

通勤交通における交通手段別分担率に関する実証的研究

AN EMPIRICAL STUDY ON THE SHARE OF BUS, CAR
AND WALK FOR JOURNEY TO WORK

松 浦 義 満*

By Yoshimitsu MATSUURA

1. 結 言

交通網計画案が提案された場合、鉄道、バス、自動車等の各交通手段の利用量を推計することは交通計画におけるもっとも重要な作業の1つである。

現在の都市交通体系は交通速度、運賃率、快適性、利便性等の特性の異なる 20 余種類にも及ぶ交通手段が相互に競合あるいは補完し合って組織されており、きわめて複雑である。しかし、大部分の市民は日常の行動圏域内においては交通手段およびルートに関する十分な情報を得て活動している。このため、人々はある目的をもってある地点から他の地点へ移動するとき、その2地点間において利用できる数多くの交通手段のうちから、各人にもっとも有利な交通手段を比較的容易に選択し、利用していると考えられる。したがって、地点間のトリップおよびそのトリップを集計したゾーン間のトリップにおける各交通手段の分担率と交通体系との間には密接な関係が存在するものと思われる。

地点から地点へのトリップを対象にした場合、ある個人がもっとも有利であると判断した交通手段を別の個人がもっとも有利であると判断するとはかぎらない。したがって、この場合、各人の交通手段の選択の仕方は個人の特性による部分が多いと考えられる。この個人特性を考慮して、地点間の交通手段別分担率と交通体系の関連を公表されたパーソン・トリップの調査結果を用いて分析することは個人特性にかかわる情報がないため困難である。また、仮に個人特性を組み込んだ地点間の分担率モデルが提案されたとしても、計画対象圏域内においては地点の対応数が無数に存在するため、そのモデルを適用して計画対象圏域内の各交通手段の利用量を推計することは不可能に近い。

一般に交通計画は計画対象区域を多数のゾーンに区分

して行われており、計画案作成のための調査資料の多くもゾーン単位に集計されている。とりわけ、パーソン・トリップのごとき交通量はゾーン間OD表にまとめられている。このようなゾーン間トリップを対象にした場合、2つのゾーンのつながりは面と面の対応になる。この場合、1つのゾーン・ペアにおいて、ある地点間に有利な交通手段が同一のゾーン・ペアにおける他の地点間には必ずしも有利な交通手段とならない場合が多い。実際に、2つのゾーンが隣接しているとき、それらのゾーンの境界線をまたぐ近距離の地点間では徒歩によるトリップが多く発生しており、同じゾーン・ペアであっても地点間の距離が長くなると徒歩によるトリップ数は減少し、鉄道、バス、自動車によるトリップ数の占める割合が高くなっている。こうした現象から、ゾーン間においては上述の個人特性のほかに、それら2つのゾーンを連絡する鉄道、バス等の交通網および発着ゾーンの大きさや形が各交通手段の分担率に大きく影響を及ぼしていると推測される。先に述べたごとく鉄道、バス、自動車、徒歩等の各交通手段の特性は異なっており、遠距離交通に有利な交通手段もあり、近距離交通に有利な交通手段もある。これら各交通手段の特性および着ゾーンにおける駐車難易が各交通手段の分担率に寄与していることはいうまでもない。

このように考えてみるとゾーン間における交通手段別分担率には検討すべき事項が大別して3つあることがわかる。それらは、(I) 人々は2地点間を移動するとき、ある交通手段が他の交通手段に比べ有利であるということをかかなる要因によって判断しているか、(II) 各要因が変化した場合に交通手段別分担率はどのように変動するか、(III) 発着ゾーンの大きさおよび形が交通手段別分担率にどのような影響を及ぼすか、である。検討すべき事項はこのように挙げられるけれども、使用に耐えて資料が得られるか否かによってその検討内容にも自ずから限界がでてくるであろう。

* 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部土木工学科

交通手段別分担率に関する研究は多く行われてきている(参考文献 1)~10)。それらの大部分は交通手段選択要因に焦点を絞った研究、および各要因を組込んだ確率モデルに関する研究である。それらの研究成果および上述の検討項目から判断して、交通手段別分担率モデルに最小限備わっていなければならない性質は次の3つの交通条件の変化、すなわち、(I)交通網および各交通手段の速度の変化、(II)運賃、走行経費等の貨幣支払額の変化、(III)自動車乗入れ規制の強化および駐車条件の悪化、に回答できることであると考えられる^{注1)}。このときゾーンの大きさおよび形はできる限り均一でなければならない。

この研究においては上記の3つの性質を備えた交通手段別分担率モデルの開発をめざし、通勤交通(出勤交通)を対象にしてバス、自動車、徒歩が競合する場合の交通手段別分担率について検討する。上述のごとく個人特性は交通手段選択の重要な要因であるけれども、分析資料がないことおよび議論を単純化するため、これを同一とみなすことにする。

この研究の研究対象地域は金沢都市圏である。この都市圏の範囲を明確に設定することは難しいが、ここでは金沢市と野々市町とする。両市町の合計面積は47,217 haであり、昭和45年10月1日現在の人口は374,891人である。金沢都市圏には大都市にみられるような都市鉄道網は未発達であり、大部分の通勤交通は徒歩、自動車、バスに依存している。

2. 分析データとその内容

分析データとしては石川県が昭和46年9月21日に実施した通勤通学実態調査¹⁾の結果を用いる。この調査は金沢都市圏において交通渋滞のもっともはげしい朝夕の通勤通学時の交通実態を把握することを目的としたものである。調査の内容は個人属性、事業所および学校の属性、通勤通学条件である。また、調査の実施にあたっては、通常のパーソン・トリップ調査で採用されている常住地ベースで世帯を抽出する方法と異なり、この調査では従業通学地ベースで事業所および学校を抽出している。これは比較的狭い調査地域で広範囲からの流入交通量をとらえることができるという利点を利用したものである。この調査では金沢市および野々市町で従業通学す

る就業者、通学者を調査対象者としており、母集団は官公庁職員名簿、事業所統計調査対象名簿、学校基本調査、学生名簿により推計している。調査対象者は母集団から15%の割合で抽出されている。この調査の有効回収率は65.1%である。

この調査においては金沢都市圏を66ゾーンに区分しており、ゾーンの大きさを都心部において小さく、郊外において大きくしている。しかし、この研究では前節で述べた理由により、ゾーンの大きさをできる限り均一にするように務め、都市圏を45ゾーンに再区分した。このときの各ゾーンの可住地面積は200~500 haの範囲にある。

