

放射環状型交通ネットワークの適正配置と その整備効果に関する数理的研究

藤田 学洋

(筑波大学大学院環境科学研究科環境科学専攻 現所属・富山県)
指導教官 鈴木 勉 助教授

1. はじめに

大都市圏における交通・輸送ネットワークは、例えば一般道路ネットワークに見るように、従来から存在する都心と郊外の各地を結ぶ多数の放射路と、都心の通過交通を緩和したり郊外間を連結したりするための環状路で構成されている。とりわけ主要な環状路は、自動車交通かもたらず渋滞や大気汚染、騒音等による沿道の住環境悪化という問題を解消するために、計画的につくられてきている。しかし、複数の環状路をモデル化して環状路の適正な配置や環状路の整備効果を数理的に解明した研究はほとんど見られない。

そこで本研究では、放射環状型交通ネットワークを有する都市モデルを用いて、環状路数は有限であるが放射路が稠密に存在する場合と、稠密な環状路と有限本数の高速な放射路・環状路が存在する場合の両者について平均距離や流動量を解析的に導出し、放射路・環状路の本数・パターンや速度の違いが移動距離・時間に与える影響を数理的に明らかにする。

2. 複数の環状路をもつ円盤都市における移動経路パターン

無限に稠密な放射路と複数本の環状路 (n 環状交通網と呼ぶ) を有する半径 R の円盤都市モデルを考える。出発地 $A(r, \theta)$ から目的地 $B(s, \phi)$ まで最短経路を移動するとしよう。中心経由の距離 d_0 と、中心か

ら数えて i 番目の環状路 (環状路 i) を経由する経路の距離 d_i は、

$$d_i(r, \theta, s, \phi) = \begin{cases} r+s & i=0 \\ |r-a_i|+a_i|\phi-\theta|+|s-a_i|, & i=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

と表されるので、最短距離は $d = \min_i d_i$ と表される。環状路が3本の場合(3環状交通網)を例に、 $A(r, \theta)$ からの経路パターンと経由する環状路による領域分割 $S_i(r, \theta) = \{B(s, \phi) | d = d_i\}$ は図1に示す通りになる。

3. 地点別平均距離と2地点間の平均距離

中心 O からの距離 r における人口密度を $\rho(r)$ とすると、ある出発地 A から円盤都市内の任意の目的地 B までの地点別平均距離 $D'_{nr}(r)$ は、総移動距離を都市内の総人口で除すことにより求められ、図1の領域分割を用いて次の式で表される。

$$D'_{nr}(r) = \frac{\sum_{i=0}^n \int_{S_i} \rho(s) \cdot d(r, \theta, s, \phi) ds d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^R \rho(s) ds d\phi} \quad (2)$$

人口密度分布が一樣な場合 ($\rho(s)=1$) の n 環状交通網 ($n=1, 2, 3$) の地点別平均距離を、 $R=1$ として無数の放射路のみ D'_R 、放射環状 D'_{AR} 、直線距離 D'_D の場合と対比させながら図2に示す。放射路のみの分布から環状路を1本加えると環状路の外側にある地点に

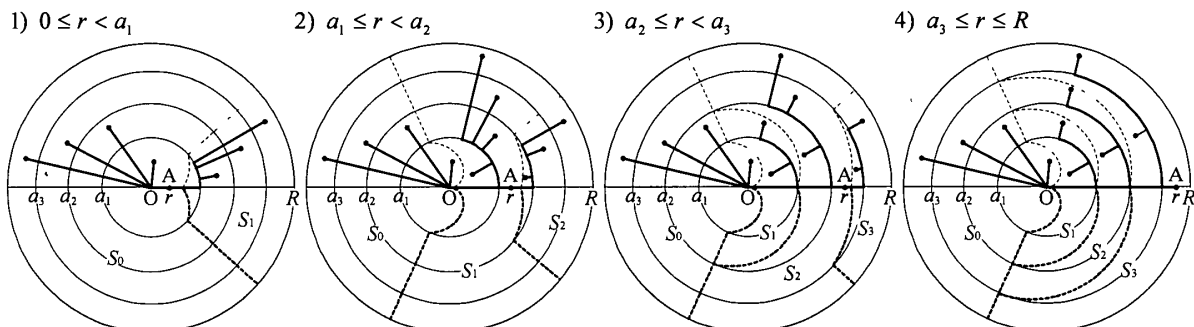


図1 出発地 $A(r, 0)$ からの最短経路パターンと領域分割 ($n=3$)

