

通勤 OD 交通量と常住人口分布に関する研究

A STUDY ON COMMUTER TRAFFIC AND RESIDENTIAL DISTRIBUTION

松浦義満*
By Yoshimitsu MATSUURA

1. 緒言

現在、わが国においては人口の都市への集中、とりわけ大都市への集中が著しく進行している。都市への人口集中は生活環境、人的的流動等あらゆる面において都市問題を発生させているが、それらのうち交通、住宅、地価に関する問題は基本的なものに属する。これらの問題を解決するには都市地域における人口の空間的分布を支配する要素ならびにそれらの要素間のつながりを明らかにしなければならない。

通勤交通は従業ゾーンと常住ゾーンの間に発生する就業者の交通であるから、通勤 OD 交通量は交通網を与件とすれば常住地就業者の分布と従業地就業者の分布の間ににおいて一種の伝達関数の役割を果たしているとみることができる。この見方に立てば従業地就業者の分布あるいは常住地就業者の分布のいずれか一方の分布と交通網を与えるならば他方の分布および通勤 OD 交通量が決まると考えられる。従業地就業者の分布、常住地就業者の分布および通勤 OD 交通量の三指標の関連を表わす従来のモデルおよび方法としてはグラビティ・モデル、確率モデルおよび現在パターン法という通勤 OD 交通量の予測モデルがあげられる。それらのモデルは通勤以外の目的トリップに対しても適用されているものであり、実際面においてきわめて有用なものであるけれども、その成立の論理的根拠については納得できる方法で説明されていない。過去の事例にみられるごとく都市地域の人口分布は交通網の変化に敏感に応答し変動している注¹⁾。しかし従来の方法は基本的には通勤交通の集中量と発生量を独立に予測し、その結果を用いて通勤 OD 交通量を予測するという手順を踏んでいるため、それらの方法は交通網の変化に人口分布を応答させるという仕組になっていない。実際に土地利用計画、交通計画を立

案する際にはこの弱点は複数個の土地利用、交通網の計画案を提案し、それらを評価することによって補われている。

上述の問題意識のもとに本研究では交通網、人口分布、通勤 OD 交通量の関連について検討した。

なお、本論文においては所得、家賃等の金額で表わされる指標の大きさを次のとおり絶対量でもって表わすこととする。金額で表わされる指標は具体的な物理量でないため異なる時点間における真の価値の比較に用いることはできない。この欠陥を補うために新たに絶対価格という概念を導入する。ここでは絶対価格がある一単位の経済財あるいは用役を入手するためにその代償として平均的労働者が費やす労働時間数で表わされる価格であるとし、単位を（時）で表わすこととする注²⁾。

2. 通勤 OD 交通量発生密度

昭和 40 年度の国勢調査報告²⁾を用いて東京都杉並区を従業ゾーンとする市町村間の通勤 OD 交通量を発生密度（人/km²）と通勤所要時間（分）でもって表わすと図-1 のごとくになる³⁾。ここで発生密度とは通勤 OD 交通量を常住ゾーンの住宅敷地面積総数で除した値をさす。通勤所要時間はこの研究が通勤交通を対象としており、研究地域を鉄道網の発達した東京圏としているため、鉄道を主要交

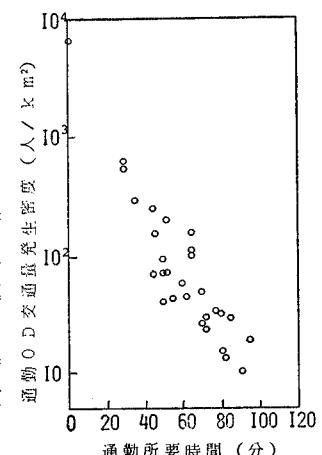


図-1 通勤 OD 交通量発生密度
(従業ゾーン: 杉並区)
(従業地就業者数: 141 063 人)

* 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部土木工学科

通手段とし^{注2)}、次式のように定義して測定した。

$$(\text{通勤所要時間}) = (\text{乗車時間}) + (\text{待時間}) \\ + (\text{着発ゾーン内における主要駅への}) \\ (\text{合計接近時間})$$

乗車時間は発ゾーンの乗車駅と着ゾーンの降車駅の間ににおいて特急券などの特別料金を賦課されない電車を利用した場合の所要時間をさし、着発ゾーンの乗車駅、降車駅としてはゾーン中心に近い主要駅を選んだ。この乗車時間には他系統、他社線への乗り換え時間も含ませてある。待時間は乗車時刻における電車の運転間隔の2分の1とした。乗車時間および待時間は昭和43年10月1日現在における鉄道ダイヤを利用して着ゾーンでの降車時刻を午前9時として発ゾーンの乗車時刻を求めて算出

表-1 杉並区への通勤OD交通量発生密度

居住ゾーン	住宅敷地面積総数(km ²)	通勤OD交通量(人)	通勤OD交通量発生密度(人/km ²)	通勤所要時間(分)
東京 区 部	港区	5.150	311	60.4
	中央区	1.370	55	40.1
	千代田区	1.488	100	67.2
	渋谷区	5.823	1 426	224.8
	新宿区	6.498	1 823	280.5
	中野区	7.706	4 893	634.9
東 京 都	武藏野市	4.015	2 360	587.8
	八王子市	8.307	1 065	128.2
埼玉 県	川口市	5.765	142	24.6
	浦和市	8.662	112	12.9
	大宮市	9.475	106	11.2
千葉 県	市川市	6.430	122	19.0
	船橋市	6.403	127	19.8
	千葉市	12.253	91	7.4
神奈 県	藤沢市	9.243	69	116
備 考	文献4)	文献2)	昭和43年10月1日時点の推定値	

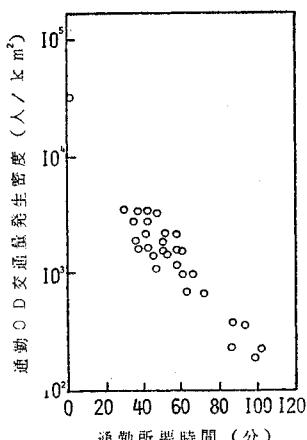


図-2 通勤OD交通量発生密度
(従業ゾーン: 千代田区
(従業地就業者数: 610 392人)

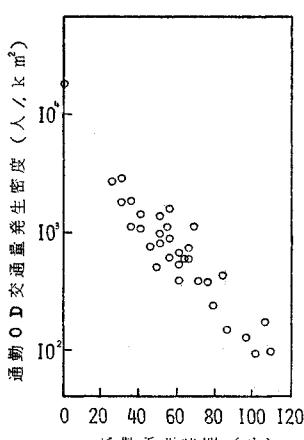


図-3 通勤OD交通量発生密度
(従業ゾーン: 港区
(従業地就業者数: 397 824人)