時間距離のデータとしては通勤通学実態調査の結果が不正確であるため、昭和49年度に実施された金沢都市圏パーソン・トリップ調査の結果を使用する。

3. 通勤交通における距離克服の効用

通勤交通は住宅需要という本源的な欲求を充足するために生ずる派生的な事象であるとみるならば、通勤交通における距離克服の効用の大きさは本源的欲求に対する効用の大きさ、すなわち、住宅の効用の大きさを測ることができる。住宅のもたらす効用は延べ床面積、敷地面積、住宅立地点の環境等の種々の要因により変動すると考えられるが、それらの要因をすべて取り上げて住宅の効用を論ずることは難しい。ここではそれらの要因のうちもっともウエイトが高いと推測される延べ床面積で住宅の効用を論ずることにする¹²⁾。住宅の効用は延べ床面積のもたらす効用であるとした場合にも、その延べ床面積に対する満足感は世帯の人員および所得の大きさにより異なると考えられる。これらの世帯人員および所得を考慮して住宅の効用を論ずると議論がきわめて複雑になる。このため以下の議論においてはすべての世帯の人員および所得は一定であると仮定し、各世帯の人員および所得は平均世帯人員および平均世帯所得に等しいとする^{注2)}。そしてこの平均的世帯を平均世帯とよぶことにする。

一般に財の限界効用は通減する。住宅も1つの経済財であるため、この法則を適用することができる。しかし、食料、衣服と同様に、住宅は人々の生活に欠くことのできない生活財であると同時に、住宅の規模、すなわ

注 1) 座席が確保できるか、予定通り正確に目的地に到達できるかという点も交通手段別分担率に影響を及ぼす重要な要因であるけれども、この研究で展開するとき単純化したモデルにそれらの要因を組込むことは難しく、また、この研究で使用したデータには座席の確保および時間の確実性に関する情報が含まれていないためそれらについての分析は不可能である。

注 2) この研究はゾーン間の交通手段別分担率を扱っているため、世帯人員および世帯所得としては発ゾーンの平均世帯人員および平均世帯所得を取り上げて議論することができる。このとき発ゾーンごとの平均世帯所得は図-2にみられるごとくほぼ一定である。したがって、少なくとも、この研究の範囲内においては世帯所得一定という仮定は非現実的ではない。

ち延べ床面積がある一定の大きさを越えたときはじめて住宅としての機能を果たす財でもある。すなわち、延べ床面積がある限界以下の場合には住宅としての役割を果たさない。このため、平均世帯が求める最小必要延べ床面積を A_0' で表わすとき、その世帯が確保する延べ床面積 A がこの A_0' を越えたときはじめて住宅としての機能を発揮するといえる。そこで住宅の効用は延べ床面積 A が最小必要延べ床面積 A_0' を越えた増加分によりもたらされるものとし、住宅の限界効用はその増加分 $(A-A_0')$ に逆比例して逓減すると仮定して、次式のように設定する。

$$\frac{dU}{dA} = \frac{\alpha}{A-A_0'} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 U は住宅のもたらす全部効用を表わす。また、 α は住宅効用係数とよぶことにする。この α の大きさは世帯によって異なり、住宅の規模に大きな価値をおく世帯は α が大きく、小さい価値をおく世帯は α が小さいと考えられる。このため α は1つの頻度分布をなしているとする。住宅のもたらす限界効用を式(1)のように仮定した場合、 $A=A_0'$ のとき dU/dA は無限大になるけれども、このときの限界効用は現実には有限である。

数式のもつこの欠陥を補うため、図-1に示すように A_0' と A_0 の間において dU/dA は一定であるとし、 A が A_0 を越えたとき dU/dA は式(1)に沿って逓減するものとする。このとき A_0 は A_0'

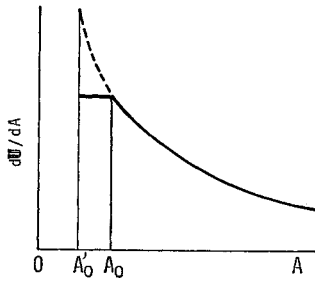


図-1 住宅の限界効用 dU/dA

にきわめて近い値であるとする。延べ床面積 A_0 の住宅の全部効用を U_0 とおき、延べ床面積 A の住宅の全部効用 U を求めると、

$$U = \alpha \ln \frac{A-A_0'}{A_0-A_0'} + U_0 \dots\dots\dots(2)$$

となる。ここで全部効用 U の単位を貨幣ターム(円)で表わすことにする。このとき α の単位は円となる。また、 A の単位は m^2 である。

ある従業員ゾーンへ通勤する就業者の通勤距離は就業者により異なり、遠距離通勤する者も、近距離通勤する者もある。これらの就業者の所得が一定であるとする。遠距離通勤者は近距離通勤者に比べその距離の延長分に見合うだけ規模の大きい住宅を得ていると推測される。すなわち通勤距離は就業者に非効用をもたらす。延べ床面積は効用をもたらすため、通勤距離と延べ床面積は代替関係にあると考えられる。昭和45年3月25日に東京都杉並区で従業員する就業者を対象にして実施した居

住地選定動機調査¹²⁾の結果を用いて通勤距離と通勤距離帯別平均所得および通勤距離帯別平均延べ床面積の関係を求めると図-2, 3のようになる。平均所得は通勤距離の長短に関係なくほぼ一定であるけれども、平均延べ床面積は通勤距離が長くなると単調に増加している。そこで、延べ床面積 A は通勤距離 $D(m)$ が長くなると単調に増大すると仮定して次式のごとく表わす。

$$A = A_0'' + \beta D \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 A_0'' は $D=0$ の地点において与えられる住宅の延べ床面積を表わし、 $\beta(m^2/m)$ は常数であるとする。 A_0'' は通勤交通に伴う非効用がまったくない場合の延べ床面積であるため上述の最小必要延べ床面積に近い大きさであると考えられる。このため、ここでは、

$$A_0'' = A_0' \dots\dots\dots(4)$$

と仮定する。式(2)~(4)から、

$$U = \alpha \ln \left(\frac{\beta D}{A_0 - A_0'} \right) + U_0 \dots\dots\dots(5)$$

ただし、

$$\beta D \geq A_0 - A_0'$$

を得る。通勤交通における距離克服の全部効用は式(5)で表わされることになる。

4. 通勤交通に伴う非効用

1つの目的トリップに単一の交通手段が利用される際、の交通に伴う全部非効用 U^* は交通時間を t 、実距離を D で表わすとき、

$$U^* = at + bpD + cet \dots\dots\dots(6)$$

で表わされること、および1つの目的トリップに A, B, C, \dots の複数個の交通手段が利用されるとき交通に伴う全部非効用は、

$$U^* = U^*_A + U^*_B + U^*_C + \dots\dots\dots(7)$$

で表わされることをすでに発表した¹³⁾。ここに、 a, b, c は常数であり、 p は単位距離当りの貨幣支払額、 e は単位交通時間当りの身体エネルギー消費量を表わす。また、 $U^*_A, U^*_B, U^*_C, \dots$ はそれぞれ交通手段 A, B, C, \dots

