

通勤交通のトリップ長分布に関する考察

金沢大学工学部 正会員 松浦義満

1 緒言

今日、都市にみられる交通、住宅、土地価格に関する問題は由々しい事態に直面している。これらの問題は、とりわけ、大都市において深刻であり、市民は交通混雑、遠距離通勤に多くのエネルギーを消耗させ、また、狭くかつ高価格（あるいは高家賃）の住宅に居住することを余儀なくさせられている。これらの問題を解決して、住民に快適な都市空間を提供するためには、都市における人口あるいは住宅の空間的分布を支配する要因ならびに、それらの要因間の繋がりを明らかにしなければならない。

都市の空間的構造に関する研究は、経済学、社会学、地理学の分野で、J. H. Von Thünen、Ernest W. Burgess、Homer Hoyt、Dowdon Wingo Jr.、William Alonso、Richard F. Muth らによって取り組み、農業地理論をベースにした都市活動および住居の空間的分布が展開されている。そこで展開されている理論の大部分は1つの市場あるいは1つの従業地を中心とした同心円地帯理論であり、交通費用の差額が地域とみなされている。また、住居の空間的分布の理論は、交通費用の支出を含んだ家計の均衡を制約条件として、効用極大という条件に基づいて展開されている。しかし、従来の理論は、そこで採り入れられている効用関数自体が観念的な概念であるため、実際の住居の分布および地代勾配を再現するに至っていない。

ここ30年来、工学の分野において、通勤通学、業務、買物、社交を目的とした分布交通量の分析が進められ、交通サービス・レベルと土地利用を結びつける具体的な分布モデル、すなわち、ポテンシャル・モデル、オボチュニティ・モデル、ローリー・モデル、ロジット・モデル等のモデルが提案されてきた。これらのモデルは実際面に有用なモデルであり、都市における諸活動の分布形態を予測する際に適用されている。しかし、これら従来のモデルは分布交通量をいかに忠実に再現するかに重点を置いたものであり、1つの経済活動において交通が果たす役割、あるいは距離が経済活動の内容に及ぼす影響を考慮したものではない。すなわち、従来のモデルにおいては、1つの経済因子としての距離の概念が明確にされておらず、トリップ長が大きくなるとトリップ数が減少するという実際の現象を直接的にモデルの中に組み込んでいるにすぎない。

最近、交通と他の住宅立地因子との Trade-offs を論じた研究が発表された⁽¹⁾。その研究は多項ロジットモデルを用いており、通勤交通にかかわる摩擦費用は、乗車時間 (in-vehicle-travel time)、徒歩時間 (out-of-vehicle time) および貨幣費用の重み関数であるとしている。この摩擦費用はモデルの中に1つの統計変量として組み込まれている。

人々がある地味から他の地味へ移動する行為はいわゆる自然現象ではなく、典型的な経済行為の1つである。従って、大部分のトリップの発生メカニズムは経済原則に則って考察されねばならない。人々がトリップを発生させる背後には、そのトリップによって充足されると見込まれる効用が存在する。この効用は多種類に分けられる。1つは、ある種のレジャー・トリップのように移動の途上において見出される効用であり、いま1つは、目的地においてのみ獲得される効用である。われわれの日常生活において発生するトリップの大部分は後者に属する。後者のトリップは目的地においてのみ充しうる本源的欲求を充足するために生ずる派生的な事象であるともみることができる。この見方を通勤交通に適用するならば、通勤交通は住宅需要という本源的欲求を充足するために発生する派生的事象であるといえる。従って、通勤交通に関わる諸現象を解明するには、本源的欲求である住宅需要のメカニズムを解明し、そのメカニズムの中で通勤距離がいかなる役割を果たしているかを究明しなければならない。

