環状道路の形状パターン分類と θ形状ネットワークの適用可能性について

吉沢　仁[1]・野中　康弘[2]・石田　貴志[2]・葛西　誠[3]・浜岡　秀勝[4]

[1] 正会員　国土交通省東北地方整備局秋田河川国道事務所（〒010-0951 秋田県秋田市山王一丁目 10-29）
E-mail: yoshizawa-h8310@mlit.go.jp

[2]正会員　株式会社道路計画（〒170-0013東京都豊島区東池袋2-13-14マルヤス機械ビル5F）
E-mail: y_nonaka@doro.co.jp，t_ishida@doro.co.jp

[3]正会員　秋田工業高等専門学校創造システム工学科（〒011-8511 秋田県秋田市飯島文京町1-1）
E-mail: kasai@akita-nct.ac.jp

[4]正会員　秋田大学 理工学部システムデザイン工学科（〒010-8502 秋田市手形学園町1番1号）
E-mail: hamaoka@ce.akita-u.ac.jp

「2040年，道路の景色が変わる」による「人々の幸せの実現」を目指す道路整備や，改正道路法のもと創設された歩行者利便増進道路といった新たな道路施策が打ち出されている．地方中核都市でこのようなみちづくりを実践するためには，環状道路の整備による都心部に無用な通過交通の排除が必要不可欠であるが，環状道路の形状によっては期待した効果が発揮されないケースもある．本研究では，環状道路を実態に即した楕円形状でパターン化し，楕円弧上の移動経路と楕円中心を経由する移動経路の移動時間を比較することで，環状道路の迂回機能を評価する手法を検討した．また，環状道路が機能する基本的な条件を考察するとともに，効果が得にくい形状パターンにおいて，都心部を通過する道路をもつ「θ形状」の環状道路ネットワークの適用可能性について提案する．

Key Words: *Road Network Planning, Hierarchical Road Classification, Ring Road*

1. はじめに

国土交通省では，新広域道路交通計画の策定[1]と並行し，「2040年，道路の景色が変わる」[2]との提言による人々の幸せにつながる道路を目指す取り組みを行っている．これらの政策を視野に，例えば，秋田県では秋田港から秋田自動車道へのアクセス性を向上させるため，秋田港と秋田北ICを結ぶ延長約6kmの秋田港アクセス道路の事業に着手している[3]．提言では，今後20年間の道路政策の方向性に関するビジョンが示され，道路政策の原点を「人々の幸せの実現」と定義し，道路が社会や経済に果たす役割は，車の円滑な通行だけではなく，地域が安全・安心で活気に満ち，人々が幸せになることが重要であるとの観点から，昔の井戸端会議のような交流の場に回帰さる方向性も示されている．

更に，現在，ポストコロナの新しい生活様式や社会経済を支えるため「持続可能な国土幹線道路システムの構築に向けた取組」の中間とりまとめ[4]が公表された．ここでは，国土幹線道の必要性だけでなく観光振興に寄与するラストマイルの機能強化や人と環境にやさしい道路の利活用として，道路の機能分化に留意し，歩行者中心の道路を構築する「歩行者利便増進道路」[5]の整備推進が謳われている．「歩行者利便増進道路」は，2020年5月に道路法の一部を改正し創設された制度である．

これらは，いわば道路の用途とそれに応じた機能を整合させることを目指すことに他ならず，近年研究が進められている機能階層型道路ネットワーク計画の考え方[6]に合致する．

しかしながら，地方中核都市でこのような道路整備を進めるには，広域交通と都市内交通の接点を成す環状道路の整備が必要不可欠となる．市街地中心部において「車」と「人」の用に供する道路計画を両立するためには，環状道路を整備して市街地中心部に無用な通過交通を排除することで，「車」以外の交通に焦点をあてた道路空間の再配分が必要であり，これによって「人」を中心とした道路空間が創出できるものと考える．

翻って，地方中核都市の環状道路は，概成している環状道路であれ，現在計画中の環状道路であれ，「環状」と表現されるところの円形であることはむしろ稀で，大きく歪んだ形状ものから四角形に近い形状のものまで，その形状は多種多様である．これは，日本の都市の成り立ちに拠るところが大きい．「日本の都市では環状道路の計画の遅れや用地確保の問題などの要因で，ほとんどの都市で環状道路（環状道路には構造が環（リング）の道路と環ではないが複数の路線を組み合わせ環状機能を持った道路とがある）の建設が進んでいないのが現状である．」[7]との指摘のとおり，モータリゼーション以降に本格的な議論が始まった環状道路の整備は，既成都市の制約条件のもとで計画されたものであることを鑑みれば合点のいくところである．

各地の環状道路を地図上で眺めてみると，その形状は多種多様であれど，楕円形を想起できるケースが多いのではないかとの気づきを得た．このような視点で通過OD交通の迂回機能を考えてみる．一般に**図- 1**に示すような真円で議論されることの多い環状道路機能の評価でさえ，環状道路の移動機能が相対的に低ければ当然迂回は促進されないし，同程度の移動機能を有していても移動距離が長いことから積極的な利用は図れないであろう．ましてや**図- 2**に示すような扁平している環状道路では，特に扁平している方向において通過OD交通が，環状道路を迂回せずに都心部を通過しやすい傾向にあることは想像に難しくない．

このように，楕円に見立てた環状道路の形状パターンによって，また環状道路の移動機能の程度によって，通過OD交通の迂回をどの程度促進できるのかを評価する方法論を考える．特に扁平している方向に着目した場合，迂回が難しい通過OD交通に対して“環状道路を串刺しにしたような”都心部にも移動機能を確保した道路を加味した道路ネットワークが必要になるのではないかと考えた．そこで，このような道路ネットワーク構造から想起される形状として，本研究では「θ形状」と呼称する道路ネットワークの有効性について議論したい．なお，ここでは都心部を通過する串刺し道路の必要性を検討するものでは無く，階層型の道路ネットワーク下で道路利用者が，最も効率的な移動を可能とする道路整備形態の要件を中心に議論するものである．

本研究では，環状道路の形状パターンを分類し，迂回機能について評価する手法を検討するとともに，移動機能を重視した道路を都心部に配備するθ形状ネットワークの適用可能性について提案する．2章では，環状道路機能に関する分析として，先行研究における分析事例を整理し，本研究での分析の視点を整理する．3章では，楕円環状の迂回機能評価指標の検討として，環状道路を楕円と見立てた場合の形状パラメータを用いて，環状道路と都心部通過交通の経路選択を記述する手法を検討するとともに，通過OD交通の迂回に焦点を当てたときに環状道路が有効に機能する基本的な条件の考察を行う．4章では，ケーススタディとして主な地方中核都市を対象に環状道路の形状をパターン化し，形状パターンの出現頻度を考察するとともに，形状を楕円に近似する妥当性について吟味する．5章では，環状道路の効果が得にくい形状パターンの場合に，移動機能を重視した道路階層を都心部に配備するネットワーク構造として，その形状を模した「θ形状」と呼称するネットワークのコンセプトと適用可能性について提案する．

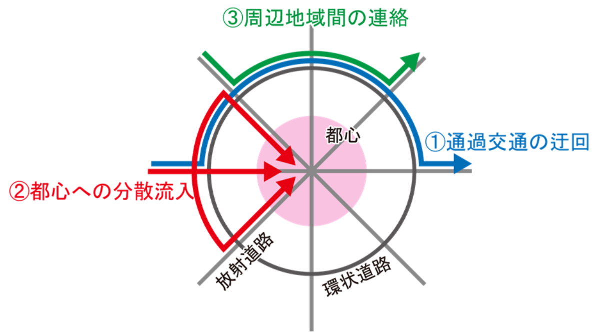


図- 1　環状道路に期待される主な機能

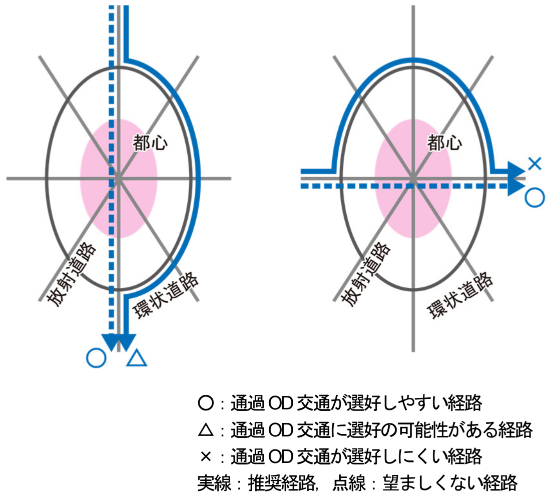


図- 2　扁平した環状道路における課題

2.　環状道路機能に関する分析の視点

(1)　環状道路に求められる基本的な機能

一般に，環状道路には**図- 1**に示す3つの機能が期待される．①通過交通の迂回機能は，通過交通を環状道路に迂回させ，放射道路や都心部道路から排除する機能である．②都心への分散流入機能は，アクセス交通により一部の放射道路が混雑する場合に，環状道路を経由して別

の放射道路へ分散させて都心へと流入させる機能である．③周辺地域間の連絡機能は，環状道路がないことで直接連絡できずに都心部を経由してしまう交通を，都心を通過させずに連絡させるための機能である．その他，有事の際における迂回路の確保として，災害や事故などで放射道路の一部区間が不通となっても，環状道路を経由して都心部へのアクセスを可能とする機能もある．

このうち，①通過交通の迂回機能は，都心部の道路環境を改善するために最も基本的な機能であり，この機能が発揮されるためには，環状道路へ迂回したほうが，走行距離が長くとも移動時間が早く通過できることが不可欠であり，本研究においてもこの観点に着目する．

(2) 既往研究における環状道路機能の分析

環状道路機能に関する先行研究をみると，都市計画の分野では，幾何学的な数理モデルの研究が盛んに行われており，土木計画の分野には，実際のフィールドを対象とした実証的な研究がみられる．