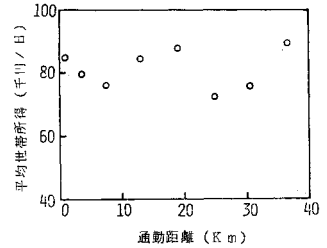


図-2 通勤距離帯別平均世帯所得

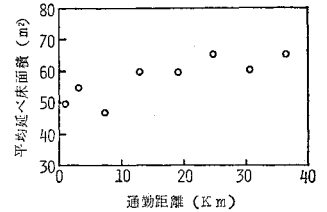


図-3 通勤距離帯別平均延べ床面積

による全部非効用を表わす。

通勤交通には徒歩—バス—鉄道—徒歩というようなモード・パターンが現われる場合もあるが、この研究は大部分の通勤交通が徒歩、自動車、バスに依存している金沢都市圏を対象にしているため、徒歩—自動車—徒歩、徒歩—バス—徒歩、および徒歩のみという3つのモード・パターンにおける全部非効用を求めることにする。

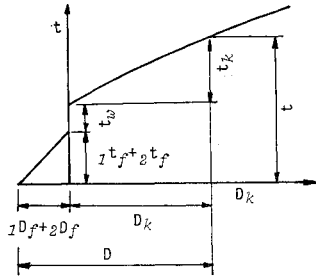


図-4 通勤交通における時間距離と実距離

前2者のパターンにおける時間距離と実距離の関係を図-4のように定める。この図における各記号は、

- $1t_f, 1D_f$: 前端末徒歩の交通時間(分)と実距離(m)
- t_w : 待時間(分)
- t_k, D_k : 代表交通手段 k による交通時間(分)と実距離(m)
- $2t_f, 2D_f$: 後端末徒歩の交通時間(分)と実距離(m)

を表わす。

通勤交通が図-4のモード・パターンを示すときの全部非効用 U^* は式(6)、(7)から、

$$U^* = a(t_k + t_w + 1t_f + 2t_f) + bp_k D_k + c(e_k t_k + e_w t_w + e_f(1t_f + 2t_f)) \dots (8)$$

と表わされる注3)。ここに p_k は代表交通手段 k を利用したときの単位距離当りの貨幣支払額を表わし、その単位は円/mである。また、 e_k, e_f, e_w はそれぞれ交通手段 k に乗車しているとき、歩行しているとき、および待時間における単位時間当りの身体エネルギー消費量を表わし、その単位は kcal/分である。

前節において距離克服の全部効用の単位を貨幣タムで表わすことにした。したがって、交通に伴う全部非効用も貨幣タムで表わすことにする。このとき式(8)の a と c の単位はそれぞれ円/分、円/kcal となり、 b は無次元となる。

5. 通勤交通のもたらす純全部効用とトリップ長

住宅の立地点を自由に選択できる場合、就業者は住宅立地点として通勤交通に伴う全部非効用の大きさと住宅

注3) 式(8)は式(6)、(7)に基づいて設定したものであり、式(6)、(7)は文献13)に発表した。

のもたらす全部効用の大きさの差、すなわち純全部効用を極大にする地点を選ぶと考えられる。住宅に対して α の効用係数を与える就業者が通勤距離 D 、通勤所要時間 t の地点に住居を求めるときに獲得する純全部効用 U は式(5)、(8)から、

$$U = \alpha \ln \frac{\beta D}{A_0 - A_0'} + U_0 - a(t_k + t_w + 1t_f + 2t_f) - bp_k D_k - c(e_k t_k + e_w t_w + e_f(1t_f + 2t_f)) \dots (9)$$

と表わされる。いま、両端末の徒歩トリップ長 $1t_f, 2t_f$ と待時間 t_w は通勤所要時間 t の長短に関係なく一定であるとし、 t は代表交通手段 k による所要時間 t_k の大きさで決まるものとする。このとき式(9)を t_k で微分して純全部効用を極大にする実距離 \bar{D} を求めると、

$$\bar{D} = \frac{\alpha \cdot d\bar{D}/dt_k}{a + bp_k \cdot d\bar{D}_k/dt_k + ce_k} \dots (10)$$

を得る注4)。この式における $d\bar{D}/dt_k$ と $d\bar{D}_k/dt_k$ は $1D_f, 2D_f$ を一定としているため、

$$d\bar{D}/dt_k = d\bar{D}_k/dt_k \dots (11)$$

である。

3. で述べたごとく、住宅効用係数 α は就業者により異なると考えられる。いま、この α の発生頻度分布を $f(\alpha)$ とおく。 α が $f(\alpha)$ の分布で発生する場合、代表交通手段 k による通勤交通の実距離によるトリップ長分布 $h_k(D)$ は $f(\alpha)$ に対応して発生することになる。このとき $f(\alpha)$ の中央値 $\hat{\alpha}$ は $h_k(D)$ の中央値 \hat{D} に対応することになる。すなわち式(10)の α に $\hat{\alpha}$ を、また \bar{D} に \hat{D} を代入することにより、

$$\hat{D} = \frac{\hat{\alpha} d\hat{D}/dt_k}{a + bp_k d\hat{D}/dt_k + ce_k} \dots (12)$$

と表わすことができる。

住宅の効用係数 α の発生頻度 $f(\alpha)$ の相対累積度数を $F(\alpha)$ 、代表交通手段 k (バス: b 、自動車: c 、徒歩: f) による通勤距離分布 $h_k(D)$ の相対累積度数を H_k