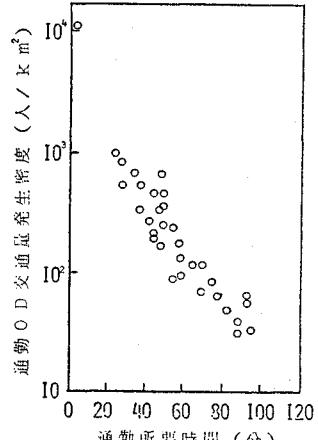


図-4 通勤OD交通量発生密度
(従業ゾーン: 渋谷区
(従業地就業者数: 171 615人)

した。次に着発ゾーン内における主要駅への接近時間はゾーンを等面積の円に置き換えた場合の半径の2分の1の距離を時間距離に換算して推定した。この場合、実距離が1km未満のときは徒歩によるものとし、1km以上のときはバスを利用するとした。このとき、徒歩の速度は4.8km/h、バスの速度は15km/hとした。なお、主要交通手段を鉄道とした場合のゾーン間の通勤所要時間がバスによる所要時間に比べ長いゾーン間においてはバスによる所要時間を採用した。

図-1にみられるごとく杉並区へ通勤する就業者の発生密度はばらつきはあるが大勢としては通勤所要時間が長くなるにつれて負の指數関数に沿って減少している。具体的な数値を示すと表-1のごとくになる。表-1から、通勤OD交通量発生密度でみた場合、杉並区で従業する就業者は武蔵野市、八王子市などの郊外ゾーンからだけでなく千代田区、新宿区、中野区などの都心側ゾーンからも相当数通勤していることがわかる。そのほかの従業ゾーンについて同様な方法で通勤OD交通量発生密度を求めるときと同じ現象がみられ、通勤所要時間に対する減少勾配はほぼ等しく、従業地就業者数の多い従業ゾーンへの発生密度は一様に高い(図-2, 3, 4参照)。

3. 通勤条件と住宅世帯内容の調査およびその分析

通勤OD交通量の大きさは効率を高め、利潤を追求する経済活動の一侧面を表わすものであるという観点から図-1をみた場合、理解できない点が2点ある。一つはある従業ゾーンへの通勤OD交通量発生密度が大勢として通勤所要時間が大きくなるにつれて負の指數関数



図-5 通勤方向型分類

沿って減少するという現象である。この現象を通勤に費やされる時間は負の効用をもたらすという面だけから説明することは難しい。なぜならば、通勤所要時間が負の効用をもたらすという前提のもとで図-1の現象を説明するとき、通勤所要時間が大きくなるにつれて負の限界効用は負の指數関数に沿って減少することになり、通勤所要時間がある程度大きくなると、それよりも大きい所要時間から受けれる負の限界効用がほとんど0になるからである。いま一つは通勤OD交通量を方向別に都心方向型、郊外方向型、都心通過型の三つに大別した場合(図-5 参照)、郊外方向型および都心通過型の通勤OD交通量が相当数あるという点である。なぜならば、地価は都心に近づくにつれて指數関数的に上昇していることおよび地代は住宅費の中でかなり大きな割合を占めていることを考え合わせると都心から郊外へ向って通勤する就業者は住宅費の高いゾーンから住宅費の安いゾーンへ通勤しており、それらの就業者は経済的に不利な住宅立地を行っていると考えられるからである。

いかなる要因がどのように関連して図-1のごとき現象が現われるかを解明するために昭和45年3月25日に杉並区で従業する就業者を対象にして居住地選定動機調査を実施した。杉並区を調査対象ゾーンに選んだ理由は郊外から来る順通勤と都心から来る逆通勤を同時にとらえられるところにある。この調査における主な調査項目は①通勤条件：通勤所要時間、通勤費、利用交通手段、②住宅の現況：住宅費、延べ床面積、住宅の種類、③現住所居住理由、④世帯内容：所得、世帯人員である。昭和40年度の杉並区の従業地就業者数は141,063人であるから抽出率1%を目標にして1,450票の調査票を作成的に抽出した5つの大規模事業所に配布した。有効回収率は0.79であった。この調査の分析結果の一部はすでに発表したので⁵⁾、ここでは次節以降の議論において用いる分析結果を述べる。

通勤所要時間および世帯人員を一定とした場合、世帯所得が上昇すると住宅費負担力が増大するため、世帯人員1人当たりの延べ床面積(以下、1人当たりの延べ床面積とよぶことにする)は大きくなることが見込まれる。そこでこの調査においてサンプル数の最も多い通勤所要時間帯(45分～60分)を対象にして世帯人員1人当たりの所得(以下、1人当たりの所得とよぶことにする)と1人当たりの延べ床面積の関係を持家と民営借家を区別して片対数グラフに描くと図-6のごとくになる。持家、民

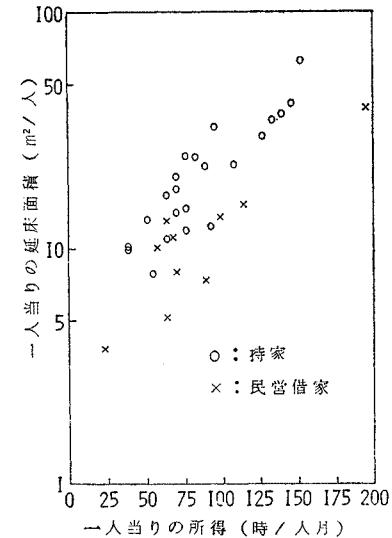


図-6 1人当たりの延べ床面積と所得

営借家ともかなりのばらつきはあるが1人当たりの所得が大きくなると1人当たりの延べ床面積はグラフ上でほぼ直線的に大きくなっている。持家と民営借家を比較すると1人当たりの延べ床面積が同一の場合の1人当たりの所得は民営借家の方が高い。この場合の1人当たりの所得における民営借家と持家の差額は持家自体を蓄積資本とみたときのその資本のもたらす潜在化した所得であると考えられる。すなわち、その差額は持家に住む世帯がその土地および家屋を売却して得た金額に対する1か月当たりの利子を世帯人員で除した額に相当すると推測される^{注5)}。この理由により、持家の潜在化した1人当たりの所得を勤労により得た1人当たりの所得に加えるならば図-6の持家のドットは右へシフトし民営借家のドットに重なるものと推測される。

民営借家を対象にして図-6の代表曲線を数式で表わすと

$$A = a_t \exp(\alpha I) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

となる。ここに $A(m^2/\text{人})$ および $I(\text{時}/\text{人月})$ はそれぞれ1人当たりの延べ床面積および1人当たりの所得を表わす。また a_t は $I=0$ の世帯が通勤所要時間 t の地点に求める1人当たりの延べ床面積を表わし、 α は次節で証明するごとく通勤所要時間の長短に関係なく定まる定数である。図-6から民営借家の場合について a_t と α を求めると次のようになる。

$$a_t = 2.20 \text{ (m}^2/\text{人})$$

$$\alpha = 1.56 \times 10^{-2} \text{ (月人/時)}$$

式(1)は通勤所要時間を一定にした場合の1人当たりの延べ床面積と1人当たりの所得の関係を表わすものであるが、これらの延べ床面積と所得の間には当然世帯人員1人当たりの住宅費(以下、1人当たりの住宅費とよぶ)が