栗田[8]は，都市における放射・環状道路のあり方について，「円盤上の放射・環状交通網は，都市計画史上，頻繁に議論されてきた基礎的で重要な研究である．」として，都市部には様々な目的や起終点をもつ交通が混在し，これと空間的不均一性とが相俟って，混雑や錯綜を生み，滞留，遅延や事故などの問題をもたらすこと，都市部での様々な交通流動を把握することの重要性を指摘している．このような観点から，栗田[8]，田中ら[9)-10]，鵜飼ら[11]，藤田ら[12]による一連の研究では，一様な交通需要の分布をもつ仮想都市を想定し，放射・環状道路ネットワークを対象に，平均移動距離や流動量に関する分析を行っている．この際，都市の構造は，円を基調とした円盤都市や，東京都市圏のような港湾都市を想定した扇形都市の距離分布や流動量分布を幾何学的に解析し，その結果，都市内における任意の 2 地点間の経路探索に伴う，交通負荷に関する分析を行っている．三浦[13]や田中ら[14]は，放射・環状道路を持つ円形都市内を対象として，環状利用経路と都心利用経路のいずれかを選択できる数理モデルを構築し，平均移動時間が最小となる経路選択について分析している．これらは円盤都市や扇型都市の違いはあれど，基本的には環状道路を円形と見立てた都市を対象に，幾何学的な数理モデルを構築して，放射・環状道路の利用形態を考察しているものであり，環状道路の形状バリエーションへの展開は難しい．さらに，通過交通への言及はあるものの，その実は都市内に発着する OD 交通を主眼に扱ったものである．

毛利[15]は，環状道路を利用する経路と都心部を経由する経路の距離に着目して，環状道路が選択されやすい角度について言及している．首都圏3環状道路の整備がもたらすネットワーク効果を論じる中で，首都圏都心部の通過交通を例にとり，同心円状に環状道路が形成された場合を想定し，環状道路経由と都心部経由の距離が概ね 120° で一致することから，これよりも大きな角度を持つ交通は都心部を通過しやすいとの仮説を立て，放射高速道路同士の利用経路分析からこれを実証している．上記までと同様に円形環状が対象である．

一方，環状道路の整備状況と都心部通過交通の利用実態に関する実証的な研究として，片岸ら[16]は，金沢市における外環状山側幹線の整備に伴って，整備前後の観測結果を比較することで，通過交通の経路分担率や渋滞長について比較考察している．

後藤ら[17)-19]の一連の研究では，環状道路の整備状況が異なる地方中核都市を対象に，ETC2.0プローブ情報を用いて，環状道路の内部を通行するトリップを通過交通とそれ以外に分類し，通過交通の混入割合を算出することで，環状道路の旅行速度が高い場合に通過交通が都市内から排除されやすいことを確認している．また，通過交通の混入割合や環状道路経路分担率の比較考察の結果から，環状道路の径が大きすぎると環状道路内部に起終点をもつ通過交通が起こりやすい傾向や，環状道路を利用する際の距離増や所要時間短縮の程度によって通過交通の経路分担率が左右される可能性が高いことを指摘している．

鈴木ら[20]は，環状道路が整備済みの実際の都市を対象として，環状道路の延長を円周率で除した値（円と見立てた場合の直径）と最大となる対角直線距離との比を「ゆがみ度」と定義し，環状道路の形状を表現する方法を提案している．接続する主要な放射道路を対象として，都心部を通過する際の環状道路移動時間と放射道路利用移動時間をノード間角度で比較し，環状道路に求められる目標旅行速度について実証的に考察している一方で，本手法の一般化を課題としている．

(3) 本研究における分析の視点

上記までをまとめて，本研究における分析の視点を以下のとおり整理する．環状道路の機能には，①通過交通の迂回機能，②都心への分散流入機能，③周辺地域間の連絡機能があるが，都心部の交通施策を検討するにあたっては，①通過交通の迂回機能の重要度が高いものと考える．なお，③周辺地域間の連絡機能も一部これに含まれる．この視点に立って，地方中核都市における環状道路の現状をみると，「環」とは名ばかりで様々な形状の環状道路が存在すること，環状道路の機能は本来，移動機能に卓越しているべきであるが，市街地道路の一部と解釈されてもおかしくない位置づけである環状道路も少なくないといった課題がある．

これまでの環状道路機能に関する分析を俯瞰すると，幾何学的アプローチから様々な研究が行われてきている

が，円形あるいは円盤型といった形状のものが対象であり，変形した構造への展開は難しい．さらに，実証研究からは，環状道路整備の違いによる経路選択の実態が示されているが，環状形状の類型化も含めて評価方法を一般化することの課題が指摘されている．

以上を鑑みて，本研究では円ではない形状の環状道路の機能評価として，環状道路を楕円に近似すること，環状道路の扁平状態や速度比を指標として，環状道路へ迂回する通過OD交通の閾値角度の変化に関して考察することに焦点をあてる．

3. 楕円環状の迂回機能評価手法の検討

3.1 検討内容

本研究では，環状道路を楕円に見立てて，その形状をパターン分類し，通過交通の迂回機能に着目した場合の評価手法について検討する．まず，楕円方程式のパラメータ a，b によって扁平状態が類型化された環状道路を想定し，環状道路に見立てた楕円弧上を移動する場合と，都心部に見立てた楕円中心を経由して移動する場合の移動時間について，扁平率，両経路の速度比，移動角度を変数として定式化する．これより，環状道路を利用したほうが有利になる角度の閾値を扁平率や両経路の速度比に応じて算定し，環状道路への迂回条件や，環状道路の移動機能の改善を図ることによる閾値角度の変化について考察する．

なお，都市部を通過する起終点の組合せには，いわゆる斜めに通過するなどのケースも存在するし，環状道路近傍の内側に起終点をもつ交通など，多様な移動形態が考えられるが，ここでは典型的なケースとして，直交座標軸から楕円に進入するケースを対象とする．また，既往研究において，環状道路の大きさが通過交通の経路選択に影響を及ぼすことが指摘されているが，ここでは環状道路の大きさの違いによる議論はしない．

3.2 楕円環状の迂回機能評価指標の定式化

(1) 楕円の一般式

楕円の方程式は一般に，半径 a の円に対して，Y軸方向の半径の歪み b をもって，式(1a)で記述される．

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2+\left(\frac{y}{b}\right)^2=1 \tag{1a}$$

$$(a \geq b > 0)$$

図-3に示すように，半径 a の円弧上の任意の点の座標を $P'(x'(\varphi),\ y'(\varphi))$ とすると，この座標は，X軸との角度 φ を用いて，式(1b)で記述される．

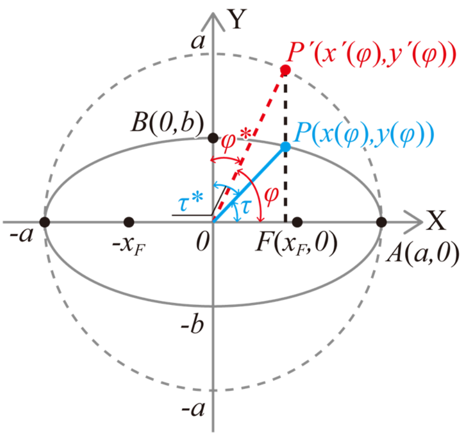


図-3 楕円方程式の説明図

$$\begin{aligned} x'(\varphi) &= a\cos\varphi \\ y'(\varphi) &= a\sin\varphi \end{aligned} \tag{1b}$$

ここで，Y軸方向に扁平した楕円の特性として，**図-3**に示す楕円弧上の任意の点 $P(x(\varphi),\ y(\varphi))$ と，半径 a の円弧上の点 $P'(x'(\varphi),\ y'(\varphi))$ の間には，式(1c)の関係が成立する．

$$\begin{aligned} x(\varphi) &= x'(\varphi) \\ y(\varphi) &= y'(\varphi) * \frac{b}{a} \end{aligned} \tag{1c}$$

したがって，楕円弧上の任意の点 $P(x(\varphi),\ y(\varphi))$ は，半径 a の円弧上の点 $P'(x'(\varphi),\ y'(\varphi))$ の角度 φ を媒介変数として，式(1d)で記述される．

$$\begin{aligned} x(\varphi) &= a\cos\varphi \\ y(\varphi) &= b\sin\varphi \end{aligned} \tag{1d}$$

(2) 長径方向を起点とした移動距離の計算式

X軸の交点 $A(a,\ 0)$ から楕円弧上の任意の点 $P(x(\varphi),\ y(\varphi))$ までの2経路の移動距離を算出する．一方は，楕円弧上を移動する経路であり，環状道路を利用する経路をイメージしたものである．