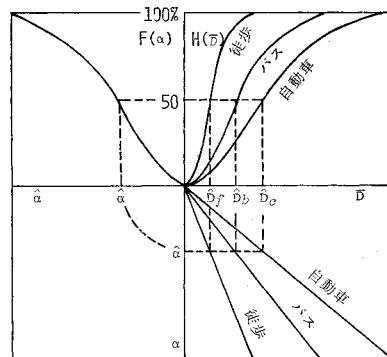


図-5 住宅効用係数 α と代表交通手段別トリップ長 \bar{D} の関係

注4) D および D_k と t_k の関係は 図-4 のごとくである。

(D) で表わし、 $F(\alpha)$, $H_k(D)$, \bar{D} , α の関係を図式的に描くと 図-5 のようになる。この図の第 4 象限の α と \bar{D} の関係は発生するすべての通勤交通が α の大きさに応じて純全部効用極大を追求しているとすれば式 (10) でもって描かれる。各代表交通手段の交通速度 $d\bar{D}/dt_k$ 、貨幣支払額 p_k 、身体エネルギー消費量 e_k は異なるから式 (10) で与えられる \bar{D} と α の関係は代表交通手段ごとに異なる。このため、各 ($\alpha \sim \bar{D}$) 曲線に対応させて、代表交通手段別の通勤距離の相対累積度数曲線を求めることができる。図-5 では代表交通手段が徒歩、自動車、バスである場合の例を示した。この図には $F(\alpha)$ の中央値 $\hat{\alpha}$ と徒歩、自動車、バスによる通勤距離の中央値 \hat{D}_f , \hat{D}_c , \hat{D}_b の関係を点線で示す。

6. 通勤交通に伴う非効用の推計

(1) 代表交通手段別通勤距離の分布

金沢都市圏パーソン・トリップ調査の結果を用いて、金沢都心ゾーンへ通勤する就業者の徒歩、自転車、自動車、バスによる通勤距離の相対累積度数を求めると 図-6 のようになる。この図から求める各代表交通手段による通勤距離の中央値 \hat{D} を表-1 に示す。

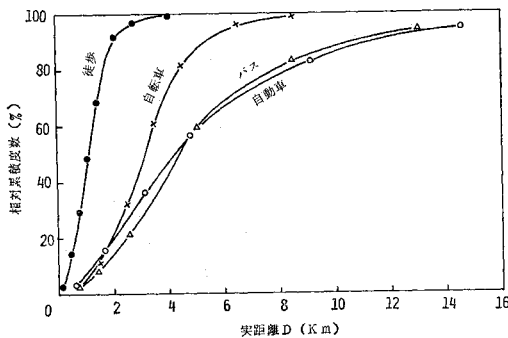


図-6 代表交通手段別通勤トリップ数の相対累積度数 (変量: 実距離)

(2) 代表交通手段別交通速度

前項に述べたパーソン・トリップ調査の結果を用いて金沢都心ゾーンへの自動車とバスによる通勤所要時間と道路実距離の関係を求めると 図-7, 8 のようになる。このとき道路実距離としてはゾーン中心間の距離をとり、通勤所要時間としてはゾーン間通勤所要時間分布の 10 パーセントと 90 パーセントの中間の値を採用した。

図-7, 8 をみると、自動車、バスともに都心を離れるにつれて交通速度が上昇していることがうかがえる。これは都心部における交通混雑の影響であると推測され

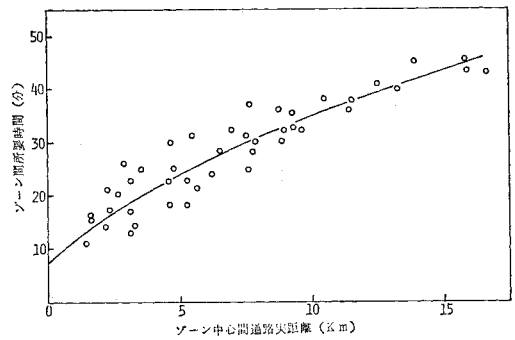


図-7 自動車の交通速度

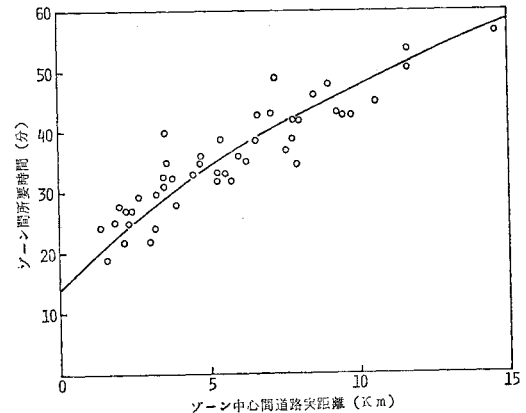


図-8 バスの交通速度

る。これらの図から自動車、バスを代表交通手段とする各通勤距離分布の中央値 \hat{D} に対応する交通速度を求めると自動車の交通速度は 360 m/分、バスの交通速度は 240 m/分を得る。また、徒歩の交通速度は一般に 70 m/分といわれているが、市街地においては自動車交通、交通信号等の影響を受けて実際にはこれにより低い値であると考えられるため 65 m/分とする。自転車の交通速度は 200 m/分とする^{14), 15)}。

(3) 待時間および端末徒歩の距離と所要時間

バスの待時間はバスの運行間隔の影響を受けて変化することも予想されたため、金沢都市圏における通勤時の平均待時間と運行間隔の関係を調べたところ 図-9 のような結果を得た。この調査により、バスの平均待時間はバスの運行間隔に関係なくおよそ 5 分であることが判明した。

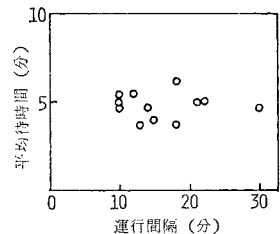


図-9 バスの平均待時間

バスの両端末の合計所要時間 ($t_f + t_f$) と待時間 t_w の合計を 図-8 から推計すると 14.5 分となる。したが

表一 代表交通手段別特性値（昭和 49 年度）

代表交通手段名	通勤距離の中央値 \hat{D} (m)	両端末の合計徒歩距離 ${}_1D_f+{}_2D_f$ (m)	代表交通手段による距離の中央値 \hat{D}_k (m)	単位距離当りの貨幣支払額 p_k (円/m・人)	単位時間当りの身体エネルギー消費量 e_k (kcal/分・人)	交通速度 $d\hat{D}/dt$ (m/分)	待時間 t_w (分)
バス	4 395	665	3 730	14.47×10^{-3}	1.77	240	5.0
自動車	4 285	385	3 900	31.36×10^{-3}	1.77	360	2.0
自転車	3 200	0	3 200	0	5.42	200	0
徒歩	1 150	0	1 150	0	4.17	65	0

って、待時間を5分とすれば、 ${}_1t_f+{}_2t_f=9.5$ 分となり、さらに両端末徒歩における交通速度を70m/分とすれば、両端末の合計徒歩距離は665mとなる。

自転車を利用する場合の両端末合計所要時間を図一7から推計すると7.5分となる。自動車通勤には待時間そのものはないが、待時間に相当する自動車の調整時間を必要とする。そのための所要時間を両端末合計で2分と仮定する。この場合、両端末合計徒歩時間は5.5分となり、両端末合計徒歩距離は385mとなる。

