1996年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
春季研究発表会

交通需要低減の視点から見た業務立地

01205430　(財)電力中央研究所　鈴木　勉　SUZUKI Tsutomu

1．はじめに

道路混雑や省エネルギー・環境負荷の低減等の観点から、都市における交通需要を低減させるためには、居住地と業務地との近接性（通勤距離の短縮）と同時に、業務地同士の近接性（業務移動距離の短縮）も望まれている。これを単純に距離で評価するとリング状の業務立地が導かれる（鈴木[3]）が、本稿ではリング状分散がどの程度望ましいものであるかについて簡単なモデルを用いて検討する。

2．通勤・業務距離の総和を最小化する業務立地

鈴木[3]のモデルではゾーンの内々移動の距離が残り、解にバイアスを与えるという問題があった。本稿では人口分布を連続としてこの問題を除去しよう。

2.1 一次元離散型業務地モデルによる予備検討

一次元都市[-1,1]上に一様・連続な居住地分布（密度1、総人口2）を仮定する。業務地は中心を対称にn $(=2m)$個$(m\geq 1)$あるとし、中心より右側の業務立地点を$0\leq x_1\leq x_2\leq\cdots\leq x_m\leq 1$とする（図１）。また就業者は最近隣の業務地を選択するとし、その業務地には通勤してくる就業者数に見合った受け皿があるとする。業務地間に発生する業務移動数は距離に依存せず、発着地の就業者数に比例するとし、「業務発生率」（就業者一人一日当たりの業務移動数）をαと置く。

このとき、平均通勤距離d_c、平均業務距離d_bは各々

$$d_c=\frac{1}{4}\sum_{l=1}^{m-1}(x_{l+1}-x_l)^2+\frac{1}{2}\{x_1^2+(1-x_m)^2\}, \tag{1}$$

$$d_b=\alpha\{2\sum_{l=1}^{m-1}\sum_{k=l+1}^{m}\frac{(x_{l+1}-x_{l-1})(x_{k+1}-x_{k-1})}{4}x_k+\sum_{l=1}^{m}\frac{(x_{l+1}-x_{l-1})^2}{4}x_l\} \tag{2}$$

となる。但し$x_0=-x_1$,　$x_{m+1}=2-x_m$である。ここで、通勤及び業務の総距離を最小化する業務地分布は均等となることが証明できる（付章参照）ので、(1)(2)は

$$d_c=\frac{1}{2}\{\frac{x_m^2}{2m-1}+(1-x_m)^2\}, \tag{3}$$

$$d_b=\alpha x_m\{1+\frac{4m(1-m)}{3(2m-1)^2}x_m^2\} \tag{4}$$

と簡単化でき、mを所与とすれば平均総距離$d=d_c+d_b$を最小化する最外縁の業務地の位置x_m^*は、$\partial d/\partial x_m=0$より、$0\leq\alpha\leq 1$の場合

$$x_m^*=\frac{(2m-1)\{\sqrt{m}-\sqrt{(2\alpha-1)^2m-4\alpha(\alpha-1)}\}}{4\alpha(m-1)\sqrt{m}} \tag{5}$$

と求められる（図４上の薄線）。また、

$$\frac{\partial d}{\partial m}=-\frac{x_m^2(6m+4\alpha x_m-3)}{3(2m-1)^3}<0 \tag{6}$$

となることから、業務地数を増加すると平均総距離は減少することが分かる。

2.2 一次元連続型業務地モデル

業務地数を無数に多くした場合、上述の総距離最小化の解は図２上のような連続型の業務分布に近づく。これを用いて以下に解析的に解を求めよう。業務集積の「極」の位置をx_mとし、これより外側に居住する就業者は全て極に勤務し、内側は職住一致になっているとする。通勤は極で働く者のみが行う。このとき、平均総距離は(3)(4)の和で$m\to\infty$とすることで

$$d=d_c+d_b=\frac{1}{2}(1-x_m)^2+\frac{\alpha}{3}x_m(3-x_m^2) \tag{7}$$

と求められる。これより業務比率αを変えたときのdとx_mの関係は図３上のようになる。x_mでの一階微分は

$$\frac{\partial d}{\partial x_m}=(1-x_m)\{\alpha(1+x_m)-1\} \tag{8}$$

となるので平均総距離を最小にする極の位置x_m^*は

$$x_m^*=\begin{cases}1, & 0\leq\alpha<\frac{1}{2},\\ \frac{1-\alpha}{\alpha}, & \frac{1}{2}\leq\alpha\leq 1,\\ 0, & \alpha>1\end{cases} \tag{9}$$

