都市規模とルートパターンによる道路密度に関する研究

京都大学工学部　正員　奥谷　巖
〃　学員　○波多野孝

1．はしがき　本研究は道路網形態，交通形態，事業所・住居の密集の度合い，通勤者数通勤ラッシュ継続時間などを要素とした場合，都市の通勤交通に要する道路面積および各地点ごとでの道路密度と，通勤交通の平均トリップ長，平均所要時間とを，円形都市と正方形都市の場合について，基礎的な立場から導き出すことを試みたものである。

2．都市のモデル　(Ⅰ)円形都市の場合，半径 b の円形都市を考え，その中の半径 a の同心円内の地域を業務地域，残りを住居地域と考える。住居地域にのみ都市人口が居住する場合と，業務地域にも都市人口の2割と，4割が居住する場合を考えた。(Ⅱ)正方形都市の場合一辺 $2b'$ の正方形都市を考え，その真中の一辺 $2a'$ の正方形内の地域を業務地域とし，残りを住居地域と考える。比較の意味で(Ⅰ)と(Ⅱ)の都市面積は同一とした。(Ⅰ)，(Ⅱ)とも通勤手段は乗用車のみとする。(Ⅰ)の場合，通勤者は以下の5経路に従って通勤するものとした。経路1は半径方向に都心まで進みそこから再び半径方向に通勤先まで行く経路。経路2は半径方向に通勤先の位置する同心円上にまで進みそこから円周方向に沿って通勤先へ行く経路。経路3は円周方向に通勤先の位置する半径上にまで進みそこから半径方向に通勤先へ行く経路。経路4は，半径方向に半径 a の所まで進み境界に設けられる環状道路を通勤先と同一半径上にまで進み，そこから半径方向に通勤先にまで行く経路。経路5は乗用車の出発地，通勤先を極座標で (ξ,θ)，(η,θ') とおくと，$\theta-2 \leq \theta' \leq \theta+2$ の範囲内にある通勤先へ行く場合，まず半径方向に通勤先と同一円周上にまで進み，そこから円周方向に通勤先へ行く経路をとり，$\theta+2 < \theta' < \theta-2+2\pi$ の範囲内にある通勤先へ行く場合は半径方向に都心まで進み，そこから再び半径方向に通勤先まで行く経路を取る。但 $\theta\pm2$ の境界線上は前者の経路と後者の経路との走行距離が等しくなる所である。(Ⅱ)の場合，通勤者は x 軸に平行あるいは垂直に無限にあると仮定される道路を経由して通勤する。xy 座標系で出発地を (ξ,η)，通勤先を (u,v) とすると，x 軸に平行に出発したものは u 地点で x 軸に垂直に向きをかえ，通勤先へ行く経路をとり，x 軸に垂直に出発したものはその逆をとる。出発地から x 軸に平行，垂直に行くものの割合は $1:1$ とする。

3．上記のものを算出するための諸量の定式化　まず(Ⅰ)の場合について述べる。円形都市内の各地点を表現するために極座標を導入する。つぎに点 (ξ,θ) における単位面積当りのパーソントリップエンド数を表わす函数を $g(\xi,\theta)$ とすると，通勤者が点 (ξ,θ) にパーソントリップエンドを有する確率は $\frac{1}{T} g(\xi,\theta)\xi d\xi \cdot d\theta$ として表わされることになる。ここに T は総パーソントリップエンド数であり，通勤者数である。このような概念を導入することにより円形都市内各地点 (y,φ) を通る自動車交通量を算定し，それより道路密度，道路面積が求められる。また平均通勤距離，平均通勤時間も求められる。いま都市人口が住居地域内にのみ居住する場合の経路5について諸量を定式化してみる。ここで以下に用いる記号の表示を行なう。k；$= \frac{gu}{n}$ で一人当りの通勤車台数，g；世帯自動車保有率，u；通勤自動車利

用率, m; 世帯当り平均通勤者数, w; 道路一車線の幅員, T; 通勤ラッシュ継続時間, Q; 一車線当りの実用容量, 点(ξ,θ), 点(η,θ'); 通勤発生地点と目的地点, N_0; 通勤交通量, 添字1, 2は業務地域内, 住居地域内のものを表わし, 添字r, cは半径方向, 円周方向の交通量を表わす。S_r; 道路面積, v_1; 業務地域内の車の平均速度, v_2; 住居地域内の車の平均速度。　つぎに都市の単位面積当りのパーソントリップエンド数を表わす函数として, 業務地域内では $g(\eta,\theta')=\mu_1 e^{-\lambda_1\eta}$, 住居地域内では $g(\xi,\theta)=\mu_2 e^{-\lambda_2(\xi-a)}$ を仮定する。