自転車の端末徒歩はないものとする。

(4) 貨幣支払額および身体エネルギー消費量

昭和49年度の金沢都市圏における通勤交通の1km当りのバス運賃は14.47円/km・人である。昭和39年における自家用乗用車の平均的な走行経費（燃料費、オイル費、タイヤ・チューブ費、車両修繕費、車両償却費の合計額）は19.56円/kmと報告されている¹⁰⁾。この値に昭和39年から昭和49年までの消費者物価指数の上昇率2.13¹²⁾を乗じて昭和49年度の走行経費を推計すると41.72円/kmとなる。自動車1台当りの平均乗車人員を1.33人¹³⁾とすれば、1人当りの自動車の走行経費は31.36円/km・人となる。自転車と徒歩による通勤交通は貨幣支払いを伴わないものとする。また、各交通手段を利用する際に利用者が費やす単位時間当りの身体エネルギー消費量はバス：1.77、自動車：1.77、自転車：5.42、徒歩：4.17、待時間：1.53である¹³⁾。

以上この節で求めた各交通手段の特性値を表一に掲げる。

(5) 通勤交通に伴う代表交通手段別全部非効用

5. において、代表交通手段別トリップ長の中央値 \hat{D} と住宅効用係数の中央値 $\hat{\alpha}$ の間に式(12)の関係が成立した。ここでは、まずこの式を用いて $a/b, c/b, \hat{\alpha}/b$ を算出する。表一に掲げる各交通手段の特性値 $\hat{D}, p, e, d\hat{D}/dt$ を式(12)に代入すると代表交通手段の数だけ方程式が成立する。それらの方程式から最小自乗法により $a/b, c/b, \hat{\alpha}/b$ を求めると表二のようになる。これらの値を式(12)に

表二 $a/b, c/b, \hat{\alpha}/b$ の値

a/b	8.67 (円/分)
c/b	1.54 (円/kcal)
$\hat{\alpha}/b$	270 (円)

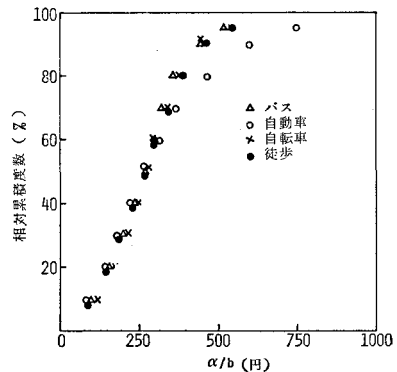
代入して \hat{D} を推定し、その \hat{D} の推計値と実績値との相関係数を求めると $R=0.991$ となる。

5. において住宅効用係数の相対累積度数と代表交通手段別通勤距離の相対累積度数との間に図一5の関係が成立することを導いた。図一6は図一5の第1象限に対応するものであり、式(10)は図一5の第4象限を表わすため、図一6と式(10)を用いて図一5の第2象限に対応する住宅効用係数の相対累積度数を求めることができる。このとき式(10)の常数 b の大きさを決定することは不可能であるため、住宅効用係数として α の代りに α/b を採用する。

先に算出した $a/b, c/b$ を式(10)に代入すると、

$$\bar{D} = \frac{\alpha/b \cdot d\bar{D}/dt_k}{8.67 + p_k \cdot d\bar{D}_k/dt_k + 1.54 e_k} \dots\dots\dots (13)$$

となる。式(13)に表一に掲げた p, e および図一7, 8から求められる $d\bar{D}/dt_k (=d\bar{D}_k/dt_k)$ を代入すると図一5の第4象限に対応する代表交通手段別の $\alpha/b \sim \bar{D}$ 曲線が得られる。それらの曲線と図一6を用いて α/b の相対累積度数 $F(\alpha/b)$ を求めると図一10のように各代表交通手段の α/b の相対累積度数曲線はかなりよく一致している。自動車の相対累積度数 $F(\alpha/b)$ は α/b が大きくなると他の交通手段の $F(\alpha/b)$ に比べ小さく現われている。その原因は自動車の単位走行距離当りの貨幣支払額 p を交通速度および交通距離の大きさに関係なく一定にしたところにあると考えられる。そこで自動車の $F(\alpha/b)$ は他の交通手段の $F(\alpha/b)$ に一致するものとして自動車の p を逆算したところ、交通速度が図一7の



図一10 代表交通手段別通勤トリップ数の相対累積度数 (変量: α/b)

範囲 (270~560 m/分) にあるとき p (円/m) と交通速度 $d\bar{D}/dt_c$ (m/分) の関係は次式のごとくなり、 p は交通速度に逆比例して低下していることが判明した。

$$p = 12.21/d\bar{D}/dt_c - 0.00470$$

次節以降においては昭和 46 年度のデータを用いて代表交通手段徒歩、自動車、バスの分担率を分析するため、ここでは先に求めた $a/b, c/b$ を適用して昭和 46 年度の各代表交通手段の全部非効用を求める。このとき昭和 49 年度と昭和 46 年度のゾーン間時間距離は同一であるとし、また、 $b=1.00$ とおく。昭和 46 年度のバス、自動車の単位走行距離当りの貨幣支払額は、それぞれ 9.00 円/km・人および 21.5 円/km・人である。これらの値および表一1の値を式 (8) に代入して代表交通手段徒歩、自動車、バスの全部非効用 U^*_f, U^*_c, U^*_b を求めると、

$$\left. \begin{aligned} U^*_f &= 0.232 D \\ U^*_c &= 8.67 t + 9.91 t_c + 26.0 \\ U^*_b &= 0.90 \times 10^{-2} D_b + 8.67 t + 2.72 t_b + 69.3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

を得る。ここに t_c, t_b, D_b は図一4の t_h, D_h を表わす。また、 U^*_c の誘導において貨幣支払額 p は交通速度に逆比例するとした。

7. 交通手段の優先順位と通勤 OD 交通量の区分

通勤交通にかぎらず、2 地点間を移動するとき人々は利用可能な交通手段のうちからもっとも有利な交通手段、すなわち全部非効用のもっとも小さい交通手段を選ぶであろう。いま、式(14)を用いて各代表交通手段の全部非効用を算出し、道路実距離との関係を求めると図一11のごとくなる。2 地点間を移動するとき、徒歩あるいは自動車による全部非効用はそれらの交通手段が多くの場合ルートを自由に選ぶことができるため道路実距離