もう一方は，楕円中心を経由する経路であり，環状道路を利用せずに市街地を通過する経路をイメージしたものである．

a) 楕円弧上の移動距離

楕円の長径方向を対象として，**図-3**に示すX軸の交点 $A(a,\ 0)$ から楕円弧上の任意の点 $P(x(\varphi),\ y(\varphi))$ まで，楕円弧上を移動した場合の距離 $\overline{AP}(\varphi)$ は，半径 a の円弧上の点 $P'(x'(\varphi),\ y'(\varphi))$ の角度 φ を媒介変数として，式(2a)で記述される．

$$\overline{AP}(\varphi)=\int_0^{\varphi}\sqrt{\left(\frac{d}{d\varphi}x(\varphi)\right)^2+\left(\frac{d}{d\varphi}y(\varphi)\right)^2}\,d\varphi$$

$$=\int_0^{\varphi}\sqrt{(-a\sin\varphi)^2+(b\cos\varphi)^2}\,d\varphi$$

$$=\int_0^{\varphi}\sqrt{a^2\left\{1-\left(1-\frac{b^2}{a^2}\right)\cos^2\varphi\right\}}\,d\varphi$$

$$=a\int_0^{\varphi}\sqrt{1-e^2\cos^2\varphi}\,d\varphi \tag{2a}$$

ここに，e は楕円の長径と焦点間距離の比を表す離心率とし，式(2b)の値をとる．

$$e^2=1-\frac{b^2}{a^2}=\left(\frac{2x_F}{2a}\right)^2 \tag{2b}$$

式(2a)は測量学における子午線弧の計算問題，数学では第二種不完全楕円積分問題となり，直接計算することができない．そこで，$0\leq\varphi\leq\pi/2$ の範囲で定義される近似計算を行うのが一般的である．近似計算のアルゴリズムには，カールソン形式(Carlson symmetric form)や，無限級数による解法，ガウス変換などがあるが，本研究ではシンプソンの公式を用いて計算を行う．

b) 楕円中心を経由する移動距離

X軸の交点 $A(a,\ 0)$ から中心 $\mathrm{O}(0,\ 0)$ を経由した楕円弧上の任意の点 $P(x(\varphi),\ y(\varphi))$ までの距離 $\overline{AOP}(\varphi)$は，式(3a)で記述される．

$$\overline{AOP}(\varphi)=a+\sqrt{(a\cos\varphi)^2+(b\sin\varphi)^2} \tag{3a}$$

(3) 短径方向を起点とした移動距離の計算式

Y軸の交点 $B(0,\ b)$ から楕円弧上の任意の点 $P(x(\varphi^*),\ y(\varphi^*))$ までの2経路の距離を算出する．基本的な考え方は，長径の場合と同様である．ここで，角度 φ^*はY軸から点 $P(x(\varphi^*),\ y(\varphi^*))$ まで角度であり，角度 φとの間には，式(4a)の関係が成立する．

$$\varphi^*=\frac{\pi}{2}-\varphi \tag{4a}$$

a) 楕円弧上の移動距離

楕円の短径方向を対象として，Y軸の交点 $B(0,\ b)$ から楕円弧上の任意の点 $P(x(\varphi^*),\ y(\varphi^*))$ まで，楕円弧上を移動した場合の距離 $\overline{BP}(\varphi^*)$は，半径 a の円弧上の点 $P'(x'(\varphi^*),\ y'(\varphi^*))$ の角度 φ^*を媒介変数として，式(4b)で記述される．

$$\overline{BP}(\varphi^*)=a\int_0^{\varphi^*}\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi^*}\,d\varphi^* \tag{4b}$$

なお，φ^*と φには，式(4a)の関係が成立することから，式(4b)は式(4c)で記述することも可能である．

$$\overline{BP}(\varphi^*=\varphi)=\overline{AP}\left(\frac{\pi}{2}\right)-\overline{AP}\left(\frac{\pi}{2}-\varphi\right) \tag{4c}$$

b) 楕円中心を経由する移動距離

Y軸の交点 $B(0,\ b)$ から中心 $\mathrm{O}(0,\ 0)$ を経由した楕円弧上の任意の点 $P(x(\varphi^*),\ y(\varphi^*))$ までの距離 $\overline{BOP}(\varphi^*)$は，式(4d)で記述される．

$$\overline{BOP}(\varphi^*)=b+\sqrt{(a\sin\varphi^*)^2+(b\cos\varphi^*)^2} \tag{4d}$$

上記と同様に，φ^*と φの関係から，式(4d)は式(4e)で記述することも可能である．

$$\overline{BOP}(\varphi^*=\varphi)=b-a+\overline{AOP}(\varphi) \tag{4e}$$

上式により，第1象限 $0\leq\varphi\leq\pi/2$ 上で計算を実行し，$\pi/2\leq\varphi\leq\pi$ あるいは $\pi/2\leq\varphi^*\leq\pi$ の範囲は，これを点対象として，加算することで求めることができる．

(4) 正規化移動時間と速度比・迂回率の定義

ここでは，上記までに整理したそれぞれの経路の移動距離を移動時間に変換する．これに加えて，楕円の扁平率と両経路の速度比を変化させることで，上記までに整理した楕円の一般式を改めて定式化する．最終的に導出した楕円弧上の 2 点間を移動する 2 つの経路を対象とした正規化移動時間の計算式を**表-1**に整理する．

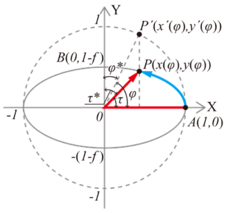
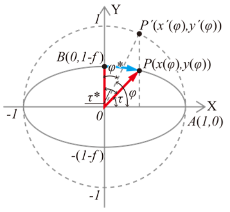
a) 楕円の扁平率の設定

楕円の離心率 eは，楕円の長径と焦点間距離の比をもって，楕円形状を表すパラメータである．一方，長径（半径）と短径（半径）の比をもって楕円形状を表すパラメータに扁平率 fがある．

本研究では，実際の環状道路に当てはめてその形状を整理するにあたり，ハンドリングのしやすさを考慮して，楕円の形状パラメータには，扁平率を用いることとする．楕円の扁平率 fは，長径（半径）：a と短径（半径）：b の比をもって式(5a)で表現され，離心率 eと扁平率 fの間には，式(2b)と式(5a)から，式(5b)の関係が導かれる．

$$f=1-\frac{b}{a} \tag{5a}$$

表-1　楕円弧上の 2 点間を移動する正規化移動時間の定式化

<table>
<tr><th>模式図</th><th>正規化移動時間の定式化</th></tr>
<tr><td>
</td><td>$$T_N^{\overline{AP}}(\varphi,f,r_V)=\begin{cases}\dfrac{1}{r_V}\displaystyle\int_0^{\varphi}\sqrt{1-f(2-f)cos^2\varphi}\,d\varphi & ,if\ 0\le\varphi\le{}^{\pi}/_2\\ \dfrac{1}{r_V}\displaystyle\int_0^{\pi/2}\sqrt{1-f(2-f)cos^2\varphi}\,d\varphi+\dfrac{1}{r_V}\int_0^{\varphi^*=\varphi-\pi/2}\sqrt{1-f(2-f)\sin^2\varphi^*}\,d\varphi^* & \\ & ,if\ {}^{\pi}/_2\le\varphi\le\pi\end{cases}$$
$$T_N^{\overline{AOP}}(\varphi,f,r_V=1)=1+\sqrt{cos^2\varphi+(1-f)^2\sin^2\varphi}$$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$$T_N^{\overline{BP}}(\varphi^*,f,r_V)=\begin{cases}\dfrac{1}{r_V}\displaystyle\int_0^{\varphi^*}\sqrt{1-f(2-f)\sin^2\varphi^*}\,d\varphi^* & ,if\ 0\le\varphi^*\le{}^{\pi}/_2\\ \dfrac{1}{r_V}\displaystyle\int_0^{\pi/2}\sqrt{1-f(2-f)\,sin^2\varphi^*}\,d\varphi^*+\dfrac{1}{r_V}\int_0^{\varphi=\varphi^*-\pi/2}\sqrt{1-f(2-f)\,cos^2\varphi}\,d\varphi & \\ & ,if\ {}^{\pi}/_2\le\varphi^*\le\pi\end{cases}$$
$$T_N^{\overline{BOP}}(\varphi^*,f,r_V=1)=1-f+\sqrt{sin^2\varphi^*+(1-f)^2cos^2\varphi^*}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">ここに，
$T_N^{\overline{AP}}(\varphi,f,r_V)$：楕円弧上の$AP$間を移動するときの正規化移動時間
$T_N^{\overline{AOP}}(\varphi,f,r_V=1)$：楕円中心を経由して$AP$間を移動するときの正規化移動時間
$T_N^{\overline{BP}}(\varphi,f,r_V)$：楕円弧上の$BP$間を移動するときの正規化移動時間
$T_N^{\overline{BOP}}(\varphi,f,r_V=1)$：楕円中心を経由して$BP$間を移動するときの正規化移動時間
φ　：長径方向の直交座標点Aから楕円弧上の任意の点Pまでの角度
φ^*：短径方向の直交座標点Bから楕円弧上の任意の点Pまでの角度
f　：扁平率$(0\le f<1)$
r_V　：楕円中心を経由する移動速度に対する楕円弧上を移動する速度の比</td></tr>
</table>

$$e^2=f(2-f) \tag{5b}$$

b) 正規化移動時間の定義

本研究では，楕円の長径をa＝1.0 とした単位円を考える．このとき，短径は式(5a)から，b＝1－fとなる．ここで，移動速度を単位速度 v＝1.0 と置くことで，楕円弧上を移動する移動時間と楕円中心を経由する移動時間を「正規化移動時間」として定義する．

たとえば，扁平率 f＝0.0 の場合，これは真円となることから，円弧上の正規化移動時間はφ（$=a\cdot\varphi$）に一致する．一方，楕円の中心を経由する正規化移動時間は，常に半径の2倍の 2.0（＝2・a）の値をとることになる．

長径方向と短径方向，楕円弧上の移動と楕円中心を経由する移動における正規化移動時間をそれぞれ，**表-1**に示すとおり定式化することで，正規化移動時間による最短経路は，式(6a)と式(6b)から算定される角度φをもって特定できる．

$$T_N^{\overline{AP}\cdot\overline{AOP}}(\varphi,f,r_V) = min\{T_N^{\overline{AP}}(\varphi,f,r_V),\ T_N^{\overline{AOP}}(\varphi,f,r_V=1)\} \tag{6a}$$

$$T_N^{\overline{BP}\cdot\overline{BOP}}(\varphi^*,f,r_V) = min\{T_N^{\overline{BP}}(\varphi^*,f,r_V),\ T_N^{\overline{BOP}}(\varphi^*,f,r_V=1)\} \tag{6b}$$

c) 速度比・迂回率の定義

環状道路への転換を促進するためには，環状道路側の移動機能を上げることが必要となる場合が多い．そこで，楕円弧上を移動する速度と楕円中心を経由する移動速度に速度比を設定する．ここでは，楕円中心を経由する単位速度 v＝1.0 に対する楕円弧上を移動する速度の比 r_V (≥ 1) をもって設定する．