一般に、或るいは用役の価格および購入量は需要側と供給側の条件が均衡した点において決定する。住宅も

1つの経済圏であるため、この原則を適用することができる。しかし、この場合、住宅の需要量にはスツの概念が存在する。1つは、需要される住宅の規模であり、いま1つは需要される住宅の戸数である。住宅の規模の問題は、住宅需要者は何処へ如何なる規模の住宅を求めているか、であり、住宅の戸数の問題は、何処で何戸取引されるか、である。前者に関する検討結果はすでに発表した⁽²⁾。この論文においては後者の問題、すなわち、何処で何戸取引されるかという問題を検討する。この問題は、ある任意のゾーンで従業する就業者の何人が、ある通勤所要時間 t のリンクに住宅を求めているか、という問題である。これは一義的に通勤交通のトリップ長分布に関連する問題である。

2 通勤OD交通量発生密度

ある任意の従業ゾーンへの通勤OD交通量を常住ゾーンの住宅数地面積総数で除して、その値（ここでは通勤OD交通量発生密度と呼ぶことにする）の分布形態を昭和5年と昭和40年についてみると図-1のごとくになる。両年度共に、ある一つの従業ゾーンへ通勤する就業者の発生密度は、大勢としては、通勤所要時間が大きくなるにつれて負の指数関数に沿って減少している。この図は東京都杉並区で従業する就業者を対象にしたものである。杉並区を対象ゾーンに選んだ理由は郊外の居住ゾーンから来る就業者と都心部の居住ゾーンから来る就業者を同時に捉えることができる点にある。図-1には明確に示されていないが、通勤所要時間が等しい郊外ゾーンと都心ゾーンからの通勤OD交通量発生密度はほぼ等しいことが判明した⁽³⁾。ここで図-1の現象を次式のごとく表わすことにする。

$$X_{ij} = K_j \lambda_i \exp(-\gamma x_{ij}) \quad (1)$$

ここに、 X_{ij} ：入ゾーンに居住し、 j ゾーンで従業する就業者の発生密度（ $\%/\text{km}^2$ ）

x_{ij} ：居住ゾーン i から従業ゾーン j までの通勤所要時間（分）

γ ：常数（ $1/\text{分}$ ）

K_j ： j ゾーンにおける従業地就業者数に依存する指標（人）

λ_i ：居住ゾーン i の単位住宅数地面積における住宅建設費の高低に依存する指標（ $1/\text{km}^2$ ）

である。

以下においては、図-1にみられる通勤OD交通量発生密度の距離逆減の現象の発生理由について考察する。

3 理論的考察を行なうための前提条件

緒言に述べたごとく、住宅の価格および購入量は需要曲線と供給曲線が交差する点において決定する。住宅も1つの経済圏であるけれども、住宅は、その所有関係により持家、民間借家、公営借家、給与住宅に大別され、それぞれ経済圏としての特性が異なっている。公営住宅および給与住宅は、公共機関および企業により政策的に住宅の立地、住宅の規模および家賃が決定されているため、純粋な経済圏とはみなしえないと考えられる。従って公営住宅および給与住宅は考察の対象から除くことにする。居住地選定動機調査による公営住宅と給与住宅に居住する世帯の割合は27.3%であった。持家の場合、家主に対して家賃を支払うという行為が行なわれておらず、また、所得の変動に応じて容易に住宅立地あるいは住宅規模を変えることができないため、経済圏とみなしえない部分がある。しかし同一の規模の住宅の建築費用は持家と民間借家の区別なく同額であり、住宅用地

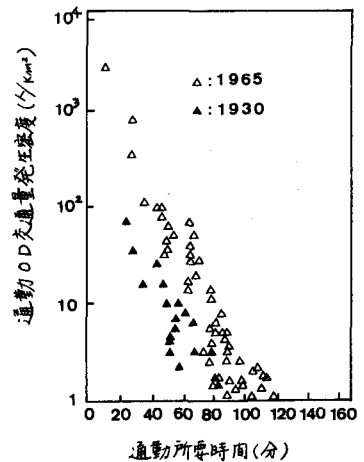


図-1 通勤OD交通量発生密度（従業ゾーン：東京・杉並区）

の地価も持家と民間借家の間に差異がない。持家を蓄積資本の一つであるとみるならば、持家に居住する世帯も、実質的には、規模および立地が同一の民間借家と同額の住宅費を支払っているとみなしうる。この理由により、理論的考察を行なうに際しては、すべての住宅と土地は賃貸であると仮定する。このとき、1ヶ月当りの純家賃と地代の合計を住宅需要価格と呼ぶことにし、宅地造成費（土地取得費用を含まない）と住宅建築費の合計額に1ヶ月当りの利子率を割じた額を住宅供給費用と呼ぶことにする。