により決まると考えられる。しかし、バスの場合にはバス・ルートが設定されているため、必ずしも全部非効用は道路実距離により決まらない。図一11 はバス網が都心を中心にしてほぼ放射状にのびている金沢都市圏の都心ゾーンへ集中する通勤交通を対象にしたものであるため、バスの全部非効用と道路実距離の関係が1つの曲線で表わされている。したがって、この図は同一ルートを徒歩、自動車、バスで移動する場合の各交通手段の全部非効用を表わしているとみることができる。徒歩、バス、自動車が同一ルート上で競合する場合、およそ 600 m 未満においては徒歩が最優位にあるが、600 m を越えると自動車が最優位になる。徒歩とバスの競合においてはおよそ 1050 m を境にして、その距離以上のときバスが有利になる。バスと自動車が競合する場合には、少なくともこの図に示す距離の範囲内においては自動車が有利である。

各交通手段のうち、自動車は誰れでもが利用できるものではなく、その利用は自動車保有者および便乗の可能性のあるものに限定される。また、自動車を利用できるか否かにより二地点間を移動する際の交通手段選択の仕方が大きく異なると考えられる。このため交通手段別分担率を検討する場合には OD 交通量を自動車利用可能者群と不可能者群に区分して分析しなければならない。そこである常住ゾーンからある従業ゾーンへの通勤 OD 交通量を自動車保有非保有別、代表交通手段別に区分して次のように表わす。

- X_f : ゾーン間自動車保有徒歩トリップ数 (人)
- X_c : " 自動車トリップ数 (人)
- X_b : " バストリップ数 (人)
- Y_f : ゾーン間自動車非保有徒歩トリップ数 (人)
- Y_c : " 自動車トリップ数(人)
- Y_b : " バストリップ数 (人)

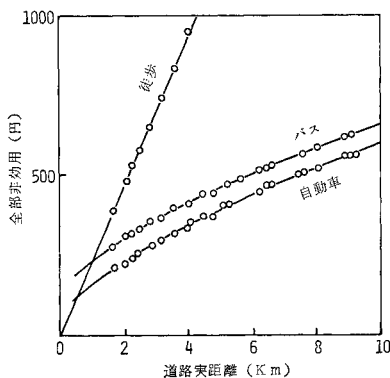
この区分を用いると自動車利用可能者群の通勤 OD 交通量は $(X_f + X_c + X_b + Y_c)$ となり、自動車利用不可能者群の通勤 OD 交通量は $(Y_f + Y_b)$ となる。また、その常住ゾーンから従業ゾーンへの全通勤 OD 交通量に対する自動車利用可能者の通勤 OD 交通量の比をゾーン間自動車利用通勤可能者率とよぶことにして c で表わすと c は、

$$c = \frac{X_f + X_c + X_b + Y_c}{X_f + X_c + X_b + Y_f + Y_c + Y_b} \dots\dots\dots (15)$$

と表わされる。

8. 代表交通手段別分担率のとらえ方

図一11 は徒歩、自動車、バスが同一ルート上で競合するとみなしうる場合の全部非効用を示したものであ



図一11 全部非効用と道路実距離

る。したがって、これらの曲線はある地点から他の地点へ通勤した場合の全部非効用を表わしていることになる。この場合、発地点と着地点が与えられるともっとも有利な交通手段が一義的に決まるため分担率に関する議論は成立しない。

1. で述べたごとく交通手段別分担率の概念は面的な広がりをもった2つのゾーンの間における交通量に対して成立する。2つのゾーン間においては無数の地点の対応が存在するため同一の距離を同一の代表交通手段で移動する場合にも全部非効用の大きい地点間、小さい地点間がある。このため各代表交通手段の全部非効用と実距離の関係は図-11 にみられるような一本の曲線ではなく、ある幅をもった曲線になると考えられる。いま模式的に交通手段ⅠとⅡが競合する場合を想定してゾーン間における全部非効用と実距離の関係を描くと図-12 の

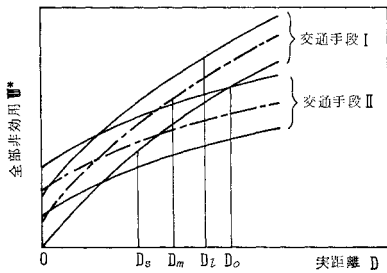


図-12 ゾーン間全部非効用 U^* と実距離 D

ごとくになる。このとき鎖線で表わした曲線はゾーン中心間の全部非効用を表わしているとすれば、各鎖線は図-11 の曲線に相当する。また、図-13 に示すようにゾーン間の最短実距離を D_s 、最長実距離を D_l 、ゾーン中心間実距離を D_m で表わす。

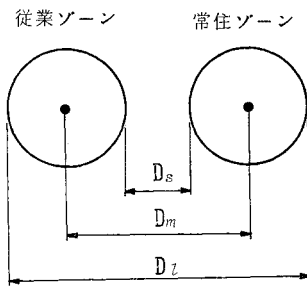


図-13 実距離の説明図

さらに各ゾーンは有限個の街区に分割されており、各街区はほとんど点とみなしうる程度に小さいとし、各街区を点で代表させることにする。

2つのゾーンが隣接している場合、ゾーン間の地点の対応数のうち交通手段Ⅰによる全部非効用が交通手段Ⅱによる全部非効用よりも小さい地点の対応数の占める割合が大きいか、ゾーン中心間の実距離 D_m が大きくなると次第に交通手段Ⅱによる全部非効用が交通手段Ⅰによる全部非効用よりも小さい地点の対応数の占める割合が大きくなり、ゾーン間最短実距離 D_s が D_0 を越えるとすべての地点の対応において交通手段Ⅱによる全

部非効用が小さくなる。これを2つの交通手段の分担率でみると、ゾーン中心間距離 D_m が近いゾーン間においては交通手段Ⅰの分担率が高けれども、 D_m が長くなるにつれて交通手段Ⅱの分担率が上昇し、ゾーン間最短実距離 D_s が D_0 を越えると、すべての人々が交通手段Ⅱを利用するようになるといえる。

図-12 では実距離 D と全部非効用 U^* の関係を幅をもった単調な曲線で表わしたけれども、実際には U^* は交通網の影響を受けて変動するため、 D と U^* の関係は図-12 のようにすっきりしたものではない。また、交通手段別分担率は実距離によって決まるのではなく競合する各交通手段の U^* の大きさによって決まる。したがって、ゾーン中心間の実距離が長くなると交通手段Ⅱの分担率が上昇するという表現は、ゾーン中心間の交通手段ⅠとⅡの全部非効用 ($U^*_{Ⅰ}$ と $U^*_{Ⅱ}$) の差 ($U^*_{Ⅰ} - U^*_{Ⅱ}$) が大きくなると交通手段Ⅱの分担率が上昇するという換えなければならない。