ここで，環状道路側の移動機能を上げると，環状道路経由の旅行時間（楕円弧上の正規化移動時間）が相対的に短縮される一方で，環状道路経由の走行距離（楕円弧上の移動距離）は長くなる．よって，このときの楕円中心を経由する移動距離に対する環状道路経由の移動距離の比を迂回率と定義すると，長径方向と短径方向の迂回率 r_R，$r_R{}^*$ はそれぞれ式(7a)で記述される．

$$r_R=\frac{\overline{AP}(\varphi)}{\overline{AOP}(\varphi)}\quad or\quad r_R{}^*=\frac{\overline{BP}(\varphi^*)}{\overline{BOP}(\varphi^*)} \tag{7a}$$

さらに，長径方向を例に式(7a)の説明を加える．楕円弧上を移動する正規化旅行時間と楕円弧中心を経由する移動時間が一致するとき，最短の時間距離が逆転する．このときの移動時間の条件は式(7b)となる．

$$T_N^{\overline{AP}}(\varphi, f, r_V) = T_N^{\overline{AOP}}(\varphi, f, r_V = 1) \tag{7b}$$

ここで，楕円中心を経由する移動速度は単位速度 v= 1.0 で固定しているので，楕円弧上の移動速度はv= r_Vとなり，それぞれの経路の移動時間は式(7c)で記述される．

$$\begin{aligned} \overline{AP}(\varphi) &= T_N^{\overline{AP}}(\varphi, f, r_V) * r_V \\ \overline{AOP}(\varphi) &= T_N^{\overline{AOP}}(\varphi, f, r_V = 1) * \ v \end{aligned} \tag{7c}$$

迂回率は，式(7c)の楕円中心を経由する移動距離 $\overline{AOP}(\varphi)$に対する楕円弧上を移動する距離$\overline{AP}(\varphi)$の比で求められ，これに式(7b)の条件を加味して，式(7e)を得る．

$$r_R = \frac{\overline{AP}(\varphi)}{\overline{AOP}(\varphi)} = \frac{T_N^{\overline{AP}}(\varphi, f, r_V) * r_V}{T_N^{\overline{AOP}}(\varphi, f, r_V = 1) * 1.0} \tag{7d}$$

$$r_R = r_V \tag{7e}$$

式(7e)の意味するところは，楕円中心を経由する正規化移動時間と楕円弧上を移動する正規化移動時間が等しくなる状態において，迂回率は，両経路の速度比そのもので表現できることになる．よって，以降の分析において，両経路の正規化移動時間の比較とあわせて，迂回率も容易に比較できることとなる．

d) 移動角度の再定義

上記までの計算は，角度φを媒介変数としたものであり，楕円中心から点$P(x(\varphi), y(\varphi))$の角度を直接的に表現したものではない．よって，実際に環状道路の形状をパターン化する際において移動角度の設定が難しいし，移動角度そのものが解釈しにくいといった問題が生じる．

そこで本研究では，**図-3**に示すように，楕円弧上の任意の点$P(x(\varphi), y(\varphi))$の角度を$\tau$として，式(8a)と式(8b)で変換した角度を移動角度として用いることとする．

$$\tau = \tan^{-1}\frac{b\sin\varphi}{a\cos\varphi} \tag{8a}$$

$$\tau^* = \frac{\pi}{2} - \tau \tag{8b}$$

なお，計算プロセスとしては，**表-1**に示すとおり，角度φとそれぞれの評価指標の関係を算定したうえで，最後に式(8a)と式(8b)により角度τに置換する手順とする．

3.3 正規化移動時間による最短時間経路の考察

楕円の扁平率，両経路の速度比を変化させた場合における楕円弧上の正規化移動時間と楕円中心を経由する正規化移動時間の計算結果を**図-4**に示す．

楕円の扁平率fの設定は，0.0～0.9の間を1/10 刻みで変化させ，速度比の違いによる個別の検討ケースの計算結果は，紙面の都合上**表-2**に示すr_V= 1.0，1.5，2.0，3.0 のケースのみを掲示する．

表-2 検討ケース

Case	短経方向/長経方向	移動速度比（楕円弧上/楕円中心経由）
1	Case1-1/Case1-2	r_V＝1.0
2	Case2-1/Case2-2	r_V＝1.5
3	Case3-1/Case3-2	r_V＝2.0
4	Case4-1/Case4-2	r_V＝3.0

なお，**図-2**にイメージされるとおり，本質的な議論は，環状道路を利用する場合に迂回距離が大きくなる楕円の短径方向から流入するケースのみで十分なところではあるが，ここではその性質を見極めるため，長径方向に関してもあわせて掲示している．

(1) 迂回機能評価モデルの基本的性質

図-4中の青線は楕円弧上を移動した場合の正規化移動時間であり，赤線は楕円中心を経由した場合の正規化移動時間である．上段から速度比が r_V= 1.0，1.5，2.0，3.0 の順で並べている．**図-4**中の複数の線は扁平率の違いであり，0.0～0.9の間を1/10 刻みで変化させている．ここで，同じ扁平率の青色と赤色の線種が交差する点（黒丸の打点）で正規化移動時間による最短経路が逆転することを示している．

図-4の理解を促すため，楕円弧上の移動速度と楕円中心を経由する移動速度が同じ場合のCase1-1とCase1-2を例に，正規化移動時間が短い方向のみを抽出して**図-5**に示し，図の見方を具体的に説明する．**図-5**の青線は楕円弧上を移動した場合の正規化移動時間であり，赤線は楕円中心を経由した場合の正規化移動時間である．

たとえば，**図-5**の上段に着目すると，これは両経路の移動速度が同じ場合における短径方向の扁平率と正規化移動時間の関係を示したものとなる．扁平率 f=0.0 の場合，すなわち真円の場合は，114.6度（2π/3）までは楕円弧上を移動したほうが早く，それを超えると楕円中心を経由するほうが早いことを現わしている．なお，このときの正規化移動時間は2.0である．

同様に，扁平率 f= 0.5 の場合をみると，正規化移動時間が逆転する角度の閾値は，真円のときよりも小さく102.5度，正規化移動時間は1.4となり，扁平率 f= 0.7 の場合の閾値角度は96.9度で，正規化移動時間は1.2となることを現わしている．