介在している。通勤所要時間帯をある幅に限定した場合、住宅費の定常的な支払額を明確にとらえることのできる民営借家のサンプル数が少ないため住宅費、所得および延べ床面積それぞれの1人当たりの大きさの関係を求めるることは難しい。これら3つの要素間の関係は次節で検討することにする。ここでは民営借家に居住し、かつ世帯人員のうち就業者が1人である世帯のすべての通勤所要時間帯のサンプルを用いて上記3つの要素と通勤所要時間の関係を求める。ここで就業者が1人の世帯を対象にした理由は上記3つの指標と通勤所要時間の関係を明確にとらえるためである。1人当たりの延べ床面積が10.0~15.0 ($m^2/人$) の範囲にある場合について1人当たりの住宅費 P (時/月人)、1人当たりの所得 I および通勤所要時間 t の関係を求めるところとなる。

ここで1人当たりの住宅費と所得は通勤所要時間を15分間隔に区切った場合の各通勤所要時間帯の平均値である。この図は1人当たりの延べ床面積が一定の場合、通勤所要時間が大きくなると1人当たりの住宅費と1人当たりの所得は同時に単調に減少することを示している。1人当たりの住宅費の減少勾配は0.209 (時/月人分) である。また図-7は1人当たりの住宅費は通勤所要時間の長短に關係なくほぼ1人当たりの所得に比例して変動することを示している。この1人当たりの住宅費 P と所得 I の関係は図-7の第1象限から

と表わすことができる。ここに β' は定数であり、その大きさは 0.153 である。図-7 の第 2 象限、第 4 象限にみられるごとく 1 人当りの延べ床面積を一定にした場合、1 人当りの住宅費と所得は通勤所要時間が大きくなるにつれ単調に減少しているため、1 人当りの所得の低い世帯はその延べ床面積を確保するために遠くへ安い住宅を求めていると解釈される。

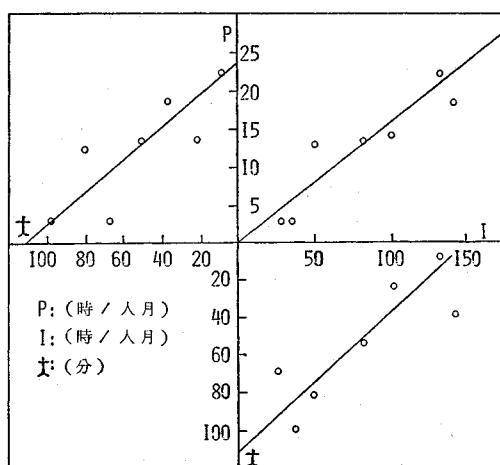


圖-7 住家費、所得、通勤所要時間

以上の分析の結果、民営借家の場合、1人当たりの所得、1人当たりの延べ床面積、1人当たりの住宅費および通勤所要時間の各要素間には、図-6、図-7のごとき関係が成立していることが判明した。

4. 住宅の需要価格と供給費用

一般に財および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ところで決定する。住宅も例外ではないけれども住宅は所有関係が持家と借家に分けられるため住宅に対してこの原則が一義的にあてはまるとはいえない。借家の場合、住宅費負担力の大きさに応じて住宅の規模および立地点を自由に選びうるという点でこの原則はあてはまる。しかし持家の場合、住宅は蓄積資本の一つであり家賃は支払われておらず^{注4)}、住宅費負担力の変化によりその規模および立地点は容易に変えうるものではないために上述の原則に沿わない場合もある。しかし同一の規模の住宅の建築費用は持家と借家の区別なく同額であり、住宅用地の地価も持家と借家の間に差異がないと考えられる。このため持家の場合も実質的には規模および立地点が同一の借家と同額の住宅費を支払っていることになる。この理由により、理論的考察を行って際しては、すべての住宅および土地は賃貸であると仮定する。この場合、住宅の価格は純家賃と地代の合計額で表わされる。ここで純家賃とは宅地造成費と住宅建築費の合計額に純家賃率を乗じたものであり、これは住宅供給者が投入した資本の単位期間当りの回収額に相当するため住宅供給費用とよぶことにする。地代は住宅供給者が受け取る利潤であるとする。

一世帯当たりの就業者数は世帯により異なり、数人の就業者によって構成されている世帯もある。一世帯に複数の就業者がいる場合、住宅立地点の決定要因はこみいつており、これらの世帯に対しては 図一7 のごとき明確な要素間の関係は成立しないと考えられ、この場合理論的考察はきわめて複雑になる。したがって、理論展開を行うに際してはすべての就業者がそれぞれ1つの独立した世帯を形成しているものとする。ちなみに居住地選定動機調査によると一世帯当たりの平均世帯人員は 3.40 人であり、平均就業者数は 1.59 人である。

前節の式(1),(2)は所得上昇にともなう住宅需要量(延べ床面積)および住宅の全部需要価格^{注5)}を表わすものであり、これらの式を用いた場合、1人当たりの所得を与えると全部需要価格と延べ床面積が決定することになる。しかし一般の消費活動においては所得の大きさを固定した場合にも限界効用遞減の法則に支配され需要量の大きさにより価格が変動する。同様な現象は住宅に対しても生ずると考えられる。いま通勤所要時間との地点

における1人当りの住宅の全部需要価格 P を決める主要な要素は1人当りの延べ床面積 A と1人当りの所得 I であるとするならば、これら3つの要素で構成される3次元空間に需要曲面が存在し、その曲面上で需要と供給の均衡する点を連ねた曲線を $A \sim I$ 平面へ投影したのが式(1)で表わされる曲線であり、 $P \sim I$ 平面へ投影したものが式(2)で表わされる曲線であることになる。

一般にある財の限界需要価格^{注5)}は消費者の所得が大きくなると上昇し、財の購入量が多くなるとその財に対する限界効用が減少するため低下する。住宅は一つの経済財であるため、住宅に対してもこの法則を適用することができる。そこで住宅の購入量の大きさを延べ床面積で測るものとし、その限界需要価格(1人当りの) p は1人当りの所得 I の ζ 乗に比例して上昇し、1人当りの延べ床面積 A に逆比例して低下すると仮定する。いま j ゾーンで従業する就業者の世帯が i ゾーンの住宅に対して付ける1人当りの限界需要価格を p_{ij} (時/月人・m²)、1人当りの延べ床面積を A_{ij} とおくならば上述の仮定は

$$p_{ij} = \beta_i'' I^\zeta / A_{ij} \quad \dots \dots \dots \dots (3)$$

と表わされる。ここに β_i'' ((時/月人)^{1- ζ}) は居住ゾーン i の特性値であるとする。この β_i'' は i ゾーンの住宅立地条件が良い場合には大きく、悪い場合には小さいとする。また、住宅費として支払ってもよいとする金額の所得に対する割合は所得が大きくなるにつれて遞減すると考えられるため $\zeta < 1$ であるとする。式(3)を A_{ij} について積分して全部需要価格 P_{ij} (時/月人) を求めると

