Ⅱ－13　　都市における環状輸送路の位置について

名古屋大学工学部　　正員　　河上省吾

1. はじめに

大都市の輸送路線網は放射環状型が多い。そこで、本研究では円形の仮想都市に放射環状輸送路を設ける場合、環状線の位置をどこにするのが望ましいかを検討する。ここでは通勤輸送を対象とし、通勤者はすべて円形都市の中心にある都心へ通勤するものと仮定して、都市全体の総通勤輸送時間を最小にする環状線の位置を決定する。通勤者の単位面積当たりの発生率は、都心を中心とした同一円周上では一様とする。また放射線を何本設けるかという問題があるが、これは放射線の輸送能力から別に決め、放射線はそのはさむ角度が等しくなるように配置する。いま放射線が4本の場合を図示すると図－1のようになる。本研究では輸送路を大量輸送機関の路線と考える。そして都市内の各地点は極座標（ra, θ）で表わし、都市の外周までの距離を a とする。

2. 放射線の本数

1放射線の輸送容量を C 人/hr とすると、最大輸送量となる都心近辺でも放射線を通過する人員は容量を越えることができないから、次のようにして放射線の本数を決定する。いま輸送路を利用して都心へ集まる旅客総数 P は人口密度、単位時間人口当たり旅客発生率をそれぞれ $Q(r)$, $G(r)$ とすると、次式で与えられる。

$$P=\int_0^1 2\pi ra Q(r) G(r) a dr = 2\pi a^2 \int_0^1 Q(r) G(r) r dr \qquad (1)$$

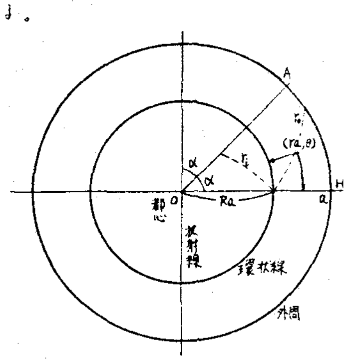
ゆえに、いま $[P/C]$ を P/C より小さくない最小の整数とすると、これが必要最小限の放射線の本数となる。従って、このとき放射線のはさむ角度は $2\pi/[P/C] = 2\alpha$ である。

3. 乗客の利用経路

都市内の各地点から発生する都心への通勤者は次の2経路のうち所要時間の小さい方を利用するものと仮定する。

経路1：輸送需要の発生地点を通る円周上を最も近い放射線まで歩き、そこから放射線に乗って中心まで行く。

経路2：輸送需要の発生地点を通る半径上を（最も近い）環状線まで歩き、そこから環状線と放射線を利用して中心まで行く。



図－1

いま、大量輸送機関の輸送速度 v_t と歩行速度 v の比を k とすると、$v_t = kv$ である。都心から環状線までの距離を Ra とすると、(ra, θ), O 間の経路1，2の所要時間はそれぞれ次のようになる。　経路1：$(r\theta/v + r/kv)a$　　経路2：$\{|r-R|/v + (R\theta+R)/kv\}a$

従って、各地点における利用経路は次のようになる。

(1) $r \geq R$ の場合	$\theta < (k-1)/k$	$\theta > (k-1)/k$
$r \geq (\theta-k+1)R/(k\theta-k+1)$ のとき	経路1	経路2
$r < (\theta-k+1)R/(k\theta-k+1)$ のとき	経路2	経路1

(2) r＜Rの場合

$r \leq (\theta+k+1)R/(k\theta+k+1)$ のとき 経路1、 $r > (\theta+k+1)R/(k\theta+k+1)$ のとき 経路2

ところで、一般には $k \geq 3$ であり、$\angle AOH \leq 45°$ であるから、$\theta < (k-1)/k$ の場合についてのみ検討すれば十分である。

4. 総輸送時間

人口密度Q(r)，都心への人口当たり旅客発生率G(r)がいずれも同一円周上では一定と仮定すると、この都市における総輸送時間はAOH内の乗客の総輸送時間の $2\pi/\alpha$ 倍となる。以下に、Q(r)，G(r)を仮定したときの総輸送時間の計算式を示す。

