路配分上の均衡条件は次の通りである。

$$U_{ij}(m_{ij}) = U_{ij}^*, \text{ if } f_{ij} \geq 0 \quad (1a)$$

$$U_{ij}(m_{ij}) \leq U_{ij}^*, \text{ if } f_{ij} = 0 \quad (1b)$$

$$Q_{ij} = \sum f_{ikj} \quad (2)$$

$$f_{ikj} \geq 0 \quad (3)$$

$$x_{st} = f_{ij}(i \in S, j \in T) + f_{ikj}(k \in S, j \in T) + f_{ikj}(k \in S, j \in T) \quad (4)$$

$$x_{st} \leq C_{st} \quad (5)$$

ただし、 U_{ij}^* は均衡効用水準を、 C_{st} はリンク st の容量制約を表す。

ここでは混雑による時間損失のみを考慮し、効用関数を次のように特定する。

$$U_{ij} = y - m_{ij} \quad (6)$$

ただし、 y はある正数である。

所要時間は経由リンクの交通量に依存する。

$$m_{ij} = a \sum (x_{st}^b) \quad (7)$$

ただし、 $a > 0, b \geq 1$ である。

表1 環状路の均衡経路配分

OD	Qij	直行	迂回	Qij	直行	迂回	Qij	直行	迂回
12	100	67	33	100	81	19	100	100	0
13	0	0	0	50	50	0	100	100	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	93333			138462			180000		
OD	Qij	直行	迂回	Qij	直行	迂回	Qij	直行	迂回
12	200	133	67	100	100	0	100	75	25
13	0	0	0	100	100	0	0	0	0
21	0	0	0	100	100	0	0	0	0
23	0	0	0	100	100	0	100	75	25
31	0	0	0	100	100	0	0	0	0
32	0	0	0	100	100	0	0	0	0
W	173333			540000			185000		
OD	Qij	直行	迂回	Qij	直行	迂回	Qij	直行	迂回
12	300	200	100	400	267	133	100	80	20
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	100	80	20
31	0	0	0	0	0	0	100	80	20
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W	240000			293333			276000		

以上の仮定の下で様々なODパターンに対して均衡状態を調べてみよう。表1に各ODパターンでの配分結果と社会的厚生 $W (= \sum Q_{ij} U_{ij}^*)$ を示す。ただし、 $y=1000$ 、 $a=b=1$ とし、いずれのリンクの容量も等しく、十分にあるものとする。3ノードのグラフでは2経路しかないため、表中ではそれらの2経路を直行・迂回と記した。同一リンクを共有しあうODの組合せが増えるほど、それぞれのOD交通は複数経路に分散しなくなるのがわかる。

以上の結果を一部のリンクがない場合と比較してみよう。ここでは、リンク23が整備されていない場合について結果を示す。一本のリンクがなくてもOD交通は全て達成されるが、いずれにおいても環状路が用意されている方が社会的厚生が高まる。

表2 リンク23がない場合との厚生水準の比較

	環状	23通行止	環状	23通行止	環状	23通行止
OD	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}
12	100	100	100	100	100	100
13	0	0	50	50	100	100
21	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0
W	93333	90000	138462	132500	180000	170000

	環状	23通行止	環状	23通行止	環状	23通行止
OD	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}
12	200	200	100	100	100	100
13	0	0	100	100	0	0
21	0	0	100	100	0	0
23	0	0	100	100	100	100
31	0	0	100	100	0	0
32	0	0	100	100	0	0
W	173333	160000	540000	500000	185000	180000

	環状	23通行止	環状	23通行止	環状	23通行止
OD	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}
12	300	300	400	400	100	100
13	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	100	100
31	0	0	0	0	100	100
32	0	0	0	0	0	0
W	240000	210000	293333	240000	276000	270000

表には示していないが、一部のODでは環状路があることによって効用が低下する場合もある。特定箇所にはボトルネックが生じるような状況ではあらゆる通過交通が渋滞に巻き込まれることになる。その場合はさらに局所的に車線数を増やす、あるいは個別に道路を

整備する必要があるだろう。

次にパラメータの影響を分析する。混雑の影響がさらに強く現れるように $b=1.2$ として各ODパターンの配分結果を $b=1.0$ の場合と比較する。

表3 $b=1.2$ とした場合との厚生水準の比較

	b=1.0	b=1.2	b=1.0	b=1.2	b=1.0	b=1.2
OD	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}
12	100	100	100	100	100	100
13	0	0	50	50	100	100
21	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0
W	93333	85282	138462	122750	180000	149762

	b=1.0	b=1.2	b=1.0	b=1.2	b=1.0	b=1.2
OD	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}
12	200	200	100	100	100	100
13	0	0	100	100	0	0
21	0	0	100	100	0	0
23	0	0	100	100	100	100
31	0	0	100	100	0	0
32	0	0	100	100	0	0
W	173333	132375	540000	449287	185000	165567

	b=1.0	b=1.2	b=1.0	b=1.2	b=1.0	b=1.2
OD	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}	Q _{ij}
12	300	300	400	400	100	100
13	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	100	100
31	0	0	0	0	100	100
32	0	0	0	0	0	0
W	240000	134992	293333	89278	276000	243996