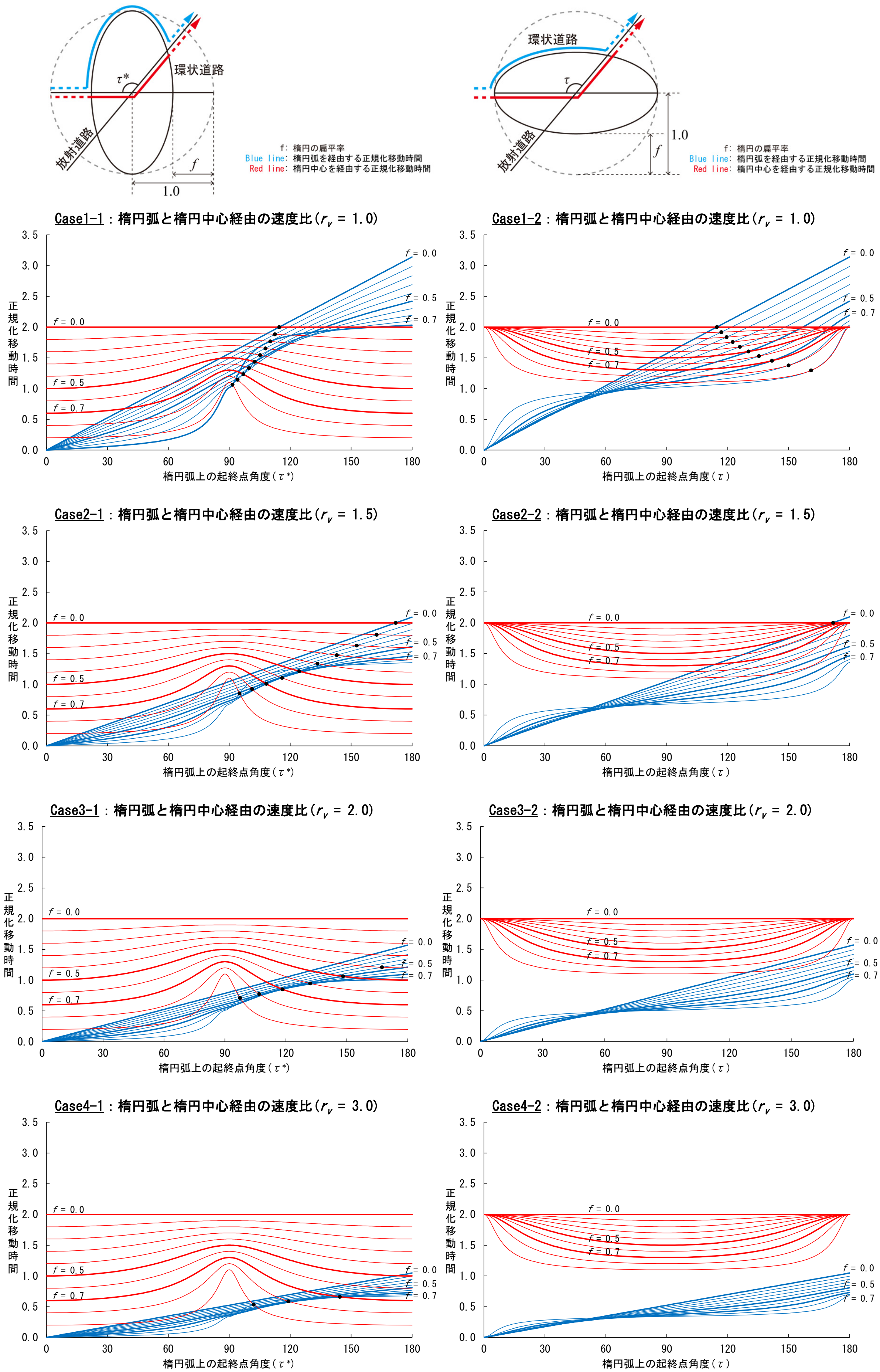


図-4　楕円弧上の移動と楕円中心を経由した移動の正規化移動時間比較　※黒色の打点は交点

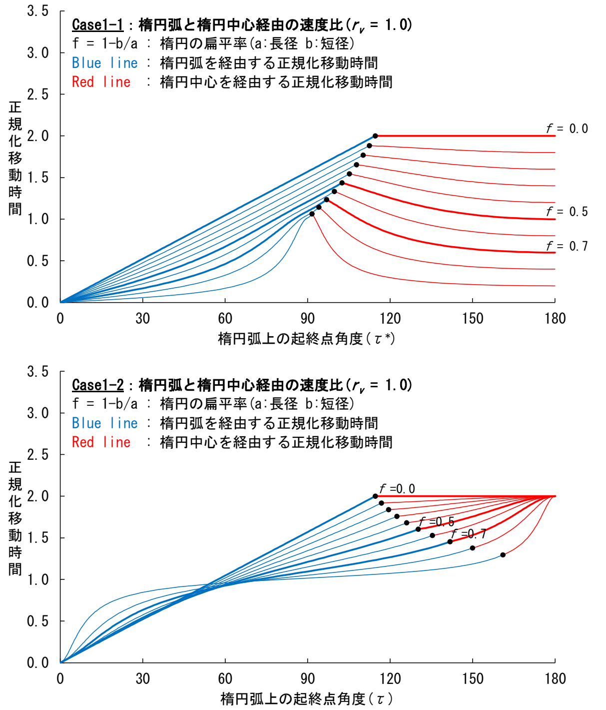


図-5　最短となる正規化移動時間の説明図

［上段：短径方向　下段：長径方向］

以上を踏まえて，扁平率と速度比の変化に対する最短経路の領域をみてみると，短径方向から流入する場合，扁平率が大きくなるに従って，楕円弧上の正規化移動時間（青線）の領域が縮小していく様子がわかる．また，速度比が大きくなるにつれて，楕円弧上の正規化移動時間（青線）の領域が拡大している様子がわかる．

参考までに長径方向について，同様の計算結果を掲示したものが**図-5**の下段である．長径方向の場合，短径方向に比べて楕円弧上を移動するハンディキャップが小さいため，重要度としては相対的に低下する．扁平率 f=0.0 の場合は短径方向と同様であるが，扁平率 f=0.5 になると，楕円弧上を移動するほうが早い角度の閾値は130.2度，扁平率 f=0.7 では141.8度となる．

このように，机上計算では扁平率の変化に伴って，また楕円弧上の速度向上に伴って，楕円弧上の経路選択と楕円中心を経由する経路の選択がall-or-nothingで評価できることになる．

(2) 正規化移動時間比較のためのノモグラム作成

楕円弧上を移動する場合の正規化移動時間と楕円中心を経由する場合の正規化移動時間の大小関係が逆転する点（黒色の打点）の集合について，扁平率と速度比別にノモグラムとして整理したものを**図-6**に示す．これによって，扁平率と速度比を尺度として，環状道路への転換可能性を大まかに把握できるものと考える．

まず，短径方向に着目して，扁平率 f=0.5 の場合を例に説明すると，両経路の速度が同じであれば，**図-6**上段

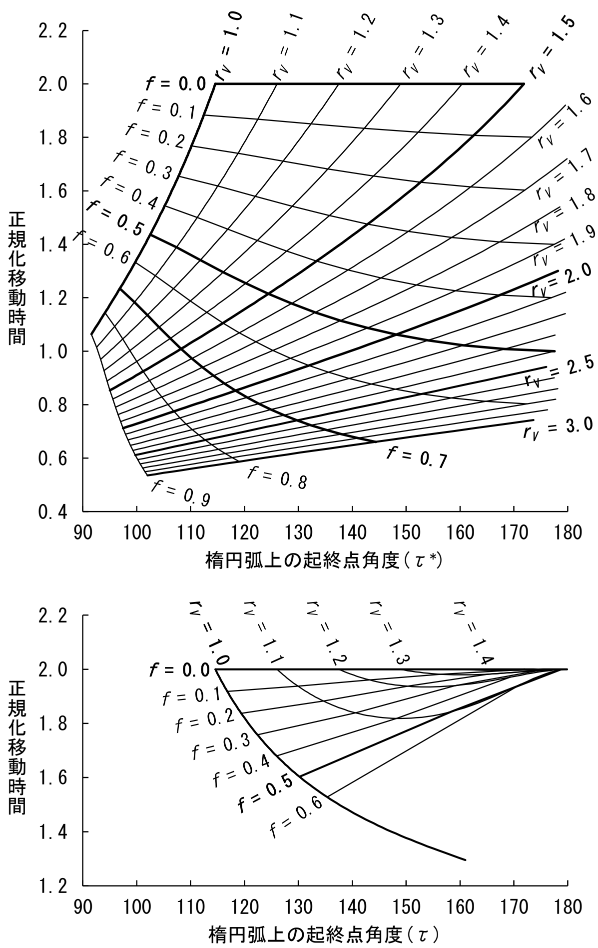


図-6　正規化移動時間比較のためのノモグラム

［上段：短径方向　下段：長径方向］

の f=0.5 と r_V=1.0 の交点をみることで，前述のとおり，102.5度で正規化移動時間が逆転することがわかる．なお，このときの正規化移動時間は1.4である．次に，楕円弧上を移動する速度を上昇させていくと，f=0.5 と r_V=1.5 との交点は124.4度，正規化移動時間は1.2，f=0.5 と r_V=2.0 との交点は148.2度，正規化移動時間は1.1となり，正規化移動時間が逆転する角度の閾値が徐々に上昇することがわかる．r_V=3.0 になると，両者の交点は存在しないので，楕円弧上を移動する正規化移動時間が常に早いことになる．

前述のとおり，楕円弧上の移動，すなわち環状道路を利用したほうが早くとも，移動距離は長くなることになり，これを迂回率として定義した．また，正規化移動時間で評価することで，迂回率は速度比に一致することも示した．このことから，上記のケースにおいて楕円弧上を移動する場合の迂回率 r_R*はそれぞれ，速度比 r_V=1.0，r_V=1.5，r_V=2.0 に一致する．

次に，長径方向に着目して，同様に扁平率 f=0.5 の場合を例に説明すると，両経路の速度が同じであれば，**図-6**下段の f=0.5 と r_V=1.0 の交点をみることで，102.5度で正規化移動時間が逆転することがわかる．なお，このと

きの正規化移動時間は1.4であり，これは短径方向の結果に一致する．次に，楕円弧上を移動する速度を上昇させていくと，f= 0.5 と r_V = 1.1 との交点は158.4度，正規化移動時間は1.8，f= 0.5 と r_V = 1.2 との交点は178.7度，正規化移動時間は2.0となり，これ以上は交点を持たない．

よって，f = 0.5 の場合，r_V = 1.2 超となると，両者の交点は存在しないので，楕円弧上を移動する正規化移動時間が常に早いことになり，短径に比べて圧倒的に大きな角度まで楕円弧上を移動しやすいことがわかる．なお，ここでも楕円弧上を移動する場合の迂回率 r_R はそれぞれ，速度比 r_V = 1.1，r_V = 1.2 に一致する．

さらに，別の視点からノモグラムを解読する．たとえば，通過OD交通の角度を150度に固定した場合で比較してみると，長径方向の環状道路利用を促すためには，扁平率の大小に拘わらず，速度比 r_V = 1.3 であれば十分である．しかし，短径方向は扁平率に大きく依存し，速度比 r_V = 1.3 で環状道路利用が促進されるのは，扁平率 f = 0.0 の場合（真円）のみであり，扁平率 f = 0.5 の場合では，速度比 r_V = 2.0 が必要となる．

このことは，長径方向に比べて短径方向は，環状道路の移動速度の向上が相対的に問題解決に繋がり難いことを現わしている．つまり，短径方向の交通に課題がある場合は，後述するように，環状道路の移動速度の向上よりも都心部を通過する移動機能を重視した道路整備が必要である，という「θ形状」の道路ネットワークの重要性を示唆するものである．

(3) 考察

上記の結果を，実際の道路階層に当てはめて考察する．市街地の旅行速度レベルを概ね30km/hと仮定すると，環状道路の扁平率 f = 0.5 で両経路の速度が同じであれば，102.5度までの通過OD交通の環状道路への転換が期待される．環状道路の速度比を r_V = 2.0 にまで引き上げると，環状道路の旅行速度レベルは概ね60km/hとなるので，ある程度アクセスコントロールされた道路がイメージでき，この場合は148.2度まで環状道路への転換が期待される．さらに，r_V = 3.0 の場合は，90km/h相当の旅行速度レベルとなるので，自専道を配した場合が想定されるもので，この場合は大多数の通過OD交通が環状道路へ転換する可能性がある．

以上のとおり，直交方向の通過OD交通に限定した机上計算ではあるが，扁平した形状の環状道路を機能させるために，環状道路の扁平率に応じて旅行速度レベルをどの程度差別化する必要があるのか当たりをつけることが可能となる．

実際の環状道路計画における評価に際しては，環状道路に接続する各方向の放射道路を対象に通過OD交通の特性を分析することが必要となる．具体的には，通過OD交通が多い放射道路の組合せを抽出して角度を計測し，環状道路を利用する場合の旅行時間と，都心部を通過する旅行時間を比較することで，環状道路の優位性を確認することになる．

もし，環状道路の旅行時間が大きいようであれば，通過交通が市街地に進入しやすくなるため，現地の状況を勘案して，環状道路の旅行速度レベルの向上策を検討する必要があるし，対応が難しい場合には，ネットワーク構造を見直す必要があろう．