一世帯当りの就業者数は世帯により異なり、数人の就業者により構成されている場合もある。数人の就業者により構成されている世帯の住宅立地決定要因は極めて複雑であると考えられる。この研究においては、理論的考察を容易にするために、すべての就業者がそれぞれ独立した世帯を形成していると仮定する。ちなみに居住地選定動機調査による一世帯当りの平均世帯人員は3.40人であり、平均就業者数は1.59人であった。

4 住宅需要曲面と通勤OD交通量発生密度

すでに発表したごとく、居住環境が一樣であると仮定した都市空間において、住宅需要メカニズムを構成する主要な因子は世帯人員一人当り（以下「一人当り」と呼ぶ）の延べ床面積 A （ $\text{m}^2/\text{人}$ ）、一人当りの所得 I （ $\text{円}/\text{人}\cdot\text{月}$ ）、一人当りの住宅費 P （ $\text{円}/\text{人}\cdot\text{月}$ ）および通勤所要時間 t の4つの因子であり、通勤所要時間 t を固定した場合、 A と I の関係は次のごとく表わされる⁽⁴⁾。

$$A = A_0 e^{\alpha I} \quad (\alpha I) \quad (2)$$

ここに、 A_0 は $I=0$ の世帯が通勤所要時間 t の地味に求める一人当りの床面積を表わし、 α は常数である。また、 P と I の関係は通勤所要時間 t の長短に関係なく、次のごとく表わされる。

$$P = \beta (I - I_0) \quad (3)$$

ここに β は常数であり、 I_0 は住宅費 $P=0$ の世帯の一人当りの所得である。さらに、住宅の需要と供給が均衡する点における一人当りの住宅需要価格 $\bar{P}$ は

$$\bar{P} = \frac{\beta}{\alpha} \left\{ \ln \left(\frac{A}{A_0} \right) - \eta t \right\} - \beta I_0 \quad (4)$$

と表わされる⁽²⁾。ここに、 η は住宅需要価格 P の減少勾配を支配する常数である。

一般に、ある商品に対する社会的需要は、価格が高ければ小さく、価格が低ければ増大する。この現象は住宅の販売戸数にも当てはまると考えられる。すなわち、各通勤所要時間帯 t において住宅の価格と需要量（戸数）の関係を示す需要曲線が成立しており、それらの需要曲線は住宅の価格 P 、居住ゾーンの単位面積当りの住宅需要量 x 、通勤所要時間 t の3つの因子で構成される三次元空間において一つの需要曲面を形成していると考えられる。その需要曲面上において需要と供給が均衡する点を連ねた曲線を $x \sim t$ 平面へ投影したものが式（1）で表わされる曲線であり、 $P \sim t$ 平面へ投影したものが式（4）で表わされる直線であることになる（図-2参照）。この住宅需要曲面を、住宅供給者が極大利潤を追求するという前提にもとづいて、求める。

いま、一人当りの床面積 A を固定した場合の需要曲面を

$$P = f(t) g(x) \quad (5)$$

とおき、居住ゾーンにおける床面積 A の住宅供給費用を C_i と表わす。また各居住ゾーンの平均世帯人員は一定であるとし、これを N と表わす。さらに、式（4）で表わされる均衡価格を、理論展開の都合により、