$$P_{ij} = \beta_i'' I^\zeta \ln(A_{ij}/Ia_{ij}) \quad \dots \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここに Ia_{ij} は j ゾーンで従業する就業者のうち1人当りの所得 I の世帯が i ゾーンの住宅に求める1人当りの最小延べ床面積を表わす。式(4)が上述の3次元空間における需要曲面を表わす方程式であるためには式(4)の P_{ij} に式(2)の P を代入して得られる方程式が式(1)に合致しなければならない。この条件は Ia_{ij} が式(5)を満足するときに満たされる。式(5)は式(1)の A を A_{ij} 、 a_t を a_{ij} 、式(2)の P を P_{ij} とおき、式(4)に、式(1)、(2)を代入して得られたものである。 $I \rightarrow 0$ のとき $Ia_{ij} \rightarrow a_{ij}$ であるから式(6)が成立するとき式(5)が成立する。式(6)は $\zeta < 1$ のとき成立する。

$$Ia_{ij} = a_{ij} \exp(\alpha I - \frac{\beta'}{\beta_i''} I^{1-\zeta}) \quad \dots \dots \dots \dots (5)$$

$$\lim_{I \rightarrow 0} (\alpha I - \frac{\beta'}{\beta_i''} I^{1-\zeta}) = 0 \quad \dots \dots \dots \dots (6)$$

式(4)の P_{ij} は通勤所要時間 t_{ij} の地点における全部需要価格を表わす。通勤所要時間は通勤者に対して負の

効用をもたらすと考えられるため、1人当りの所得 I と1人当りの延べ床面積 A_{ij} を一定にした場合、 P_{ij} は t_{ij} が大きくなるにつれて低下すると考えられる。そこで I と A_{ij} を一定にして式(4)を t_{ij} で偏微分すると

$$\frac{\partial P_{ij}}{\partial t_{ij}} = \beta_i'' I^\zeta \left(-\frac{1}{Ia_{ij}} \frac{\partial Ia_{ij}}{\partial t_{ij}} \right) \dots \dots \dots \dots (7)$$

となる。いま P_{ij} は I が一定の場合、 t_{ij} が大きくなるにつれて単調に低下するものと仮定して

$$\frac{1}{Ia_{ij}} \frac{\partial Ia_{ij}}{\partial t_{ij}} = v \quad \dots \dots \dots \dots (8)$$

とおき、式(8)から Ia_{ij} を求めると

$$Ia_{ij} = B \exp(vt_{ij}) \quad \dots \dots \dots \dots (9)$$

となる。ここに B は積分定数である。 j ゾーンで従業し、かつ j ゾーンに居住する世帯のうち1人当りの所得 I の世帯が求める1人当りの最小の延べ床面積を Ia_{jj} 、1人当りの所得が零である世帯が求める1人当りの最小の延べ床面積を a_{jj} とおき、内内の通勤所要時間 t_{jj} を $t_{jj} \neq 0$ とすれば、式(5)、(9)から B は

$$B = Ia_{jj} = a_{jj} \exp\left(\alpha I - \frac{\beta'}{\beta_i''} I^{1-\zeta}\right) \quad \dots \dots \dots \dots (10)$$

と表わされる。式(4)、(9)、(10)から P_{ij} を求めると

$$P_{ij} = \beta_i'' I^\zeta \left\{ \ln\left(\frac{A_{ij}}{a_{jj}}\right) - \alpha I + \frac{\beta'}{\beta_i''} I^{1-\zeta} - vt_{ij} \right\} \quad \dots \dots \dots \dots (11)$$

となる。式(11)は通勤所要時間 t_{ij} の地点における P_{ij} 、 I 、 A_{ij} の3次元空間における需要曲面を表わす方程式である。式(11)は式(3)、(8)の仮定のもとに導びかれた需要関数である。したがって式(11)の妥当性について検討を加えておかねばならない。前節に述べた分析結果のうち式(11)の誘導に使用していない図-7の第2象限および第4象限の現象を式(11)から導く。式(2)の P を P_{ij} とおき、この式を式(11)に代入して I を消去すると

$$P_{ij} = \frac{\beta'}{\alpha} \left\{ \ln\left(\frac{A_{ij}}{a_{jj}}\right) - vt_{ij} \right\} \quad \dots \dots \dots \dots (12)$$

となる。式(12)は1人当りの延べ床面積 A_{ij} が一定の場合、1人当りの住宅費支払額は通勤所要時間 t_{ij} が大きくなると単調に低下することを示している。これは図-7の第2象限の現象に一致する。同様に式(11)に式(2)を代入して P_{ij} を消去すると

$$I = \frac{1}{\alpha} \left\{ \ln\left(\frac{A_{ij}}{a_{jj}}\right) - vt_{ij} \right\} \quad \dots \dots \dots \dots (13)$$

となり、 A_{ij} が一定の場合、 t_{ij} が大きくなると I は単調に減少し 図-7 の第4象限の現象に一致する。したがって、この検討の範囲内においては式(11)は妥当であるといえる。

住宅供給費用に関してはこの研究に適用できる資料が得がたいため、次のごとく仮定する。すなわち常住ゾー

i の単位延べ床面積当りの平均住宅供給費用 \bar{C}_i (時/月 m^2) は単位住宅敷地面積当りの総延べ床面積 (m^2/km^2) が大きくなるにつれて上昇するという仮定を設ける。いま i ゾーンの住宅敷地面積総数を S_i , 常住人口を H_i , 1人当りの平均延べ床面積を A_i とおくと上の仮定により \bar{C}_i は

$$\bar{C}_i = C'_i \left(\frac{H_i A_i}{S_i} \right)^\eta \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

と表わされる。ここに C'_i は i ゾーンの住宅供給費用にかかる特性値であり, η は定数であるとする。 i ゾーンの単位住宅敷地面積当りの総住宅供給費用 C_i (時/月 km^2) は \bar{C}_i に $H_i A_i / S_i$ を乗じて

$$C_i = C'_i \left(\frac{H_i A_i}{S_i} \right)^{\eta+1} \quad \dots \dots \dots \quad (15)$$

となる。次に i ゾーンに居住し, j ゾーンで従業する就業者数を X_{ij} , それらの就業者の世帯の1人当りの平均延べ床面積を \bar{A}_{ij} , 就業率を ρ_{ij} とおいたとき,

$$\left(\frac{H_i A_i}{S_i} \right)^{\eta+1} = b \sum_{j=1}^n \left(\frac{X_{ij} \bar{A}_{ij}}{\rho_{ij} S_i} \right)^\xi \quad \dots \dots \dots \quad (16)$$

が成立するものとする。ここに n は通勤圏内のゾーン数を表わし, b と ξ は定数である。式 (16) の仮定を厳密に立証することは \bar{A}_{ij} と ρ_{ij} に関する資料が得がたいために難しい。ここでは得られる資料でもって式 (16) の仮定を検討する。ゾーン別の平均就業率 ρ_i は国勢調査報告から得られ, ゾーン別の1人当りの平均延べ床面積 A_i は住宅統計調査報告から推計できる。そこで $\bar{A}_{ij} \neq A_i$, $\rho_{ij} \neq \rho_i$ と仮定して, $\xi = 1.50$, $\xi = 2.00$ の場合について式 (16) の関係を求めるとき、図-8 のごとくになり、 $H_i A_i / S_i$ と $\sum_{j=1}^n (X_{ij} A_i / \rho_i S_i)$ の間にかなりすっきりした関係が認められる注⁶⁾。このため、不十分な立証ではあるが $1.00 \leq \xi \leq 2.00$ の範囲においては式 (16) が成立するものとする。式 (16) を式 (15) に代入し $C_i = C'_i b$