表-3 分析対象都市と環状道路の楕円形状パラメータ

番号	都市	長径a (km)	短径b (km)	扁平率f
1	札幌	7.3	5.3	0.27
2	青森	8.9	5.6	0.37
3	盛岡	5.8	3.6	0.38
4	仙台	17.3	15.0	0.13
5-1	秋田(内)	3.4	1.4	0.60
5-2	秋田(中)	9.2	4.3	0.54
5-3	秋田(外)	15.2	8.4	0.45
6-1	山形(内)	5.4	4.0	0.27
6-2	山形(外)	12.7	6.3	0.50
7-1	福島(内)	6.1	3.5	0.42
7-2	福島(外)	11.4	7.8	0.32
8-1	郡山(内)	5.7	3.5	0.39
8-2	郡山(外)	11.1	7.0	0.37
9-1	宇都宮(内)	2.5	0.9	0.65
9-2	宇都宮(中)	4.4	2.7	0.38
9-3	宇都宮(外)	10.5	7.4	0.29
10	横浜二環	16.9	10.8	0.36
11	新潟(内)	14.8	10.7	0.28
12	富山	12.3	8.0	0.36
13-1	金沢(内)	3.3	2.5	0.25
13-2	金沢(中)	7.7	5.1	0.34
13-3	金沢(外)	14.1	8.1	0.42
14	長野	10.8	6.2	0.43
15-1	松本(内)	3.9	3.1	0.21
15-2	松本(外)	12.4	6.7	0.46
16	沼津	9.2	6.7	0.27
17	浜松	12.2	11.4	0.07
18	津	8.7	3.3	0.62
19	松江	6.2	6.2	0.00
20-1	岡山(内)	1.6	1.6	0.02
20-2	岡山(中)	4.9	3.5	0.30
20-3	岡山(外)	10.8	9.8	0.09
21-1	福山(内)	2.2	2.1	0.05
21-2	福山(外)	9.3	7.6	0.19
22	熊本	11.1	7.1	0.36
23-1	宮崎(内)	5.1	4.5	0.13
23-2	宮崎(外)	15.2	7.6	0.50
24-1	那覇(内)	4.6	4.0	0.13
24-2	那覇(外)	10.7	7.0	0.34

4. 地方中核都市の環状道路の形状パターン分類

(1) 分析対象都市の抽出と形状データの生成

全国各地の地方中核都市から，現状において環状道路が概成している，あるいは都市計画マスタープラン等において環状道路の計画が認められる地方中核都市のうち，下記の条件に当てはまる都市を抽出し，楕円形状に近似するための形状諸元を**表-3**に示すとおり整理した．

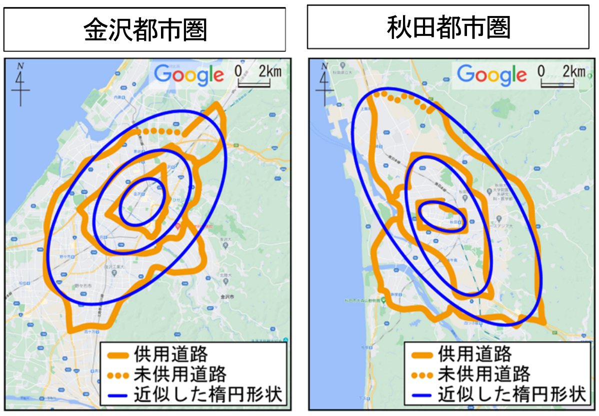


図-7　環状道路の楕円形状への変換設定例

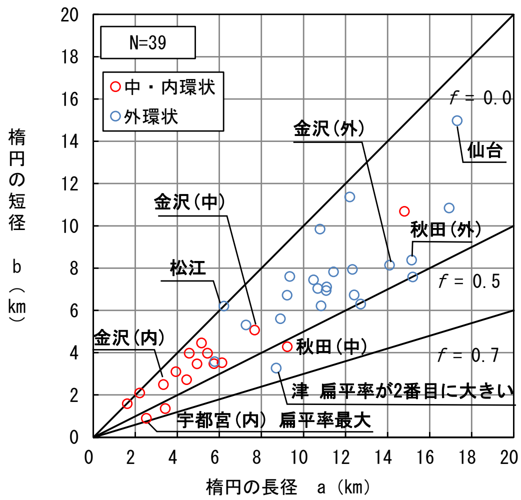


図-8　地方中核都市の環状道路の形状パターン

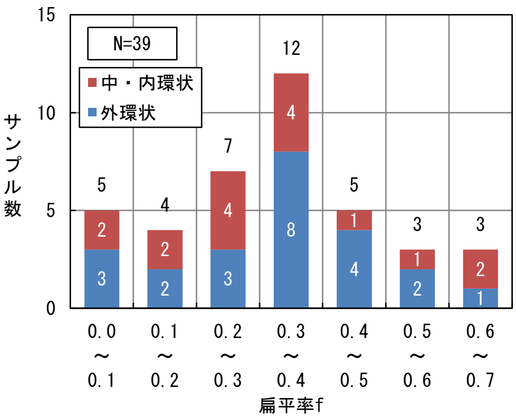


図-9　地方中核都市の形状パターン出現頻度分布

[主な抽出条件]

・全国の市を対象に，面積と人口を指標として，上位に位置する都市を抽出する．ただし，大都市圏はこの時点で除外する．

・上記のうち，県庁所在地を第一候補とし，これに加えて，新幹線駅や第三次救急医療施設等を有する，高次拠点都市に絞り込む．

・これらの候補のうち，環状道路が概成している都市，および都市計画マスタープラン等[7),21)-43)]．において，環状道路の計画が認められる都市を最終的に分析候補とする．

以上の条件で抽出作業を行った結果，本研究では24都市の環状道路を分析対象とした．なお，外環状や中・内環状など，複数の環状道路がある都市について，通過交通の迂回機能の視点に立てば，外環状道路（都市規模によっては中環状道路も該当）の役割が大きいと思われるが，ここでは環状道路の形状パターン化に際して，それぞれの環状道路を対象としている．

楕円形状の設定例を**図-7**に例示する．分析対象とする都市の環状道路について，Google Map上で楕円形状を当てはめる．この際，実際の環状道路には当然のことながら，様々な歪みがあるが，ここでは概ね環状道路に内接するような楕円形状を当てはめることとする．そのうえで，楕円形状のパラメータとして，長径（半径）：a，短径（半径）：bの値を計測する．

(2)　環状道路の形状パターン分類と出現傾向

地方中核都市の環状道路形状を楕円に見立ててパターン化し，扁平率をパラメータとして整理した結果を**図-8**および**図-9**に示す．

24の地方中核都市，39の環状道路の形状パターン化を行った結果，扁平率は f= 0.0 ～ 0.7 に広く分布しており，最頻値は f= 0.3 ～ 0.4 であることがわかる．真円に近い環状道路をもつ都市には，松江：f=0.00，岡山（内）：f=0.02，福山（内）：f=0.05，浜松：f=0.07 などがある．一方，扁平率の大きな都市には，宇都宮（内）：f=0.65，津：f=0.62，秋田（内）：f=0.60，秋田（中）：f=0.54，山形（外）：f=0.50，宮崎（外）：f=0.50 などが挙げられる（**表-3**）．

これらを外環状と中・内環状に区分してみると，環状道路の規模が小さいエリアに中・内環状が集中することは当然のこととして，扁平率の分布傾向に大きな差は生じておらず，いずれも最頻値は f= 0.3 ～ 0.4 あるいはその付近に存在することがわかる．

(3)　ノモグラムによる検討例

多くの都市が該当する扁平率 f=0.4 クラスの環状道路の短径方向の通過OD交通に着目して，正規化移動時間比較のためのノモグラムに照らすと，楕円弧上を移動する経路（すなわち環状道路を利用する経路）と，楕円中心を経由する移動経路（すなわち都心部を通過する移動経路）に速度差が無ければ，105.2度までは環状道路への転換が期待できる（**図- 10**中の点$P_{1.0}$）．これに対して，環状道路の旅行速度を改善することができれば，速度比r_v= 1.5 で133.4度（**図- 10**中の点$P_{1.5}$），r_v= 2.0 で167.3度（**図- 10**中の点$P_{2.0}$）まで，正規化移動時間が逆転する角

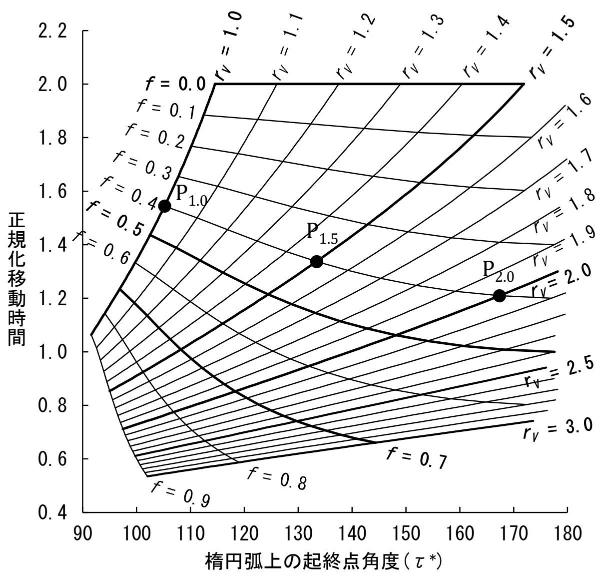


図- 10 環状道路の移動速度と閾値角度の変化
［短径方向の例］

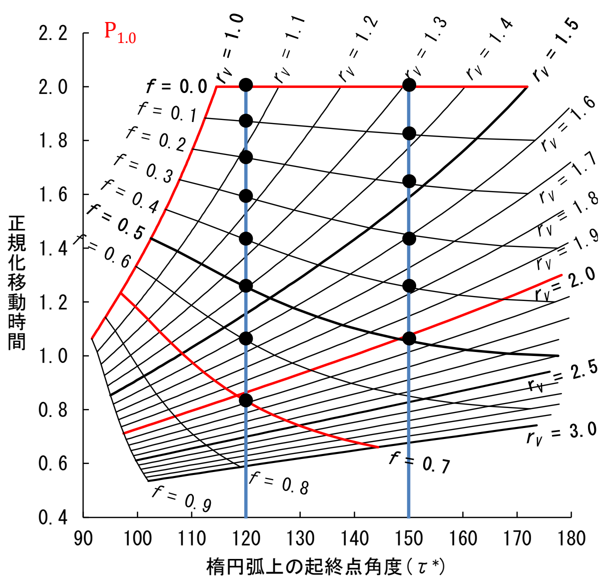


図- 11 扁平率に応じた目標閾値角度の感度分析
［短径方向の例］

度の閾値を上昇させることとなる．

さらに，通過OD交通を環状道路に迂回させる角度の目標値を定めたときに，環状道路の移動機能をどの程度まで向上させることが必要かを判断する際の検討例を**図- 11**に示す．ここでは，外周の1/3に相当する120度の場合と半周の2/3に相当する場合を例示する．これより，多くの都市が該当する扁平率 $f = 0.4$ クラスの環状道路において，120度程度まで環状道路への迂回を促したい場合には，環状道路の速度比を $r_V = 1.3$ 程度まで向上させることが必要であり，150度程度までの場合は，環状道路の速度比を $r_V = 1.8$ 程度まで向上させることが必要であることがわかる．