経路5の自動車交通量は以下のようになる。

i) $0\leq y\leq a$

$$N^1_{0r}(y,\varphi)d\varphi=kT\left[\frac{1}{T}\int_a^b g(\xi,\varphi)\xi d\xi d\varphi\cdot\frac{1}{T}\left\{\int_0^{2\pi}\int_0^y g(\eta,\theta')\eta d\eta d\theta'+\int_{\varphi+z}^{\varphi+2\pi-z}\int_y^a g(\eta,\theta')\eta d\eta d\theta'\right\}\right]$$
$$+kT\left[\int_{\varphi+z-2\pi}^{\varphi-z}\left\{\frac{1}{T}\int_a^b g(\xi,\varphi)\xi d\xi d\varphi\cdot\frac{1}{T}\int_y^a g(\eta,\theta')\eta d\eta\right\}d\theta'\right]$$
$$=\frac{k\mu_1}{\pi\lambda_1^2}\left\{(\pi-4)e^{-\lambda_1 y}(\lambda_1 y+1)-(2\pi-4)e^{-\lambda_1 a}(\lambda_1 a+1)+\pi\right\}d\varphi$$
$$N^1_{0c}(y,\varphi)dy=\int_{\varphi-z}^{\varphi}kT\left\{\frac{1}{T}\int_a^b g(\xi,\theta)\xi d\xi\cdot\frac{1}{T}\int_\varphi^{\theta+z} g(y,\theta')y dy d\theta'\right\}d\theta+\int_\varphi^{\varphi+z}kT\left\{\frac{1}{T}\int_a^b g(\xi,\theta)\xi d\xi\cdot\frac{1}{T}\int_{\theta-z}^{\varphi} g(y,\theta')y dy d\theta'\right\}d\theta$$
$$=\frac{2k}{\pi}\cdot\mu_1 e^{-\lambda_1 y}\cdot y\,dy$$

ii) $a\leq y\leq b$

$$N^2_{0r}(y,\varphi)d\varphi=kT\left\{\frac{1}{T}\int_0^{2\pi}\int_0^a g(\eta,\theta')\eta d\eta d\theta'\cdot\frac{1}{T}\int_y^b g(\xi,\varphi)\xi d\xi d\varphi\right\}$$
$$=\frac{k\mu_2 e^{\lambda_2 a}}{\lambda_2^2}\left[e^{-\lambda_2 y}(\lambda_2 y+1)-e^{-\lambda_2 b}(\lambda_2 b+1)\right]d\varphi$$

微小面積$y\,dy\,d\varphi$における道路面積dSは　$dS=\frac{w}{TQ}N_{0r}(y,\varphi)d\varphi dy+\frac{w}{TQ}\cdot N_{0c}(y,\varphi)dy\,y\,d\varphi-\frac{w^2}{TQ^2}N_{0r}(y,\varphi)d\varphi\cdot N_{0c}(y,\varphi)dy$

となる。したがって(y,φ)地点における道路密度D_rは　$D_r=dS/y\cdot dy\cdot d\varphi\times 100\%$ となり, 道路面積S_rは　$S_r=\iint_{\mathcal{D}}dS$　($\mathcal{D}$は領域)となる。これにより経路5の道路面積を算定すると次式のようになる。