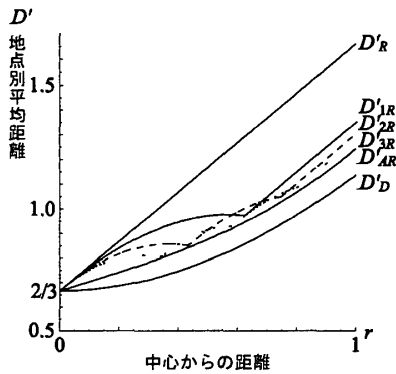


図2 経路パターン別の D' の分布

において平均距離は大きく減少し、環状路の本数が増えていくに従って n 環状交通網の地点別平均距離の分布は、放射環状の地点別平均距離に収斂する。

また、 n 環状交通網における任意の2地点間の平均距離 D_{nR} は、前節で導出した地点別平均距離を用いて、

$$D_{nR} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^R \rho(r) \cdot D'_{nR}(r) r dr d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^R \rho(r) r dr d\theta} \quad (3)$$

と表せる。人口密度分布が一様な場合 ($\rho(r)=1$) を例に導出すると、

$$D_{nR} = \frac{4}{3}R - \frac{19}{45\pi R^4}a_n^5 + \frac{2}{\pi R^2}a_n^3 - \frac{2}{\pi}a_n + \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{a_i(a_{i+1}-a_i)}{45\pi R^4} \times \{-13a_{i+1}^3 + 18a_i^3 - 11a_{i+1}a_i(a_{i+1}-a_i) - 30(a_{i+1}+2a_i)R^2\} \right] \quad (4)$$

となり、環状路の位置による平均距離の違いを記述できる。

4. 環状路の最適配置と環状路上の流動量

2地点間の平均距離 D_{nR} を用いて、これを最小にする環状路の位置 a_1, a_2, \dots, a_n を求めることができ、これを環状路の最適配置と呼ぶ。人口密度分布が一様な場合 ($\rho(r)=1$) について、環状路が10本までの最適配置時の平均距離を図3に示す。無限に稠密な放射路に環状路を1本加えるだけで2地点間の平均距離は大きく減少し、環状路本数を増加させると放射環状交通網の平均距離に収束する。

2地点間の平均距離を最小にするような環状路の最適配置パターン(図4)は、人口密度分布が一様な場合、都心と縁辺の中央よりやや外側で密になる。また、このときの環状路上の流動量を求めると、都心部と都市縁辺部の中間的な地域で環状路に対する需要が大きいことが言える。さらに、線形およびClark型の人

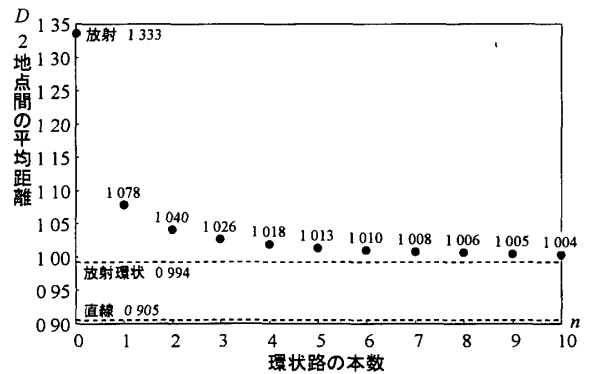


図3 n 環状交通網の2地点間の平均距離

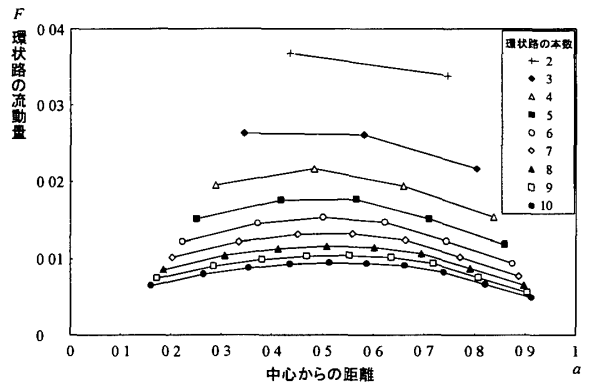


図4 環状路の最適配置と環状路上の流動量

口密度分布を与えた場合の環状路の最適配置パターンについても求めることができ、一様な場合より都心側に多くの環状路が必要であることが分かった。

5. おわりに

本研究の結果、環状路を数本設置するだけで都市内の地点間の移動距離は大幅に短縮できること、人口分布が一様な場合の環状路の最適位置は都心と都市境界(縁辺)の中央よりやや外側で最も密になること、同様に環状路を通行する流動量も都心と都市境界の中央よりやや外側で最大となることが明らかとなった。

また、(紙面の制約により本稿では割愛したが)有限本数の高速な放射路・環状路が存在する場合について、移動経路による領域分割から平均距離や高速路を用いるトリップの割合を導出すると、一定の高速路延長で平均距離を最小にするには放射路と環状路のバランスの取れた整備が必要であること、目標とする鉄道分担率を達成するために必要なネットワーク整備量が導出可能なことが明らかとなった。

参考文献

[1] R Vaughan. *Urban spatial traffic patterns*, Pion Limited, 334 p, 1987