となる（図４上）。この結果から、図２上のようなリング状分散が総距離最小をもたらすのはαが0.5～1の範囲にある場合で、αがこれより小さい時は完全分散、大きい時は一極集中となることが分かる。しかし図３上を見てもα=0.7付近ではdはαによらずほぼ一定であり、分散型が望ましいケースもあるが、その場合業務分布による総距離の変動は小さいと言える。

2.3 二次元連続型業務地モデル

同様のことを半径1の円盤状都市で検討しよう。居住密度は一様・連続で密度1であるとする（総人口はπ）。業務立地は図２下のようにリング状の極を持つ形になるとし、2.1で証明した内部業務地の均等配置・職住一致は二次元でも成立すると仮定する。通勤は極以遠の就業者のみが行い、最小化すると都心から同方向の移動のみとなるので、平均通勤距離は

$$\begin{aligned}d_c&=\frac{1}{\pi}\cdot 2\pi\int_{x_m}^{1}x(x-x_m)dx\\&=\frac{1}{3}(1-x_m)^2(2+x_m)\end{aligned} \tag{10}$$

となる。また、一様に分布する半径aの円周上の2点間平均距離、円周とその内部の円盤上の2点間距離、円盤上の2点間距離がそれぞれ$4a/\pi$, $32a/9\pi$, $128a/45\pi$となる（栗田他[2]）ことから、平均業務距離は

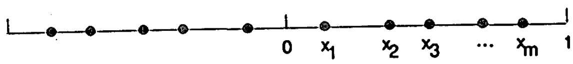

図１ 離散型業務地モデル（一次元）

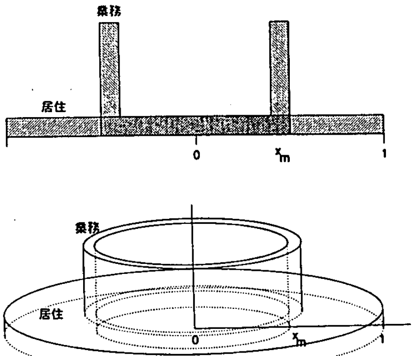

図２ 連続型業務地モデル
（上：一次元，下：二次元）

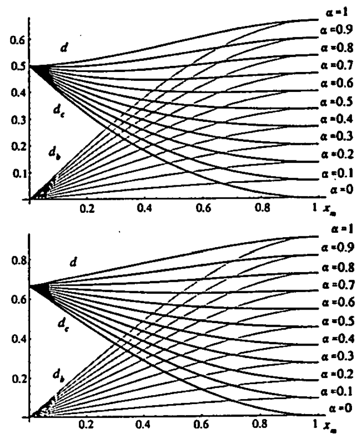

図３ 極の位置と総距離の関係
（上：一次元，下：二次元）

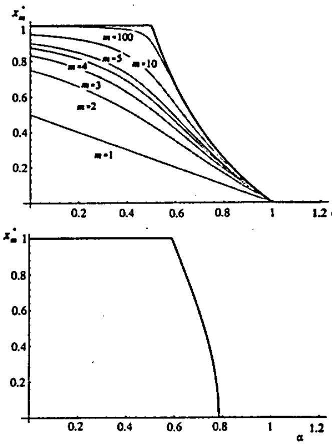

図４ 距離を最小化する極の位置
（上：一次元，下：二次元）

$$d_b=\frac{\alpha}{\pi^2}\{\pi^2(1-x_m^2)^2\frac{4x_m}{\pi}+\pi^2(1-x_m^2)x_m^2\frac{32x_m}{9\pi}\cdot 2+\pi^2x_m^4\frac{128x_m}{45\pi}\}=\alpha\frac{4x_m}{45\pi}(45-10x_m^2-3x_m^4) \quad (11)$$

となり、平均総距離は

$$d=d_c+d_b=\frac{1}{3}(1-x_m)^2(2+x_m)+\alpha\frac{4x_m}{45\pi}(45-10x_m^2-3x_m^4) \quad (12)$$

と求められる（図３下）。x_mによる一階微分は

$$\frac{\partial d}{\partial x_m}=(1-x_m)(1+x_m)\{\frac{4\alpha}{3\pi}(3+x_m^2)-1\} \quad (13)$$