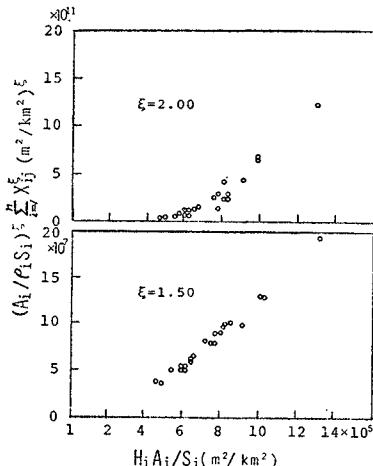


図-8 $(A_i / \rho_i S_i)^\xi \sum_{j=1}^n X_{ij}^\xi$ と $H_i A_i / S_i$

とおくと

$$C_i = C'_i \sum_{j=1}^n \left(\frac{X_{ij} \bar{A}_{ij}}{\rho_{ij} S_i} \right)^\xi \quad \dots \dots \dots \quad (17)$$

が得られる。

5. 通勤 OD 交通量の基本方程式

前節に述べた住宅の需要価格と供給費用を用いて通勤 OD 交通量を表わす方程式を求める。

利潤は価格と費用の差額で表わされる。 i ゾーンの住宅供給者が受け取る単位住宅敷地面積当りの利潤 R_i (時/月 km^2) は式 (11) で与えられる P_{ij} の平均値を \bar{P}_{ij} , A_{ij} の平均値を \bar{A}_{ij} , I_{ij} の平均値を \bar{I}_{ij} とおくと式 (11), (17) から

$$R_i = \sum_{j=1}^n \bar{P}_{ij} \frac{X_{ij}}{\rho_{ij} S_i} - C_i \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

と表わされる。住宅供給者が最大利潤を追求するものとすれば、そのときの X_{ij} および \bar{A}_{ij} は式 (18) を X_{ij} および \bar{A}_{ij} で偏微分し、それぞれを 0 とおくことによって、式 (19), (20) のように求まる。

$$X_{ij} = \rho_{ij} S_i \left(\frac{\beta_i'' \bar{I}_{ij}^\xi}{C_i^\xi} \right)^{1/(\xi-1)} (\bar{A}_{ij})^{-\xi/(\xi-1)} \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

$$\bar{A}_{ij} = a_{jj} \exp \left(\alpha \bar{I}_{ij} - \frac{\beta_i'}{\beta_i''} \bar{I}_{ij}^{1-\xi} + 1 + v t_{ij} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (20)$$

このとき、 X_{ik} ($k=1, 2, \dots, n$, ただし $k \neq j$) は X_{ij} の、 \bar{A}_{ik} は \bar{A}_{ij} の影響を受けて変動すると考えられるが、その影響は小さいとして

$$\frac{\partial X_{ik}}{\partial X_{ij}} = 0, \quad \frac{\partial \bar{A}_{ik}}{\partial \bar{A}_{ij}} = 0$$

とおいた。

式 (11) の P_{ij} を \bar{P}_{ij} , A_{ij} を \bar{A}_{ij} , I を \bar{I}_{ij} とおいた式に式 (20) を代入すると

$$\bar{P}_{ij} = \beta_i'' \bar{I}_{ij}^\xi \quad \dots \dots \dots \quad (21)$$

となる。式 (2) は P を \bar{P}_{ij} , I を \bar{I}_{ij} とおいたときにも成立するものとすれば、式 (2), (21) から

$$\beta' \bar{I}_{ij} = \beta_i'' \bar{I}_{ij}^\xi \quad \dots \dots \dots \quad (22)$$

となる。 ζ は 1.00 より小さいけれども 1.00 にきわめて近いと考えられるため $\zeta = 1.00$ とおけば式 (22) は $\beta' = \beta_i''$ となる。図-4 の第1象限のドットは等間隔の通勤所要時間帯別に算出した平均値であるため常住ゾーンの特性が β' に現われていないが、 β' は常住ゾーンごとに異なる値であると考えられる。そこで β' を β'_i とおく。この場合、式 (22) より

$$\beta'_i = \beta_i'' \quad \dots \dots \dots \quad (23)$$

となる。このとき β_i'' は無次元となる。

式 (19), (20) に式 (23) を代入し、 $\zeta = 1.00$ とおくと

$$X_{ij} = \rho_{ij} S_i \left(\frac{\beta_i' \bar{I}_{ij}}{C_i \xi} \right)^{1/(\xi-1)} (\bar{A}_{ij})^{-\xi/(\xi-1)} \dots (24)$$

$$\bar{A}_{ij} = a_{jj} \exp(\alpha \bar{I}_{ij} + v t_{ij}) \dots (25)$$

となる。いま近似的に ρ_{ij} は i ゾーンの平均就業率 ρ_i に等しく、 \bar{I}_{ij} は i ゾーンの1人当たりの平均所得 I_i に等しいとし、さらに

$$K_j = \left(\frac{1}{a_{ij}} \right)^{\xi/(\xi-1)} \dots (26)$$

$$\lambda_i = \rho_i \left(\frac{\beta_i' I_i}{C_i \xi} \right)^{1/(\xi-1)} \exp \left(-\frac{\xi}{\xi-1} \alpha I_i \right) \dots (27)$$

$$\tau = \frac{\xi}{\xi-1} v \dots (28)$$

とおくなれば、式 (24), (25) から X_{ij} は

$$X_{ij} = K_j \lambda_i S_i \exp(-\tau t_{ij}) \dots (29)$$

のごとく書き換えられる。式 (29) を通勤 OD 交通量の基本方程式とよぶことにする。

6. 通勤 OD 交通量の推計値と実測値の比較

前節において誘導した基本方程式により通勤 OD 交通量の推計値と実測値の比較を行う。

図-1 は X_{ij}/S_i と t_{ij} の関係を図示したものである。この図にみられる現象が式 (29) で表わされるとしたとき、ドットのばらつきは λ_i の大きさの差異によることになり、 $\ln(X_{ij}/S_i)$ は t_{ij} が大きくなるにつれて $-r$ の勾配で減少することになる。また X_{ij} は K_j に比例して変動することになる。これら K_j , λ_i , r を個々に求めるることは関連資料が不十分なためむずかしい。図-1において λ_i の等しいドットを結ぶと r が算出されることになるけれども λ_i は β_i' , C_i を含んでいため、

表-2 $\beta'v/\alpha$, β' , α

$\beta'v/\alpha$	0.209 (時/人月分)
β'	0.153
α	0.156×10^{-2} (人月/時)