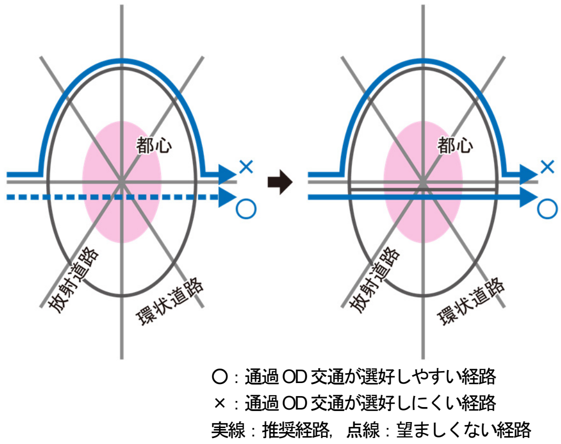


図- 12 「θ 形状」を成す環状道路のコンセプト

以上のように，楕円環状の短径方向に着目して，環状道路への迂回促進を図ろうとする場合に，環状道路の速度比をどの程度向上させる必要があるかの当たりをつけることができる．しかしながら，現地状況によっては，環状道路の旅行速度を上昇せしめる対策が困難なケースも大いに予想され，このような場合の対応方法として，都心部を横断する位置に移動機能を重視した階層の道路を配備することも検討に値するものと考える．

5. θ形状ネットワークの提案

(1) 「θ形状」を成す環状道路のコンセプト

本研究では，環状道路を楕円に見立ててモデル化し，都心部を通過する楕円の直交方向の通過OD交通について，環状道路を利用する経路の所要時間を楕円弧上を移動する正規化移動時間，都心部を通過する経路を楕円中心を経由する正規化移動時間として比較することで，環状道路に迂回する可能性のある通過OD交通の閾値角度を計算する手法を検討した．その結果，このように楕円形状に見立てた環状道路において，特に扁平した短径方向の通過OD交通の迂回を促進することを企図した環状道路の移動速度の向上策は，長径方向に対して相対的に問題解決が困難なことを示唆した．

一方で，地方中核都市における環状道路を対象として，その形状を楕円形状に近似してみたところ，実際の環状道路が真円であることはむしろ少なく，扁平率が0.3～0.4に分布していることから，本研究でのアプローチには一定の妥当性があることを示した．

以上のように，都心部の円滑な交通を確保するための環状道路のあり方について，その形状が環状道路の機能性に及ぼす影響も含めて，改めて議論することが望まれるものである．そこで，**図- 12**に示すように楕円の短径方向に着目したとき，環状道路の移動速度の向上に比し

て，都心部を通過する移動機能を重視した道路整備が必要な場合もある，という考えのもと，「θ形状」を成す環状道路ネットワークの必要性について検討すべきことを提案する．

なお，これまでにも述べてきたように，「θ形状」から想起されるのは，楕円形状に見立てた環状道路と，その中心を貫く放射道路から構成される姿である．一方で，本研究で提案する「θ形状」を成す環状道路ネットワークは，環状道路と放射道路の集合体としての「θ形状」ではなく，環状道路と都心部を通過する道路とが一体となって環状道路を構成するネットワーク構造とすることを強調したい．これは，円形の環状道路が2つ接している「W環状」あるいは「TWIN環状」として捉えることもできそうである．

(2) 都市高速にみる先行事例

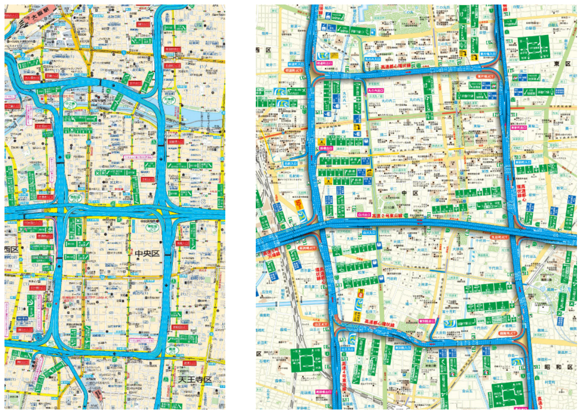
「θ形状」を成す環状道路ネットワークは，これまで存在していなかったわけではなく，都市高速において本研究で提案するコンセプトの環状道路がみられる．**図-13**の左に阪神高速の都心環状を示し，**図-13**の右に名古屋高速の都心環状を示すが，ここには環状道路の短径方向を串刺しにする「θ形状」の環状道路ネットワークが確認される[44)-45)]．本事例は，都市高速である点や環状道路が一方通行である点など，一般性を論じるには足らない点もあるが，その構造には短径方向の移動性に配慮した意図が感じとれる．

ここで，本研究で提案する楕円形状への近似を試みてみる．いずれの環状道路もその形状は矩形を呈しているが，楕円形状に近似してみると，阪神高速の都心環状の扁平率は $f=0.63$，名古屋高速の都心環状の扁平率は $f=0.30$ であり，奇しくも地方中核都市における環状道路の扁平率と同程度となる．

このような先行事例からの傍証として，真円ではなく，楕円のごとく扁平した環状道路では，特に短径方向の移動性を強化するネットワーク構造が企図されるのではないかと考える．参考までに，同様の視点で首都高を考察すると，都心環状の扁平率は $f=0.38$ となっているが，そこに「θ形状」は認められない．

(3) モーダルコネクトとの親和性

「θ形状」を成す環状道路ネットワークの優位性について，地方中核都市におけるモーダルコネクトの観点から論じる．現在，各所で検討されているモーダルコネクト施策のうち，実現性の高いプロジェクトとして，バスタプロジェクトが挙げられるだろう．既に先行供用した新宿バスタを皮切りに，今後の「バスタプロジェクト」の展開に向けた資料[46)]に掲げられるものだけでも，札幌，仙台，新潟，呉，大宮，長崎等など多数存在する．



［阪神高速の都心環状］　［名古屋高速の都心環状］

図-13 都市高速における「θ形状」の環状道路[44)-45)]

ここで，重要なことは，バスタに求められる機能は公共交通機関としての鉄道とバス交通の連携であるが，そこから域内に足を持つ移動はもちろんのこと，バスタを中継点として連続した高速交通としての機能が重視されると考える．その際，高速性や時間信頼性に優れた鉄道から，バスに連絡した途端に高速性と時間信頼性のいずれも悪化することがあってはならない．しかし，現状の都市内道路網では，広域道路網との連携を成す環状道路までのアクセスが良好とは決して言えない．

そこで，これらを連携し，移動機能が重視された「θ形状」を成す環状道路ネットワークは，都心部における円滑な交通運用のために，必然性があるものと考える．

6. まとめと今後の課題

本研究では，楕円環状の迂回機能評価指標の検討として，環状道路を楕円と見立てた場合の形状パラメータを用いて，環状道路と都心部通過交通の経路選択を記述する手法を検討するとともに，通過OD交通の迂回に焦点を当てたときに環状道路が有効に機能する基本的な条件の考察を行った．

現状では，楕円の直交座標方向からの流入のみの対応ではあるが，環状道路の扁平状態に応じて，通過OD交通が楕円を利用する閾値角度，すなわち環状道路を利用する可能性が高まる角度を算定可能とした．また，環状道路の移動機能を向上させたときに，環状道路の利用可能性がどの程度高まるかを判断するためのノモグラムを作成した．これにより，環状道路の利用実態分析に先立って，机上計算レベルではあるが，大まかな利用形態を推測する検討素材を提供した．

ただし，本研究では楕円弧上を移動する経路と楕円中心を経由する移動の2経路を比較対象としていること，楕円の直交方向からの流入のみを扱う単純な構造となっ

ていることから，様々な経路やOD方向に対応可能なものに拡張することが今後の課題である．また，既往研究において，扁平率のみならず環状道路の大きさが通過交通の経路選択に影響していることも指摘されていることから，絶対距離を説明変数に取り入れる方法や，日本古来のまちづくりに拠るところの都市構造（格子状の街路ネットワーク）への対応，DIDが大きく偏芯している場合への対応など，様々な都市構造への応用・展開も検討していくことが必要であると考えている．