(1) 人口密度、旅客発生率が一様の場合、$Q(r)=q$，$G(r)=g$

Q(r)，G(r)が半径方向にも一様である場合について考察する。いま、$r_0=(\theta-k+1)R/(k\theta-k+1)$ と、$r_i=(\theta+k+1)R/(k\theta+k+1)$ を定義する。そして $\angle AOH=\alpha$ とすると r_0 と直線OAとの交点は $\{(\alpha-k+1)R/(k\alpha-k+1),\ \alpha\}$ で、この交点が都市外周上にあるのは、Rが $(k\alpha-k+1)/(\alpha-k+1)$ のときで、このときのRの値を R_0 で表わす。さきに設けた乗客の利用経路の仮定により総輸送時間Tを計算すると次のようになる。

1) $R \leq R_0$ のとき

$$T=\frac{2\pi}{\alpha}\left\{\int_0^{\alpha} gq\,d\theta\int_{r_0}^{1}\left(\frac{r\theta}{v}+\frac{r}{kv}\right)a^3r\,dr+\int_0^{\alpha} gq\,d\theta\int_R^{r_0}\left(\frac{r-R}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)a^3r\,dr+\int_0^{\alpha} gq\,d\theta\int_{r_i}^{R}\left(\frac{R-r}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)a^3r\,dr+\int_0^{\alpha} gq\,d\theta\int_0^{r_i}\left(\frac{r\theta}{v}+\frac{r}{kv}\right)a^3r\,dr\right\} \tag{2}$$

2) $R > R_0$ のとき

r_0 と都市外周との交点の角度 θ_0 は、$\theta_0=(k-1)(1-R)/(k-R)$ である。よって次式を得る。

$$T=\frac{2\pi}{\alpha}\left\{\int_0^{\theta_0} gq\,d\theta\int_{r_0}^{1}\left(\frac{r\theta}{v}+\frac{r}{kv}\right)a^3r\,dr+\int_0^{\theta_0} gq\,d\theta\int_R^{r_0}\left(\frac{r-R}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)a^3r\,dr+\int_{\theta_0}^{\alpha} gq\,d\theta\int_R^{1}\left(\frac{r-R}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)a^3r\,dr\right.$$
$$\left.+\int_0^{\alpha} gq\,d\theta\int_{r_i}^{R}\left(\frac{R-r}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)a^3r\,dr+\int_0^{\alpha} gq\,d\theta\int_0^{r_i}\left(\frac{r\theta}{v}+\frac{r}{kv}\right)a^3r\,dr\right\} \tag{3}$$

(2) 人口密度、旅客発生率が直線的に変化する場合、$Q(r)=-q(r-1)$ 、$G(r)=-g(r-1)$

1) $R \leq R_0$ のとき

$$T=\frac{2\pi}{\alpha}\left\{\int_0^{\alpha} d\theta\int_{r_0}^{1}\left(\frac{r\theta}{v}+\frac{r}{kv}\right)agq(r-1)^2a^2r\,dr+\int_0^{\alpha} d\theta\int_R^{r_0}\left(\frac{r-R}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)agq(r-1)^2a^2r\,dr+\int_0^{\alpha} d\theta\int_{r_i}^{R}\left(\frac{R-r}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)agq(r-1)^2a^2r\,dr\right.$$
$$\left.+\int_0^{\alpha} d\theta\int_0^{r_i}\left(\frac{r\theta}{v}+\frac{r}{kv}\right)agq(r-1)^2a^2r\,dr\right\} \tag{4}$$

2) $R > R_0$ のとき

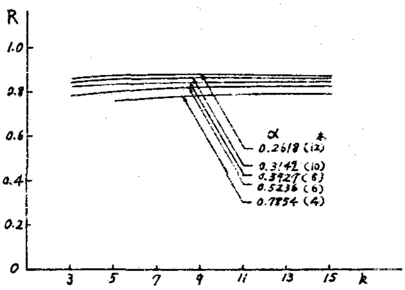
$$T=\frac{2\pi}{\alpha}\left\{\int_0^{\theta_0} d\theta\int_{r_0}^{1}\left(\frac{r\theta}{v}+\frac{r}{kv}\right)agq(r-1)^2a^2r\,dr+\int_0^{\theta_0} d\theta\int_R^{r_0}\left(\frac{r-R}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)agq(r-1)^2a^2r\,dr+\int_{\theta_0}^{\alpha} d\theta\int_R^{1}\left(\frac{r-R}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)agq(r-1)^2a^2r\,dr\right.$$
$$\left.+\int_0^{\alpha} d\theta\int_{r_i}^{R}\left(\frac{R-r}{v}+\frac{R\theta+R}{kv}\right)agq(r-1)^2a^2r\,dr+\int_0^{\alpha} d\theta\int_0^{r_i}\left(\frac{r\theta}{v}+\frac{r}{kv}\right)agq(r-1)^2a^2r\,dr\right\} \tag{5}$$