この図から正確な r を求めることは困難である。ここでは図-1 から概算により r は 6.36×10^{-2} とする。この場合 図-4 の第2象限の勾配 $\beta'v/\alpha$, 第1象限の勾配 β' および式 (1) の α はおおむね表-1のごとき値であるから $v=2.13 \times 10^{-2}$ となる。このとき式 (28) から ξ は 1.50 となる。 ξ が決ると β_i'/C_i は次のようにして概算できる。

式 (24) は

$$\left(\frac{X_{ij} \bar{A}_{ij}}{\rho_{ij} S_i} \right)^\xi = \left(\frac{\beta_i' \bar{I}_{ij}}{C_i \xi} \right) \frac{X_{ij}}{\rho_{ij} S_i} \dots (30)$$

と書き換える。式 (30) を式 (16) に代入して $\bar{I}_{ij} \div I_i$ とおき、 β_i'/C_i を求めると

$$\frac{\beta_i'}{C_i} = \left(\frac{H_i A_i}{S_i} \right)^{\eta+1} \frac{S_i \xi}{b H_i I_i} \dots (31)$$

となる。 $\xi=1.50$ の場合、 $\eta=0.675$, $b=87.4$ である。

式 (31) を用いて算出した β_i'/C_i を式 (27) に代入す

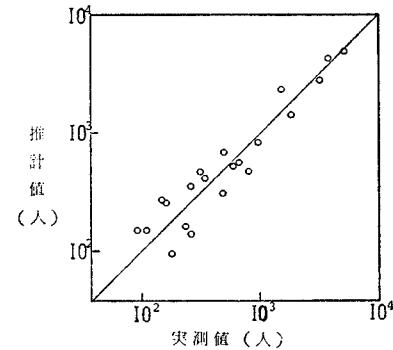


図-9 通勤 OD 交通量 X_{ij} の推計値と実測値の比較 (従業地: 杉並区)

ると λ_i が求まる。このようにして算出した r , λ_i および実測あるいは推計による t_{ij} を式 (29) に代入すると X_{ij}/K_j が推計できる。従業ゾーン j を固定した場合、 K_j は一定であるから実測による X_{ij} と推計による X_{ij}/K_j は比例することになる。

杉並区を従業ゾーンとする昭和 40 年度の通勤 OD 交通量の実測値と上述の手順に沿って推計した値を比較すると図-9のごとくになる。ここでは中野区から杉並区へ通勤する就業者数の実測値と推計値が一致するものとして K_j を求め、その他のゾーンから杉並区へ通勤する就業者数を推計した。このとき、通勤所要時間は居住地選定動機調査による実測値を採用した。また1人当たりの所得は東京都による昭和 40 年度給与所得実態調査⁶⁾の結果から推計した。内内の実測値は 97 342 人であるけれども推計値は 14 574 人であり、大きくかけ離れている。内内を除くと実測値と推計値はかなりよく一致している。内内を除いて実測値に対する推計値の相関係数を求めるとき 0.98 となり、また図-6 に記入したドットの範囲内で推計値の合計と実測値の合計の比率を求めるとき 1.03 となる。さらに各ドットについて推計値と実測値の比率を求めると図-10 のようになり、通勤 OD 交

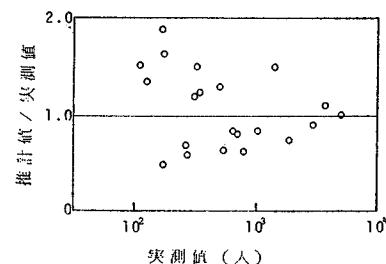


図-10 通勤 OD 交通量 X_{ij} の推計値と実測値の比

通量が大きくなると精度が高くなっている。

7. 人口分布、住宅地の地価、住宅費

式(29)による通勤OD交通量の推計値のうち、内の推計値は実測値と大きくかけ離れている。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、ゾーンの広がり、産業構造等の影響を受けて変動していると考えられる。このため他のゾーンから従業ゾーン j へ通勤する就業者数は式(29)により推計できるものとし、 j ゾーンの内内通勤OD交通量 X_{jj} は別途推計するものとする。この場合、 j ゾーンの従業地就業者数 D_j は式(29)から

$$D_j = K_j \sum_{i=1}^n \lambda_i S_i \exp(-rt_{ij}) + X_{jj} \quad (i \neq j) \quad (32)$$

となる。同様にして i ゾーンの常住地就業者数 O_i は

$$O_i = \lambda_i S_i \sum_{j=1}^n K_j \exp(-rt_{ij}) + X_{ii}, \quad (j \neq i) \quad (33)$$

となる。

可住地面積(次節参照)の大部分が市街化されたゾーンにおいては可住地面積に対する従業地就業者密度が大きくなると住宅敷地面積総数が小さくなり常住人口が少なくなるためそのゾーンの内内通勤OD交通量は減少すると推測される。この推測に従って X_{jj}/D_j と D_j/S_j^* の関係を昭和40年度の国勢調査報告を用いて求め

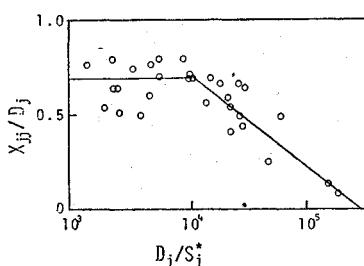


図-11 X_{jj}/D_j と D_j/S_j^*

$/S_j^*$ が1万人/km²未満のときはほぼ横ばいであり、 D_j/S_j^* が1万人/km²をこえると D_j/S_j^* が大きくなるにつれて低下している。この現象を次のとく表す。

$$X_{jj} = 0.700 \delta_j D_j \left(0 < \frac{D_j}{S_j^*} \leq 10^4 (\text{人}/\text{km}^2) \right) \quad (34)$$

$$X_{jj} = 0.215 \delta_j D_j \ln \left[2.06 \times 10^6 \cdot \left(\frac{D_j}{S_j^*} \right)^{-1} \right] \quad \left(\frac{D_j}{S_j^*} \geq 10^4 (\text{人}/\text{km}^2) \right) \quad (35)$$

ここで δ_j は j ゾーンの特性値であるとする。

次に式(32)に式(26)を代入して K_j を消去して

a_{jj} を求めると

$$a_{jj} = \left(\frac{D_j - X_{jj}}{Y_j} \right)^{-(\xi-1)/\xi} \quad (36)$$

となる。ここに Y_j は

$$Y_j = \sum_{i=1}^n \lambda_i S_i \exp(-rt_{ij}) \quad (37)$$

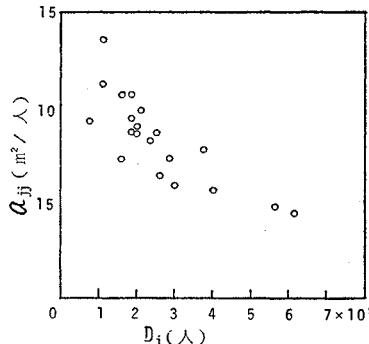


図-12 a_{jj} と D_j

である。 $\xi = 1.50$ とし、 Y_j はゾーン相互間で大きな差異がないものとすれば、 X_{jj} は式(34)、(35)のごとく D_j の関数として表わされるからおおむね a_{jj}