次に，上記の楕円環状モデルについて，実際の環状道路への適用のケーススタディとして，主な地方中核都市を対象に環状道路の形状をパターン化し，形状パターンの出現頻度を考察した結果，地方中核都市の環状道路形状は様々ではあるものの，楕円形状への近似は概ね妥当であると考える．今後の課題として，楕円形状への近似に際して，GIS上で自動的に楕円を検出する，あるいはDRM座標を用いて最小二乗計算を行うなど，楕円形状への近似に客観性を持たせる方法の検討が必要である．なお，地方中核都市が海岸線に位置し，楕円形状が海上に出てしまう場合など，楕円形状への近似が難しい場合の扱いも検討する必要がある．

以上のとおり，「θ形状」と呼称する環状道路ネットワークのコンセプトと適用可能性について考察した．環状道路の整備にあたっては，それぞれの都市構造や利用形態に十分配慮することは当然のことであるが，大きな方向性を考えるうえで一つの示唆を与えることができたものと考える．今後は，実際の環状道路において，接続する主な放射道路の接続角度や通過OD交通量を分析し，実際の都市での利用実態と比較することで，環状道路形状と通過交通の経路選択の実態を把握するとともに，直交座標系以外の利用形態へのノモグラムの拡張や，実際の環状道路整備計画への適用可能性を検討していきたい．

最後に，秋田都市圏の事例を紹介する．秋田市中心市街地には，アクセスコントロールされた秋田中央道路が整備されている[47]．これは，トンネル構造で秋田駅を東西に貫くもので，環状道路とあわせて「θ形状」の原形を成す格好にある．このように，現存する秋田中央道路のアドバンテージを活かすことで，θ形状ネットワークを適用できる可能性があることから，国，県，市及び高速道路（株）が一体となって機能階層型の道路形態で各管理道路を再整備し，人口減少，自然災害の激甚化・頻発化などの構造的問題への対応を踏まえたネットワーク作りを推進していきたいと考えている．

参考文献

1) 国土交通省道路局：新たな広域道路ネットワークに関する検討会中間とりまとめ，https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/road_network/pdf/interim-report.pdf，2020.
2) 国土交通省道路局：2040 年 道路の景色が変わる，https://www.mlit.go.jp/road/vision/index.html
3) 国土交通省道路局：広域道路ネットワークの再構築について，https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001351207.pdf
4) 国土交通省道路局：持続可能な国土幹線道路システムの構築に向けた取組　中間とりまとめ（案），https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001364529.pdf
5) 国土交通省道路局：歩いて楽しめる道路空間の構築に向けて，https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/pdf/hokomichi-leaflet.pdf
6) 一般社団法人交通工学研究会：機能階層型道路ネットワーク計画のためのガイドライン（案），2018.
7) 札幌環状通の計画史的評価に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.21，No.2，pp.399-406，2004.
8) 栗田治：円盤都市における道路パターンの理論 – 直線距離，直交距離ならびに放射・環状距離の分布 –，日本都市計画学会学術研究論文集，Vol.36，pp.859-864，2001.
9) 田中健一，栗田治：放射・環状道路網を有する扇形都市平面上の通過交通の分布，– 渋滞のない都市設計のための道路面積の適正割り当て分析 –，日本都市計画学会学術研究論文集，Vol.36，pp.865-870，2001.
10) 田中健一，栗田治：領域内通過量からみた放射・環状道路網の数理的分析，日本応用数理学会論文誌，Vol.13，No.3，pp.321-352，2003.
11) 鵜飼孝盛，栗田治：放射・環状道路網を有する扇形都市平面上の通過交通の分布，日本都市計画学会学術研究論文集，Vol.37，pp.43-48，2002.
12) 藤田学洋，鈴木勉：複数の環状路をもつ円盤都市における平均移動距離と流動量，都市計画学会論文集，No.38-3，pp.421-426，2003.
13) 三浦英俊：経路選択を考慮した放射環状道路モデル，日本オペレーションズ・リサーチ学会，春季研究発表会，pp.110-111，2002.
14) 田中健一，栗田治：円形都市における環状路の通過交通の分布，日本オペレーションズ・リサーチ学会，春季研究発表会，pp.168-169，2002.
15) 毛利雄一：首都圏 3 環状道路の整備がもたらすネットワーク効果と経済的変化，運輸と経済，第 75 巻，第 12 号，2015.
16) 片岸将広，埒正浩，川上光彦：環状道路整備による交通状況の変化と沿道市街地の変容に関する一考察，都市計画論文集，No.43-3，pp.847-852，2008.
17) 後藤梓，小木曽俊夫，榊真，吉田秀範，牧野浩志：ETC2.0 プローブ情報を用いた地方中核都市の環状道路の交通状況の比較，土木計画研究・講演集，Vol.56，CD-ROM 7pages，2017.
18) 後藤梓，小木曽俊夫，牧野浩志，榊真，吉田秀範：地方中核都市における環状道路の機能と分析手法に関する考察，土木計画学研究・講演集，Vol.57，CD-ROM 8pages，2018.
19) 後藤梓，小木曽俊夫，牧野浩志，池田裕二，榊真，牧佑奈：地方中核都市における環状道路の機能と通

過交通の実態分析，土木計画研究・講演集，Vol.58，CD-ROM 11pages，2019.
20) 鈴木龍一，下川澄雄，吉岡慶祐：地方都市における環状道路の速度サービス水準に関する一考察，第 33 回日本道路会議，CD-ROM 2pages，2019.
21) 青森市の環状道路に関する資料：https://www.city.aomori.aomori.jp/toshi-seisaku/shisei-jouhou/jyouhou-koukai/syakaishihon-hyouka-iinkai/documents/1.pdf
22) 盛岡市の環状道路に関する資料：http://www.city.morioka.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/024/254/gai.pdf
23) 仙台市の環状道路に関する資料：http://www.thr.mlit.go.jp/sendai/douro/kanjou/wa/after/k03/01.html
24) 秋田市の環状道路に関する資料：https://www.city.akita.lg.jp/shisei/machizukuri/1011485/1007503/1007645.html
25) 山形市：https://www.mlit.go.jp/common/001063003.pd
26) 福島市の環状道路に関する資料：http://www.thr.mlit.go.jp/fukushima/panf/pdf/fukushima_nishidoro_201609.pdf
27) 郡山市の環状道路に関する資料：https://www.city.koriyama.lg.jp/material/files/group/20/kannjyou2.pdf
28) 宇都宮市の環状道路に関する資料：https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/006/022/senryaku4_siryou2-2.pdf
29) 横浜市の環状道路に関する資料：https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/doro/jigyo_kikaku/doroseibi/kihonhoshin/kansen/kansen-2/kanjo2.html
30) 新潟市の環状道路に関する資料：https://www.city.niigata.lg.jp/smph/kurashi/doro/road/doroseibi/roadseibi/chuokanjodoro.html
31) 富山市の環状道路に関する資料：http://www.hrr.mlit.go.jp/toyama/common/old/gaikan/
32) 金沢市の環状道路に関する資料：https://www4.city.kanazawa.lg.jp/data/open/cnt/3/20296/6/shin-douro4_04shiryou3_2.pdf?20180516173109
33) 長野市の環状道路に関する資料：https://www.ktr.mlit.go.jp/nagano/nagano00079.html
34) 松本市の環状道路に関する資料：https://www.city.matsumoto.nagano.jp/shisei/matidukuri/kakusyu/dai5jiroadgokei.files/honpen30-53.pdf
35) 沼津市の環状道路に関する資料：https://www.city.numazu.shizuoka.jp/out_group/way/kanjyou/toha_h26.htm
36) 浜松市の環状道路に関する資料：https://www.city.hamamatsu.shizuoka.jp/w-shinko/ward/nishiku/conference/nishiku/nishi2906/documents/zentai.pdf
37) 津市の環状道路に関する資料：https://www.info.city.tsu.mie.jp/www/contents/1522226452572/simple/gaiyo.pdf
38) 松江市の環状道路に関する資料：http://www1.city.matsue.shimane.jp/machidukuri/toshikeikaku/tokeishin/kaisai-jokyo/kaisai_h29.data/19_toshimasu3.pdf
39) 岡山市の環状道路に関する資料：https://www.city.okayama.jp/shisei/0000003579.html
40) 福山市の環状道路に関する資料：https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/98/fukuyama-loop-road.html
41) 熊本市の環状道路に関する資料：http://kumamoto-3kiseikai.jp/kumamoto/kihon/pub/detail.aspx?c_id=5&id=3&pg=1
42) 宮崎市の環状道路に関する資料：http://www.pref.miyazaki.lg.jp/gijutsu-kikaku/shakaikiban/kokyojigyo/documents/36878_20180518182421-1.pdf
43) 那覇市の環状道路に関する資料：http://www.dc.ogb.go.jp/road/ir/data/seibi/pdf/seibi_1.pdf
44) 阪神高速の路線図：HPhttps://hanshin-exp.co.jp/drivers/douro/route/
45) 名古屋高速の路線図：https://www.nagoya-expressway.or.jp/guide/map/pdf/dm_toshin_201910.pdf
46) 国土交通省道路局，今後の「バスタプロジェクト」の展開に向けて：https://www.mlit.go.jp/common/001294007.pdf
47) 社団法人日本交通計画協会，全国街路事業促進協議会：都市と交通-特集・都市内における地域高規格道路-，No.43，1997.

(2020. 10. 2 受付)

APPLICABILITY OF θ-SHAPED ROAD NETWORK UNDER CLASSIFICATION OF RING ROAD PATTERNS

Hitoshi YOSHIZAWA, Yasuhiro NONAKA, Takashi ISHIDA, Makoto KASAI and Hidekatsu HAMAOKA

There are new road maintenance policies that prioritizes migration of pedestrians in center of cities. If this policy is to be implemented in rural cities, it is necessary to eliminate useless transit traffics in center of cities by arranging ring roads. However, if the shape of ring roads is deformed, the expected effect of ring roads may not be obtained. In this study, ring roads are classified according to patterns of elliptical shapes, and an evaluation model of bypass function is examined. So, we consider some basic conditions to eliminate useless transit traffics in center of cities by arranging ring roads. In addition, we discuss applicability of θ-shaped road network with road passing through in center of cities.