となるので、平均総距離を最小にする極の位置x_m^*は

$$x_m^*=\begin{cases}1, & 0\leq\alpha<\frac{3\pi}{16}\ (\fallingdotseq 0.589),\\ \sqrt{3(\frac{\pi}{4\alpha}-1)}, & \frac{3\pi}{16}\leq\alpha\leq\frac{\pi}{4}\ (\fallingdotseq 0.785),\\ 0, & \alpha>\frac{\pi}{4}\end{cases} \quad (14)$$

となる。図４下にαによるx_m^*の変化を示す。二次元の場合は、リング状分散が総距離最小をもたらすαの範囲は0.589～0.785へと狭まる。しかし一次元と同様、大まかに言ってα=0.7程度を境に、αがそれより小さい場合は完全分散、大きい場合は一極集中が望ましく、リング状分散により有利になる分は僅かである。

３．おわりに

業務発生率αは、田頭[5]が言及したように交通需要と捉えると0.3～0.5程度（建設省[1]）であるが、交通需要として表面化しない企業内業務等のコンタクトも勘案すると、実質的なαの値はずっと大きいであろう。これが一極集中をもたらしていると考えられる。しかし長期的には情報化の進展により、業務活動上の交通需要が通信によって代替されるようになると、αの値は小さくなり、在宅勤務等の就業地の完全な分散が望ましい状況になるであろう。

付章　均等配置の証明

図５のような両端以外のxにある業務地を考え、左右に隣接する業務地をx_L, x_Rとすれば、業務地をxから$x+\Delta x$へ動かしたときの通勤距離の増分は左右で各々

$$\frac{x-x_L}{2}\frac{\Delta x}{2}\times 2,\qquad \frac{x_R-x}{2}(-\frac{\Delta x}{2})\times 2 \quad (15)$$

である。また業務距離については、勢力圏の変化による当該業務地以外の増分は

$$\{-(x_R-x_L)P_L\frac{\Delta x}{2}+(x_R-x_L)P_R\frac{\Delta x}{2}\}\times 2, \quad (16)$$

当該業務地の増分は、勢力圏変化分も含め、左右各々

$$\{\Delta x\cdot P_L\frac{x_R-x_L}{2}+(x-x_L)\frac{\Delta x}{2}\frac{x_R-x_L}{2}\}\times 2, \quad (17)$$

$$\{-\Delta x\cdot P_R\frac{x_R-x_L}{2}-(x_R-x)\frac{\Delta x}{2}\frac{x_R-x_L}{2}\}\times 2 \quad (18)$$

となる。但し、P_L, P_Rはそれぞれ当該業務地より左・右の総就業者数で、$P_L+P_R+(x_R-x_L)/2=2$を満たしている。平均通勤距離、平均業務距離のxに対する微係数は各々

$$\frac{\partial d_c}{\partial x}=\frac{1}{2}(x-\frac{x_R+x_L}{2}),\qquad \frac{\partial d_b}{\partial x}=\frac{x_R-x_L}{2}(x-\frac{x_R+x_L}{2}) \quad (19)$$

となるので、双方とも$x=(x_R+x_L)/2$で最小となる。これより内部の業務地は均等配置となる。　Q.E.D.

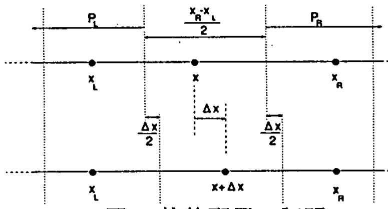

図５ 均等配置の証明

参考文献

[1] 建設省都市交通調査室 (1992): 都市における人の動き－第2回全国都市パーソントリップ調査結果から－.

[2] 栗田 治・腰塚武志 (1989): 周上で一様な点に関する平均値のある導出法とその応用, OR学会春季研究発表会, 181-182.

[3] 鈴木 勉 (1995): Minisum型職住割当下での最適就業地立地, OR学会春季研究発表会, 90-91.

[4] 鈴木 勉・田頭直人 (1996): 業務立地と都市交通エネルギー消費の関係に関するモデル分析, 第12回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集.（掲載予定）

[5] 田頭直人 (1994): 通勤と業務交通からみた最適なオフィス分布について, 都市計画論文集, 29, 511-516.