この考え方に沿って、以下において代表交通手段徒歩、自動車、バスの分担率を検討する。

9. 自動車利用不可能者の代表交通手段別分担率

(1) 徒歩率

自動車利用不可能者が選択しうる交通手段は徒歩かバスである。前節で述べたごとく、ゾーン中心間における徒歩の全部非効用 U^*_f とバスの全部非効用 U^*_b の差 ($U^*_f - U^*_b$) が大きくなるとゾーン間において U^*_f が U^*_b よりも小さい地点の対応数が少なくなり徒歩率が低下すると考えられる。そこで自動車利用不可能者の徒

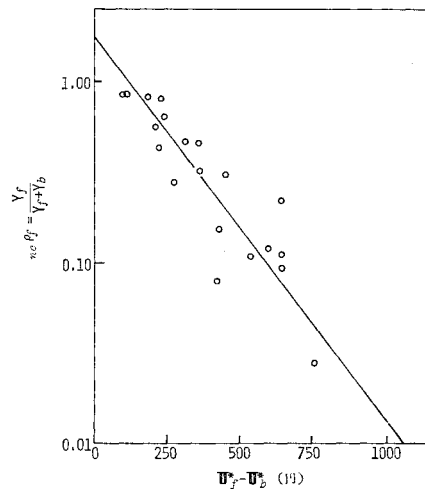


図-14 $nc pf_j$ と $(U^*_f - U^*_b)$

歩率 $nc\rho_f$ を,

$$nc\rho_f = Y_f / (Y_f + Y_b) \dots\dots\dots (16)$$

と定義して、金沢都心ゾーンを着ゾーンとする通勤 OD 交通量を対象にして $nc\rho_f$ と $(U^*_f - U^*_b)$ の関係を探ると 図-14 のようになり、 $(U^*_f - U^*_b)$ が大きくなるにつれ $nc\rho_f$ は負の指数関数に沿って低下している。この現象は、ゾーン間の地点の対応数のうち $U^*_f < U^*_b$ の地点の対応数の占める割合はゾーン中心間の $(U^*_f - U^*_b)$ が大きくなるにつれて負の指数関数に沿って低下することを示している。図-14 を数式で表わすと次式のようになる。

$$nc\rho_f = 1.80 \exp\{-0.482 \times 10^{-2} (U^*_f - U^*_b)\} \dots\dots\dots (17)$$

$nc\rho_f$ の実績値と式 (17) による推計値の相関係数を求めたところ $R=0.936$ となった。

(2) 代表交通手段バスの分担率

自動車利用不可能者の代表交通手段バスの分担率 $nc\rho_b$ は式 (16) から、

$$nc\rho_b = Y_b / (Y_f + Y_b) = 1 - nc\rho_f \dots\dots\dots (18)$$

と表わされる。 $nc\rho_f$ が式 (17) で与えられるため、 $nc\rho_b$ は、

$$nc\rho_b = 1 - 1.80 \exp\{-0.482 \times 10^{-2} (U^*_f - U^*_b)\} \dots\dots\dots (19)$$

となる。

10. 自動車利用可能者の代表交通手段別分担率

(1) 徒歩率

自動車利用可能者が選択しうる交通手段は徒歩、自動車、バスであり、その選択は着ゾーンにおける駐車場の難易度の影響を受ける。着ゾーンのどの地点においても駐車が可能であるとしたとき、自動車利用可能者が徒歩で通勤する現象が発生するのは $(U^*_f - U^*_b) \leq 0$ 、 $(U^*_f - U^*_c) \leq 0$ の2つの条件を満たす地点の対応が常住ゾーンと従業ゾーンの間にある場合である。ゾーン中心間の $(U^*_f - U^*_b)$ および $(U^*_f - U^*_c)$ が大きくなると、この2つの条件を満たす地点の対応数は減少し、それにつれて徒歩率も低下することになる。このため自動車利用可能者の徒歩率 $c\rho_f$ は $c\rho_f$ 、 $(U^*_f - U^*_b)$ 、 $(U^*_f - U^*_c)$ の3つの要素で構成される3次元空間において1つの曲面を描いていると考えられる。この現象を調査結果を用いて検討する。

金沢都心ゾーンを着ゾーンとしたときの常住ゾーンと着ゾーンのゾーン中心間の $(U^*_f - U^*_b)$ と $(U^*_f - U^*_c)$ の関係を求めると 図-15 のようになり、ほぼ直線的に

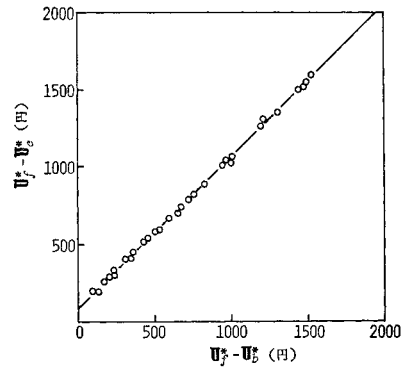


図-15 $(U^*_f - U^*_c)$ と $(U^*_f - U^*_b)$

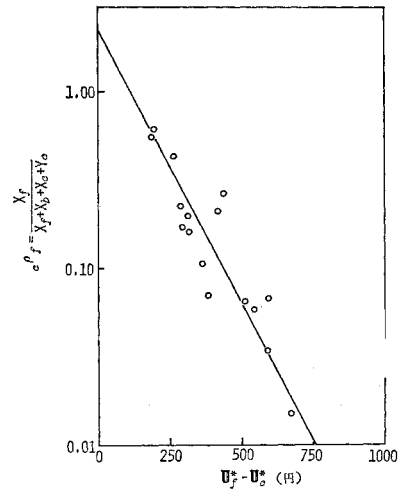


図-16 $c\rho_f$ と $(U^*_f - U^*_c)$

延びている。これは着ゾーンを都心ゾーンとしたため出てきた結果であるから、他の着ゾーンに対しては 図-15 のようなすっきりした関係は成立しないであろう。

次に自動車利用可能者の徒歩率 $c\rho_f$ を、

$$c\rho_f = X_f / (X_f + X_c + X_b + Y_c) \dots\dots\dots (20)$$

と定義して、 $c\rho_f$ とゾーン中心間の $(U^*_f - U^*_c)$ の関係を求めると 図-16 のようになり、 $c\rho_f$ は $(U^*_f - U^*_c)$ が大きくなると負の指数関数に沿って低下している。この図においては $U^*_f > U^*_c$ であるにもかかわらず $c\rho_f$ が正の値を示している。これは 図-16 の横軸 $U^*_f - U^*_c$ はゾーン中心間の値であり、この値が正となるゾーン・ペアにおいても、 $U^*_f - U^*_c \leq 0$ となる地点の対応が存在することを意味している。図-16 の現象を数式で表わすと次式のようになる。

$$c\rho_f = 2.25 \exp\{-0.713 \times 10^{-2} (U^*_f - U^*_c)\} \dots\dots\dots (21)$$