は D_j が大きくなるにつれて減少する。昭和40年度において杉並区を居住ゾーンとする就業者の通勤OD交通量から各従業ゾーンの a_{jj} を式(26)、(29)から求めると図-12のごとくになり a_{jj} は D_j が大きくなると減少している。式(11)は a_{jj} が小さくなると1人当たりの住宅費 P_{ij} が高くなることを示している。このため、 D_j が大きくなると P_{ij} は高くなることになる。これは需要と供給からみた価格形成の概念に一致する。

式(18)は i ゾーンの住宅供給者が単位期間に受け取る単位住宅敷地面積当りの利潤すなわち地代を表わす。式(18)に式(15)、(21)、(22)を代入して $\bar{I}_{ij} \neq I_i$ とおけば

$$R_i = \beta_i I_i \frac{H_i}{S_i} - C'_i \left(\frac{H_i \bar{A}_i}{S_i} \right) \quad (38)$$

となる。さらに式(38)に式(31)を代入すると

$$R_i = \frac{\xi-1}{\xi} \frac{\beta_i' I_i H_i}{S_i} \quad (39)$$

となり、利潤 R_i は住宅敷地面積に対する常住人口密度 H_i/S_i 、1人当たりの所得 I_i および住宅費の支出性向 β_i' に比例して変動することになる。住宅用地に対する投資の利子率を ϵ とおくと i ゾーンの住宅地の地価 V_i は

$$V_i = \frac{R_i}{\epsilon} \quad (40)$$

と表わされる。式(39)および式(40)の検証は β_i' および ϵ に関する資料が得られたとき行いたい。

8. 住宅敷地面積総数

通勤OD交通量 X_{ij} 、従業地就業者数 D_j 、常住地就業者数 O_i 、地代 R_i を表わす式(29)、(32)、(33)、(39)

の各式には常住ゾーン*i*の住宅敷地面積*S_i*が独立変数として含まれている。この*S_i*はゾーンごとに大きく異なり、かつ時系列的にも変動する値であるため検討を加えておく。

ゾーンの総面積は山地、河川、沼湖、公園、道路などに占められる非可住地と住宅用地あるいは業務用地として利用可能な可住地とに大別でき、また可住地は農地と宅地に分類される。さらに宅地は第2次、第3次産業の業務用地と住宅敷地に分けられる。このように分類した場合のゾーン別可住地面積^{*}は埋立あるいは山地における宅地造成等の人為的な開発が行われない限り大幅に変動するものではない。また宅地面積はそのゾーンにおける経済活動が活発になり、従業地就業者数および常住地就業者数が多くなると可住地面積の範囲内において大きくなると考えられる。いま、ゾーン別の(宅地面積)/(可住地面積) ϕ_i 、可住地面積に対する従業地就業者密度 D_i/S_i^* 、可住地面積に対する常住地就業者密度 O_i/S_i^* の三者の関係を求めるとき、図-13のごとくになり、 D_i/S_i^* あるいは O_i/S_i^* が大きくなると ϕ_i は次第に1に近づいている。図の第1、第2、第4象限から D_i/S_i^* および O_i/S_i^* が1.5万人/km²より小さい範囲においては D_i/S_i^* と O_i/S_i^* との間には比較的すっきりした関係が認められるが第1、第2象限はばらついている。しかしこれら2つの象限のばらつきのパターンは類似している。すなわち第1象限において相対的に ϕ_i の小さいゾーンの第2象限における ϕ_i は相対的に小さい。 D_i/S_i^* および O_i/S_i^* が15000人/km²より大きい範囲においては D_i/S_i^* が大きくなると O_i/S_i^* は増大から減少に移るけれども、 ϕ_i は1に漸近している。これらの現象から ϕ_i のばらつきはゾーンの経済活動の内容の影響を受けていると推測される。

図-1にみられるごとく通勤OD交通量の発生密度は時間距離平面上で従業ゾーンを中心にしてほぼ円錐形に分布していることから、巨視的にはまず従業地就業者

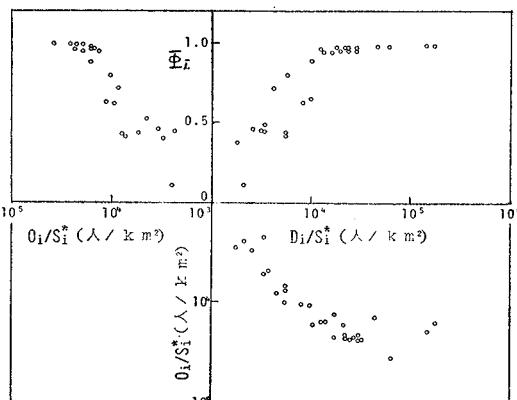


図-13 ϕ_i , D_i/S_i^* , O_i/S_i^*

の分布が決まり、交通網の整備の程度に応じて常住地就業者の分布が決まるものと推測される。この推測を是認した場合、上述の考察から ϕ_i を決定する主要な要因は D_i/S_i^* であることになる。ここでは大胆に上述の推測を肯定することにする。いま ϕ_i に関するゾーン特性値を ψ_i とおき、図-13の第1象限の上位のドットを結んだ曲線を代表曲線とすると ψ_i は

$$\psi_i = \phi_i [1 - \exp(-0.268 \times 10^{-3} \cdot D_i/S_i^*)] \dots (41)$$

と表わされる。

すでに述べたごとく宅地は第2次、第3次産業の業務用地と住宅敷地に分けられる。一般に事業所の地代負担力は住宅の地代負担力にまさるために、可住地面積の大部分が宅地化したゾーンにおいては従業地就業者数が増大すると住宅敷地面積総数が次第に業務用地に転換されるものと考えられる。また、 $\phi_i < 1$ の範囲にあるゾーンにおいては従業地就業者が増大すると業務用地面積総数と住宅敷地面積総数は同時に拡大されるが、住宅敷地面積総数と業務用地面積総数の比率は変動すると考えられる。いまゾーン別の(住宅敷地面積総数)/(宅地面積) ψ_i と宅地面積 \hat{S}_i に対する従業地就業者密度 D_i/\hat{S}_i の関係を求めるとき、図-14のごとくになり、かなりのばらつきはあるが D_i/\hat{S}_i が増大すると ψ_i は次第に小さくなっている。 D_i/\hat{S}_i が等しいゾーン相互間において ψ_i が小さいゾーンは工業の卓越したゾーンである。このことから ψ_i のばらつきもそのゾーンの経済活動の内容の影響を受けているものと推測される。ここでも ψ_i に関するゾーン特性値 ψ_i を設け、図-14の上位のドットを結ぶ曲線を代表曲線とみなすと ψ_i は、 $10^3 < D_i/\hat{S}_i < 10^6$ 人/km²において

$$\psi_i = \psi_i [-0.118 \ln(1.23 \times 10^{-6} D_i/\hat{S}_i)]^{0.544} \dots (42)$$