望ましい環状線の位置を決定するためには、このTを最小にするRの値を求めればよいわけだが、$\frac{dT}{dR}=0$ とおいて最小値を求める方法はTの計算式の構造が複雑なためむつかしいので、ここではR

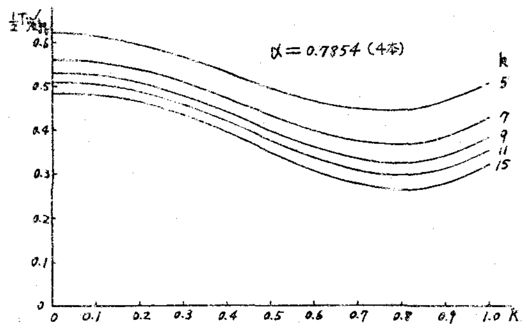
をいろいろ仮定してその都度Tの値を計算し、最小値を与えるRを求めた。実際にはTの代りに$\frac{1}{2}(Tv/a^2qg)$をk, αを仮定して計算し、最適なRを求めた。

5. 計算結果と考察

人口密度、旅客発生率が一様の場合の計算結果を図−2，3，4に示した。図−2は、α，kの各値に対する、Tを最小にする環状線の半径Rを示したもので、図−3はα，kの各値に対する、最適

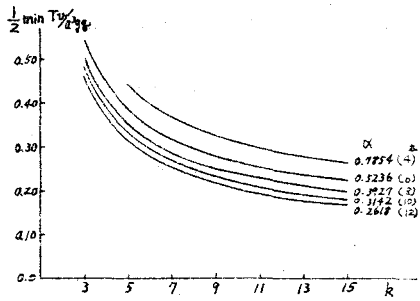


図—2



図—4

なRを採用したときの総輸送時間の最小値$\frac{1}{2}(Tv/a^2qg)$を示している。そして図−4はα＝0.7854（放射線が4本）のとき、kを仮定し、いろいろのRに対して$\frac{1}{2}(Tv/a^2qg)$を計算したものである。これらの図から、円形都市において人口密度、旅客発生率が一様の場合は次のことがいえる。



図—3

図−2から、αの値が小さくなる（すなわち放射線の本数が多くなる）に従って、また大量輸送機関の輸送速度と歩行速度の比kの値が大きくなるに従って総輸送時間Tの最小値を与える環状線の半径Rは大きくなることがわかる。しかし、kおよびαの値が$3 \leq k \leq 15$，$0.7854 \geq \alpha \geq 0.2618$（放射線4本〜12本）のときは、これらk，αの変動が最適な環状線の半径Raに与える影響は小さく、つねにRは0.76〜0.83の範囲にあることがわかる。図−3から、kの値が大きくなるに従って、またαの値が小さくなるに従って総輸送時間Tの最小値は小さくなることがわかる。しかし、放射線の本数を1本増加することによる総輸送時間T_{min}の短縮量は、放射線本数が増加するに従って小さくなる。ゆえに放射線が多くなるほど放射線を1本増加することによる効果は小さくなることがわかる。また、輸送機関の速度を増加することによる輸送時間短縮効果も速度が大きくなるに従って小さくなることがわかる。図−4から、環状線の位置Raによって総輸送時間Tが変化する様子がわかる。Tは、R＝0すなわち環状線がない場合最も大きく（T_{max}）、Rが大きくなるに従って小さくなり、Rが0.76〜0.80で最小となり（T_{min}）、Rが0.80以上になるとふたたび大きくなる。このとき、T_{min}/T_{max}を計算すると0.713〜0.586で、この値はkが大きくなるに従って小さくなる。ゆえに、kが大きいほど環状線を設ける効果は大きいことがわかる。また環状線を設置することにより、30〜40％総輸送時間を短縮できることがわかる。

さきに本研究では、放射線をそのはさむ角度が等しくなるように配置すると仮定したが、ここに得た計算結果から、放射線を等角度配置した場合にTが最小になることがわかる。