(2) 冗長化効果に関する分析

前述の配分効果は、複数の経路が常に選択可能であることによって利用者に便益をもたらすものであるが、環状であれば災害あるいは事故によって一部の経路が失われてもなお交通需要が満たされることの効用もあるだろう。災害・事故の発生確率は交通システムに対して外生的だが、これによって均衡状態が異なり、利用者の効用値が変化することまで考慮にいれなければならない。すなわち全ての起こりうる状況を確率的に考慮した期待効用を考える²⁾。利用者の期待効用 EU は各状況の生起確率を $p_g (g=1, 2, \dots, \theta)$ とし、その状況における効用を U_g とすれば、

$$EU = \sum p_g U_g \quad (8)$$

$$\sum p_g = 1 \quad (9)$$

である。ここで起こりうる状態 g は、環状線で選択しうる 2 経路のうち 2 経路ともに通行止めとなる場合 ($g=X$)、1 経路のみ通行止めとなる場合 ($g=0$)、いずれも通行止めとならない場合 ($g=B$) の 3 種類である。なお災害の現実的場面を想定し、震源や火災発生箇所から遠い方の経路が通行止めとなる場合には必ず近い方も通行止めになっているものとの仮定をおく。

環状路が整備されている場合の期待効用を EU_{belt} 、整備されていない場合の期待効用を EU_{no} とすれば次のように定式化できる。

$$EU_{belt} = p_1 U_B + p_2 U_0 + p_3 U_X \quad (10)$$

$$EU_{no} = p_4 U_0 + p_5 U_X \quad (11)$$

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1 \quad (12)$$

$$p_4 + p_5 = 1 \quad (13)$$

ここで一定の規模の災害が発生したときに災害源に近い側の経路が通行不能になる確率を q_1 とし、さらに遠い側の経路も通行不能となる確率を q_2 としよう。ただし、 $0 < q_2 < q_1 < 1$ とする。このときそれぞれの確率 $p_g (g=1, 2, \dots, 5)$ は次のように表せる。

$$p_1 = 1 - q_1 \quad (14)$$

$$p_2 = q_1 - q_2$$

$$p_3 = q_2$$

$$p_4 = 1 - q_1$$

$$p_5 = q_1$$

$EU_{belt} - EU_{no}$ にこれらを代入し、整理すると次のようになる。

$$EU_{belt} - EU_{no} = (1 - q_1)(U_B - U_0) + (q_1 - q_2)(U_0 - U_X) \quad (15)$$

既述の分析結果によれば $U_B \geq U_0$ であり、また明らかに $U_0 \geq U_X$ であるから、 $EU_{belt} - EU_{no} \geq 0$ となる。すなわち環状路は環状になっていない場合よりも期待効用を高めるものであるといえる。どれだけの効果があるかは確率 q_1 、 q_2 、効用値に依存して決まる。本稿でこれらの計算は省略することとする。

(3) 費用節約効果に関する分析

上記 (1) と同程度の便益を発生させるために各 OD ごとに道路を建設するならば、都心部でもあることから費用は多大となるだろう。結論はほぼ自明であり、本稿では数量的な分析を割愛する。

(4) 効果計測法に関する考察

近年、あらゆる公共事業の実施に対して費用便益分析を行うことが要請されている。他方、道路網の発達過程において後発の新線になるほど従来以上の便益を期待することは難しくなる。一般的な費用便益分析の枠組みでは、新線が整備された場合、末端の先で誘発される新規需要を考慮に入れる場合もあるが、基本的には新線沿線の利便性の向上を評価している。他の路線の利便性向上に与える影響も考慮されない。したがって環状線整備に沿線以外への効果があるとするならば一般的な費用便益分析では考慮されないこととなる。これに対してこれまでの分析によれば、環状線は、その他から流入する交通に対して新しい便益を付与するとともに、上述の冗長化効果をふまれば防災投資等と同様にそのオプション価値³⁾が評価されてよいといえるだろう。

4. おわりに

本研究ではミクロ経済学に立脚した単純なモデルによって都市高速道路に環状線を整備することの意義を検討した。分析モデルの枠組みは新しいものではないが、ほぼ慣行的になされている道路整備の手法について本来的意義を探ってみた。政策変数として道路容量を変更することも考えられるし、また特に建設費用などを考慮する場合には空間尺度（各リンク長など）を明示したモデルにする必要も出てくるだろう。本稿では、モデル分析によって基本的に 2 種類の意義が認められることを明らかにしたが、いずれの意義についてもモデル分析のみならず実証的な検証、また実際に環状線の計画策定に至った場面の諸事実関係を明らかにする必要があると考えている。

参考文献

- 1) 寺田健児・青山吉隆：幹線道路網におけるリダンダンシーモデルと災害時対策評価法，土木計画学研究・講演集 20，pp.487-490，1997.
- 2) 太田勝久・安野貴人・小林潔司：混雑料金の経路交通需要に及ぼす情報効果に関する研究，土木計画学研究・講演集 20，pp.275-278，1997.
- 3) 森杉壽芳：社会資本整備の便益評価，勁草書房，1997.