と表わされる。

この節における議論はきわめて粗く、さらに厳密に検討しなければならない部分が多いが、式(41)、(42)の成立を認めた場合、可住地面積と従業地就業者数 D_i を与えるならば住宅敷地面積総数を推計することができる。

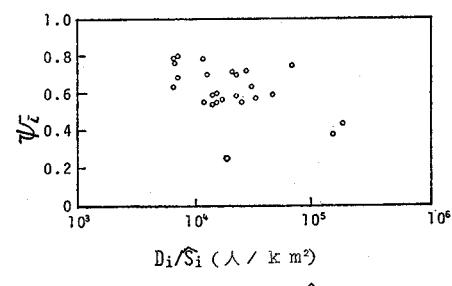


図-14 $\psi_i \leftarrow D_i/\hat{S}_i$

9. 結 言

この研究の主要な課題は交通網の変化に応じて変動する通勤 OD 交通量および人口分布を定量的に表現することであった。この課題は居住地選定動機調査から得られた情報を基調とし、2,3 の仮定のもとに導いた住宅の需要価格と供給費用の各関数を用いることによってほぼ達成された。すなわち、交通網と通勤 OD 交通量の関係は式(29)のごとく表わされ、交通網と人口分布の関係は式(32),(33)のごとく表わされる。これらの式を利用した場合、ゾーン別従業地就業者数 D_j 、ゾーン別 1人当たりの平均所得 I_i 、ゾーン特性値 β'_i 、 C_i 、 ϕ_i 、 ψ_i を与えるならば交通網の変化に応答する通勤 OD 交通量 X_{ij} および常住地就業者数 O_i を求めることができる。

ここに設定した仮定およびそれに基づいて展開した理論解の妥当性は通勤 OD 交通量の理論値と実測値を比較することにより検証された。その結果、図-9 にみられるごとく両者はかなりよく一致した。これは理論展開の一面における検証であるため断定できないけれども本論文の仮定および理論解はほぼ妥当なものであると考えられる。

第3節において2つの問題を提起した。1つは①ある従業ゾーンへの通勤 OD 交通量発生密度は大勢として通勤所要時間が大きくなるにつれて負の指數関数に沿って減少するという現象を通勤所要時間が負の効用をもたらすという面だけから説明するとはむずかしいという点であり、いま一つは②都心部に居住し郊外へ向って通勤している就業者が相当数あるがそれらの就業者は住宅費の面では不経済な住宅立地を行っていると推測される点である。これら二つの問題に対する前節までの理論解に沿った解釈は次のとくである。問題①は図-1 にみられる現象を通勤所要時間が負の効用をもたらすという面だけから説明しようとした際に直面した疑問である。理論的検討の結果、住宅の規模および立地点に関して式(11),(17)のごとき需要価格、供給費用の関数が成立しており、住宅供給者がそれらの関数から求まる利潤を最大にする際に図-1 のごとき現象が発生することが判明した。この場合、通勤所要時間 t_{ij} は式(11)にみられるごとく他の条件が一定の場合、全部需要価格 P_{ij} を $\beta''_i I^{vt} t_{ij}$ だけ低下させるという点で通勤者に対して負の効用をもたらしている。問題②は住宅地の地価が都心で高く、郊外で低いという点を考慮した場合に生じた疑問である。しかし、式(39),(40)にみられるごとく1人当たりの所得 I_i および I_i に占める住宅費の比率 β'_i が一定の場合、住宅地の地価 V_i は住宅敷地面積総数 S_i に対する常住人口密度 H_i/S_i に比例して変動するため、

I_i および β'_i が都心部と郊外部で差異がないとした場合、都心部において住宅地の地価が郊外部に比べて高いのは H_i/S_i によるものと考えられ、1人当たりの住宅費に占める地代は都心部と郊外部で差異がないことになる。このため都心部に居住し郊外へ向って通勤する就業者が存在し得ることになる。

なお、 D_j , I_i , β'_i , C_i , ϕ_i , ψ_i および住宅地の地価 V_i に対する検討は機会を改めて行いたい。

謝 辞：この研究を行うに当たり多くの先達の指導と協力を受けた。とりわけこの研究は東京都市群 P.T 調査委員会によって実施された居住地選定動機調査の結果を基礎資料としている。その委員会の当時のメンバーである佐々波秀彦、竹林寛、依田和夫、齊田登の各氏から多大の助言、助力をいただいた。この研究の多くの作業は筆者が建設省土木研究所に在職した時に職員諸氏のご協力を得て行ったものである。記して深甚なる謝意を表わしたい。

【付 記】

注 1) 居住地選定動機調査による一世帯当たりの平均所得は約12万円/月であり、一世帯当たりの平均就業者数は1.59人である。就業者1人当たりの1か月の平均労働時間数を200時間すると就業者の平均労働時間価値は400(円/時)となる。

注 2) 昭和43年度東京都市群 P.T 調査によると鉄道を利用した出勤交通量は都市群全体で全出勤交通量の52%であるが都心3区では85%，副都心4区では69%，横浜都心2区では52%，埼玉県の中心ゾーンでは36%，千葉市では30%である。

注 3) 1人当たりの延べ床面積が20(m²/人)の場合、1人当たりの所得における民営借家と持家の差額を50(時/人月)とし、世帯人員を3.40人とすれば一世帯の住宅の延べ床面積は68m²、民営借家と持家の世帯所得の差額は170(時/月)となる。いま1か月当たりの利子率を0.005とし世帯所得の差額をその利子率で除すと34,000(時)を得る。この値に平均労働時間価値400(円/時)を乗ずると1,360万円となる。この金額が昭和43年時点に延べ床面積68m²の住宅を購入する価格となる。

注 4) 持家の中には住宅ローンを返済中のものもあるが、その返済金は資本の蓄積とみられ、借家における家賃とは性格の異なるものであると考えられるため、住宅ローン返済中の持家の場合も家賃を支払っていないものとする。

注 5) 経済学における限界および全部の概念を適用して住宅の延べ床面積を1単位増加させるとときに需要者がその1単位につける価格を限界需要価格とよび、需要者が住宅全体に対してつける価格を全部需要価格とよぶことにする。

注 6) $\xi=1.50$ の場合、 $\eta=0.675$, $b=87.4$ であり、 $\xi=2.00$ の場合、 $\eta=2.04$, $b=0.247$ である。

参 考 文 献

- 1) 松浦義満：都市地域の人口分布と土地価格について、新都市、Vol. 24, No. 4, 1970.
- 2) 総理府統計局：昭和40年度国勢調査報告書
- 3) 松浦義満：通勤交通量発生密度に関する考察、日本都市計画学会学術講演会論文集、No. 5, 1970.
- 4) 総理府統計局：昭和38年度住宅統計調査報告書
- 5) 松浦義満・野呂影男・金成洋治：居住地選定動機調査について、日本都市計画学会学術講演会論文集、No. 6, 1971.
- 6) 東京都：給与所得実態調査報告書、1966.
- 7) 建設省関東地方建設局：昭和40年度関東地域OD調査解析報告書、1967.

(1974.10.21・受付)