$$\bar{P}_i = \bar{P}_j - \eta' t + C_i \quad (6)$$

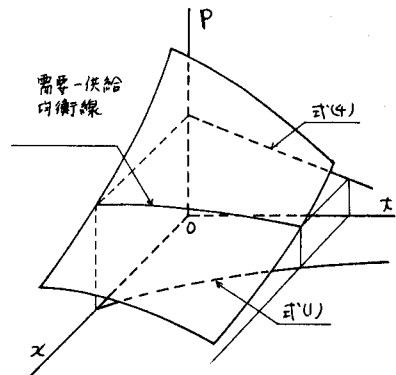


図-2 住宅需要曲面

とおく。式(6)の各指標間の関係は図-3のごとくである。

利潤は価格と費用との差額で表わされる。ゾーン*i*の住宅供給者が受け取る単位敷地面積(1km²)当りの利潤*R_i'*は

$$R_i' = (\bar{P}_i - C_i) N x_{ij} \quad (7)$$

と表わされる。いま、式を単純化するために

$$R_i = R_i' / N \quad (8)$$

とおくと、式(7)は

$$R_i = (\bar{P}_i - C_i) x_{ij} \quad (9)$$

となる。

住宅供給者が極大利潤を追求したときの通勤OD交通量発生密度が図-1および式(1)で表わされる現象になっていると考えられる。

また、この均衡発生密度 $\bar{x}_{ij}$ を式(5)に代入したとき、式(5)は式(6)に一致しなければならない。式(5)を式(9)に代入して、 x_{ij} で微分し、これをゼロとおくことにより、居住ゾーン*i*における均衡価格 $\bar{P}_i$ は

$$\bar{P}_i = f(x_{ij}) g(x_{ij}) = C_i - x_{ij} \cdot f(x_{ij}) \frac{dg(x_{ij})}{dx_{ij}} \quad (10)$$

となる。この $\bar{P}_i$ は式(6)に一致しなければならない。式(6)と式(10)から

$$x_{ij} f(x_{ij}) \frac{dg(x_{ij})}{dx_{ij}} = (\bar{P}_i' - \eta' x) \quad (11)$$

が成立する。式(11)を解いて得られる $f(x) g(x)$ が式(6)を均衡価格とする需要曲面になる。式(11)の解は次のようになる。

$$P = f(x) g(x) = -(\bar{P}_i' - \eta' x) \ln x + C_1 \quad (12)$$

ここに、 C_1 は積分常数である。この C_1 は式(12)が均衡点において、式(6)に一致するという条件から求められる。すなわち、式(12)、式(6)、式(1)から、 C_1 は

$$C_1 = (\bar{P}_i' - \eta' x_{ij}) + C_i + (\bar{P}_i' - \eta' x_{ij})(\ln K_j + \ln \lambda_i - \eta x_{ij}) \quad (13)$$

となる。

積分常数 C_1 には K_j 、 λ_i 、 η が含まれている。これらの係数がいかなる意味をもつものであるかを明らかにする。式(12)の P を $\bar{P}_i$ とおいて式(9)に代入すると、利潤 R_i は

$$R_i = (\bar{P}_i' - \eta' x) \left\{ \frac{C_1 - C_i}{\bar{P}_i' - \eta' x} - \ln x \right\} x \quad (14)$$

となる。任意の通勤所要時間 x における利潤 R_i の極大値は次式が極大になるときに得られる。

$$R_i'' = \left\{ \frac{C_1 - C_i}{\bar{P}_i' - \eta' x} - \ln x \right\} x \quad (15)$$

この式を極大にする発生密度 x が、式(1)に一致するとき

$$\frac{C_1 - C_i}{\bar{P}_i' - \eta' x} = b(\bar{P}_i' - \eta' x) \quad (16)$$

という関係が成立しなければならない。従って、積分常数 C_1 は

$$C_1 = b(\bar{P}_i' - \eta' x)^2 + C_i \quad (17)$$

となる。式(16)を式(15)に代入して、 R_i'' を極大にする発生密度 x を求めると

$$x = \exp(b\bar{P}_i' - 1) \cdot \exp(-bC_i) \cdot \exp(-b\eta' x) \quad (18)$$

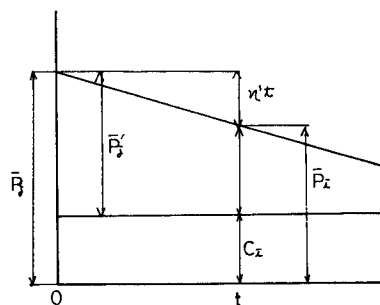


図-3 均衡需要価格 $\bar{P}_i$ の説明

を得る。ここに $\bar{P}_j$ は $t=0$ の地味における均衡価格を表わし

$$\bar{P}_j = \bar{P}_j' + C_i \quad (19)$$

である (図-3 参照)。いま、

$$\left. \begin{aligned} K_j &= \exp(b \bar{P}_j - 1) \\ \lambda_i &= \exp(-b C_i) \\ \eta &= b \eta' \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