$${}_1S_r=\frac{4k\mu_1}{\lambda_1^3}\cdot\frac{w}{TQ}\left\{2-e^{-\lambda_1 a}(\lambda_1^2 a^2+2\lambda_1 a+2)\right\}+\frac{2k\mu_1}{\lambda_1^2}\cdot\frac{w}{TQ}\left[\frac{\pi-4}{\lambda_1}\left\{2-e^{-\lambda_1 a}(\lambda_1 a+2)\right\}+a\left\{\pi-(2\pi-4)e^{-\lambda_1 a}(\lambda_1 a+1)\right\}\right]$$
$$-4\pi\left(\frac{k\mu_1}{\pi\lambda_1^2}\cdot\frac{w}{TQ}\right)^2\left[\left\{\pi-(2\pi-4)e^{-\lambda_1 a}(\lambda_1 a+1)\right\}\left\{1-e^{-\lambda_1 a}(\lambda_1 a+1)\right\}+\frac{\pi-4}{2}\left[1-\left\{e^{-\lambda_1 a}(\lambda_1 a+1)\right\}^2\right]\right]$$
$${}_2S_r=\frac{2\pi k\mu_2 e^{\lambda_2 a}}{\lambda_2^2}\cdot\frac{w}{TQ}\left[\frac{1}{\lambda_2}\left\{e^{-\lambda_2 a}(\lambda_2 a+2)-e^{-\lambda_2 b}(\lambda_2 b+2)\right\}+e^{-\lambda_2 b}(\lambda_2 b+1)(a-b)\right]$$

また経路5の平均通勤距離$\bar{d}$, 平均通勤時間$\bar{t}$を算出してみる。点(ξ,θ)から点(η,θ')への経路5の走行距離Dと所要時間Jは, i) $\theta-z\leq\theta'\leq\theta+z$ の時, $D=\xi-\eta+\eta|\theta-\theta'|$, $J=\frac{\xi-a}{v_2}+\frac{a-\eta+\eta|\theta-\theta'|}{v_1}$

ii) $\theta+z<\theta'<\theta-z+2\pi$ の時, $D=\xi+\eta$, $J=\frac{\xi-a}{v_2}+\frac{a+\eta}{v_1}$ となるので$\bar{d}$, $\bar{t}$を次式で求める。

$$\bar{d}=\int_0^{2\pi}\int_0^a\int_0^{2\pi}\int_a^b\frac{1}{T}g(\xi,\theta)\xi\cdot\frac{1}{T}g(\eta,\theta')\eta\times D\,d\xi d\theta d\eta d\theta'=K\left[Ⓒ\times Ⓑ+\frac{\pi-2}{\pi}\cdot Ⓓ\times Ⓐ\right]$$
$$\bar{t}=\int_0^{2\pi}\int_0^a\int_0^{2\pi}\int_a^b\frac{1}{T}g(\xi,\theta)\xi\cdot\frac{1}{T}g(\eta,\theta')\eta\times J\,d\xi\cdot d\theta\,d\eta\cdot d\theta'=\frac{K}{v_1v_2}\left[v_1\times Ⓒ\times Ⓑ+Ⓓ\times\left\{a(v_2-v_1)\times Ⓒ+\frac{\pi-2}{\pi}\cdot v_2\times Ⓐ\right\}\right]$$

但　$K=\frac{4\pi^2}{T^2}\mu_1\mu_2 e^{\lambda_2 a}$, $Ⓐ=\left[2-e^{-\lambda_1 a}\left\{(\lambda_1 a+1)^2+1\right\}\right]/\lambda_1^3$, $Ⓑ=\left[e^{-\lambda_2 a}\left\{(\lambda_2 a+1)^2+1\right\}-e^{-\lambda_2 b}\left\{(\lambda_2 b+1)^2+1\right\}\right]/\lambda_2^3$

$Ⓒ=\frac{T}{2\pi\mu_1}=\left\{1-e^{-\lambda_1 a}(\lambda_1 a+1)\right\}/\lambda_1^2$, $Ⓓ=\frac{T}{2\pi\mu_2 e^{\lambda_2 a}}=\left\{e^{-\lambda_2 a}(\lambda_2 a+1)-e^{-\lambda_2 b}(\lambda_2 b+1)\right\}/\lambda_2^2$

(II)の場合については同様な考察により定式化を行った。パーソントリップエンド数を表わす函数として, $g(x,y)=\mu_1 e^{-\lambda_1\sqrt{x^2+y^2}}$ を仮定したので, 解析的な積分は出来ず数値積分によって諸量を求めなければならない。

以上のように算定された式にしたがって最大1000万人から最小30万人の人口のものまで6つの都市規模を考えその諸数値を代入することにより各経路ごと, および都市規模別の各諸量を算出し, それにより比較検討を行うものである。なおこれらの定量的に求めたものを利用して, 基本的な考え方に立って, 評価基準, 評価函数を決めることなどにより, 総合的にある面から判断できるようなものにできるので, そういったものの基礎的なものとして考察を行った。