とくと、式 (18) は式 (1) に一致する。従って式 (1) および式 (13) の K_j 、 λ_i 、 η は式 (20) で表わされることになる。

式 (17) を式 (12) に代入すると住宅需要曲面 P が次のごとく求まる。

$$P = b(\bar{P}_j' - \eta t)^2 - (\bar{P}_j' - \eta t) \ln x + C_i \quad (21)$$

以上の考察過程を図解で示すと図-4 のごとくなる。

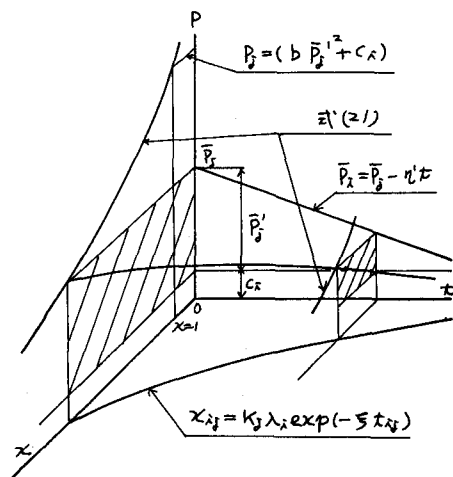


図-4 住宅需要価格と通勤OD交通量発生密度の関連の図解 (ハッチング部分は利潤 R を表わす)。

5 通勤OD交通量発生密度における重ね合せ原理の適用の可能性

前節において、一つの従業ゾーン j で従業する就業者を対象にして、通勤OD交通量の分布形を住宅供給者が極大利潤を追求するという観点から検討し、その分布形は式 (1) あるいは式 (18) で表わしうることが明らかになった。しかし、ここに一つの問題が残されている。それは、一つの都市圏において、従業ゾーンは唯一ではなく、都市圏全域に拡がっており、ある一つの居住ゾーン i には、多数の従業ゾーンで従業する就業者が居住している点である。このとき、各従業ゾーンごとに式 (21) にみられるごとく住宅需要曲面が成立し、各居住ゾーンにおいて住宅需要者間で競合が生じ、最も高い価格を付けうる従業ゾーンの就業者のみに住宅が供給され、他の従業ゾーンで従業する就業者がしめ出されるという事態が想像される。この点について検討する。

いま、居住ゾーン i の単位面積 (1 km^2) から各従業ゾーン ($1, 2, 3, \dots, n$) へ通勤する就業者数を $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}$ と表わす。このときの i ゾーンの単位面積当りの総利潤 R_i を

$$R_i = R_{i1}(x_{i1}) + R_{i2}(x_{i2}) + \dots + R_{in}(x_{in}) \quad (22)$$

と表わす。居住ゾーン i の住宅供給者が総利潤極大 $R_{i \max}$ を追求するとすれば、 $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ は $R_{i \max}$ になるように決定されることになる。しかし、 $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}$ は互いに独立であり、それらの合計 ($X_i = x_{i1} + x_{i2} + x_{i3} + \dots + x_{in}$) には、 X_i がある限界内にあるときには、制約がない。 X_i に限界が生ずるのは、容積率等の法律上の制約が加えられた場合である。従って総利潤 R_i は、各従業ゾーンへ通勤する就業者が i ゾーンへもたらす利潤 $R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}$ のそれぞれが最大になるとき、最大になる。 $R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}$ のそれぞれの最大値と、そのときの $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ は前節の理論に沿って決定される。すなわち、

$$\frac{dR_{i1}}{dx_{i1}} = 0, \quad \frac{dR_{i2}}{dx_{i2}} = 0, \quad \dots, \quad \frac{dR_{in}}{dx_{in}} = 0 \quad (23)$$

を満足する $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ によって $R_{i \max}$ が与えられることになる。従って、 j ゾーンで従業して i ゾーンに居住する就業者の数 x_{ij} ($\text{人}/\text{km}^2$) は他の従業ゾーンで従業して i ゾーンに居住する就業者の数 x_{ik}

($i = 1, 2, \dots, n$, $i \neq j$) に影響されないことになる。このことは、発生密度 S_{ij} には、物理学でいうところの重ね合せの原理が適用できることを意味している。

6 通勤OD交通量と従業人口分布

式(1)で表わされる通勤OD交通量発生密度 S_{ij} に居住ゾーン i の住宅敷地面積総数 S_i を割ると、 i ゾーンから j ゾーンへ通勤する就業者数 X_{ij} が次のように求まる。

$$X_{ij} = K_j \lambda_i S_i \exp(-\alpha_{ij}) \quad (i \neq j) \quad (24)$$

図-1にみられるごとく、通勤OD交通量発生密度のうち、内内の発生密度のみは式(1)に沿わず、大きくかけ離れている。こうした現象が発生する主な原因は、内内の発生密度に自家営業における家族労働者が含まれているためと考えられる。この内内の通勤OD交通量の大きさは、そのゾーンの従業地就業者数、ゾーンの大きさ、そのゾーンの産業構造等の影響を受けて変動するものと想像される。このため式(24)は、内内を除いた通勤OD交通量を表わすものと考えられる。

式(24)を用いると、 j ゾーンの従業地就業者数 D_j と i ゾーンの常住地就業者数 O_i はそれぞれ次のようになる。

$$D_j = K_j \sum_{i=1}^n \lambda_i S_i \exp(-\alpha_{ij}) + X_{jj} \quad (i \neq j) \quad (25)$$

$$O_i = \lambda_i S_i \sum_{j=1}^n K_j \exp(-\alpha_{ij}) + X_{ii} \quad (j \neq i) \quad (26)$$

7 従業地就業者数が住宅需要価格および通勤OD交通量に及ぼす影響

一般に、経済財の価格は需要者が多くなると上昇し、需要者が少なくなると低下する。この原則は住宅にも当てはまる。住宅の場合、ある従業ゾーンの従業地就業者数が増加すると、彼らの付ける住宅需要価格は上昇すると考えられる。そこで j ゾーンの従業地就業者数 D_j と通勤所要時間がゼロである地塊における住宅需要価格 $\bar{P}_j$ の関係を求める。式(25)から K_j を求めると

$$K_j = (D_j - X_{jj}) / \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i S_i \exp(-\alpha_{ij}) \right) \quad (27)$$

となる。式(27)と式(20)の第1式から、 $\bar{P}_j$ と D_j の関係を求めると

$$\bar{P}_j = \left\{ \ln((D_j - X_{jj})/Y_j) + 1 \right\} (1/b) \quad (28)$$

となる。ここに、 Y_j は

$$Y_j = \sum_{i=1}^n \lambda_i S_i \exp(-\alpha_{ij}) \quad (29)$$

である。式(28)から、 X_{jj} と Y_j が一定の場合、従業地就業者数 D_j が増大すると均衡需要価格 $\bar{P}_j$ は対数関数に沿って上昇することになる。また、式(27)において、 K_j と D_j は線形関係にあるため、従業地就業者数の増加は通勤トリップ長分布を、式(1)に沿って、一様に増大させることになる。

8 結言 緒言に提起した研究目的は達成された。すなわち、図-1にみられるごとく通勤交通のトリップ長分布の距離減衰現象は、通勤交通が住宅需要という本源的欲求を充足するために発生する派生的事象であるという観点から考察すべき問題であると主張され、かかる現象は住宅供給者が極大利潤を追求するが故に発生することであることが理論的に説明された。

参考文献

- 1) Weibro, G., et al; Tradeoffs in Residential Location Decisions, Transport Policy and Decision Making I.
- 2) 松浦義満: 通勤交通と住宅需要の関連について、第4回工本計画学研究発表会講演集、1982。
- 3) 松浦義満: 通勤OD交通量と常住人口分布に関する研究、工本学会論文報告集、No.237、1975。
- 4) 松浦義満: 住宅需要メカニズムに関する考察、第3回工本計画学研究発表会講演集、1981。