$c\rho_f$ の実績値と式 (21) による推計値の相関係数を求めると $R=0.938$ となる。式 (21) で表わされる曲線は上記3次元空間に描かれる曲線を $c\rho_f \sim (U^*_f - U^*_c)$ 平面

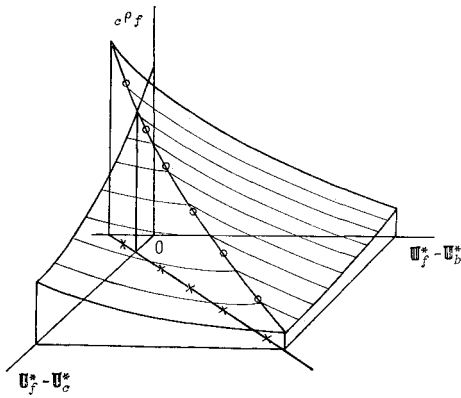


図-17 $c\rho_f$ 曲面 (概念図)

上に投影したものである。その3次元空間に $c\rho_f$ を描くと図-17の○印を付した曲線となる。この図の $(U^*_f - U^*_c) \sim (U^*_f - U^*_b)$ 平面上の×印を付した直線は図-15を表わす。金沢都心ゾーンを着ゾーンとする通勤交通の調査結果から観測できる $c\rho_f$ は○印を付した曲線のみである。

いま、 $(U^*_f - U^*_c)$ が一定で $(U^*_f - U^*_b)$ が減少する場合を考える。この場合は徒歩および自動車の交通条件が一定で、バスの便が悪くなる状態であるから $c\rho_f$ は通増すると考えられる。 $U^*_f - U^*_b = 0$ の状態はバスが徒歩とまったく等しい全部非効用を伴う場合であり、バスが存在しない場合の状態に等しい。そこで徒歩と自動車のみが競合する場合の自動車利用可能者の徒歩率 $c\rho_{f'}$ を、

$$c\rho_{f'} = X_f / (X_f + X_c + Y_c) \dots\dots\dots (22)$$

と定義して、 $c\rho_{f'}$ と $(U^*_f - U^*_c)$ の関係を求めると図-18のごとくになり、この現象を数式で表わすと次式のようなになる。

$$c\rho_{f'} = 1.85 \exp\{-0.541 \times 10^{-2} (U^*_f - U^*_c)\} \dots\dots\dots (23)$$

この式は図-17の $U^*_f - U^*_b = 0$ の平面上の曲線を表わすと考えられる。 $c\rho_{f'}$ の実績値と式(23)による推計値の相関係数を求めると $R=0.933$ となる。

同様に、徒歩と自動車がまったく等しい全部非効用を伴う場合、すなわち $U^*_f - U^*_c = 0$ の場合の徒歩率 $c\rho_{f''}$ を、

$$c\rho_{f''} = X_f / (X_f + X_b) \dots\dots\dots (24)$$

と定義して、 $c\rho_{f''}$ と $(U^*_f - U^*_b)$ の関係を求めると図-19のようなになる。この現象を数式で表わすと、

$$c\rho_{f''} = 1.75 \exp\{-0.470 \times 10^{-2} (U^*_f - U^*_b)\} \dots\dots\dots (25)$$

となる。 $c\rho_{f''}$ の実績値と式(25)による推計値の相関係数を求めると $R=0.924$ となる。式(25)は式(17)とよく一致しており $c\rho_{f''} = n c\rho_f$ とみなしうる。式(25)

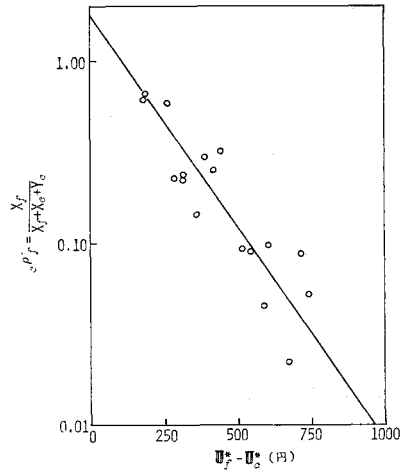


図-18 $c\rho_{f'}$ と $(U^*_f - U^*_c)$

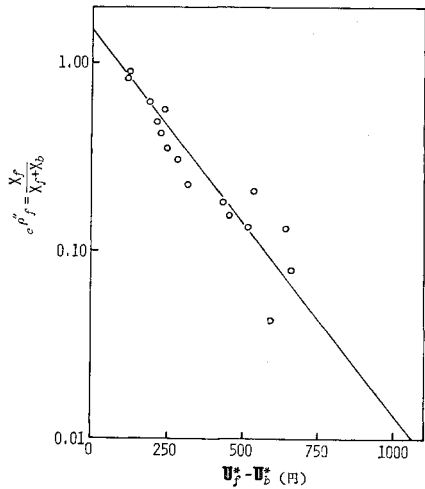


図-19 $c\rho_{f''}$ と $(U^*_f - U^*_b)$

は図-17の $U^*_f - U^*_c = 0$ の平面上の曲線を表わすと考えられる。

以上の分析結果を用いて図-17の $c\rho_f$ の曲面を方程式で表わすと次式のようなになる。

$$c\rho_f = c\pi_f \exp\{-\xi_{fb}(U^*_f - U^*_b) - \xi_{fc}(U^*_f - U^*_c)\} \dots\dots\dots (26)$$

ここに $c\pi_f, \xi_{fb}, \xi_{fc}$ は常数であるとする。

図-15は都心ゾーンへの通勤交通を対象にしたものである。すでに述べたごとく、金沢においてはバス・ルートが都心を中心にしてほぼ放射状にのびているため、都心ゾーン以外のゾーン間におけるバスによる全部非効用は、そのゾーン間の道路実距離と等しい距離をもつ都心ゾーンと他のゾーンの間におけるバスによる全部非効用と比べた場合、後者の方が小さい。したがって、多くの場合 $(U^*_f - U^*_c)$ と $(U^*_f - U^*_b)$ の関係は図-15から、

$$U^*_f - U^*_c \geq 0.975(U^*_f - U^*_b) + 90.0 \dots (27)$$

の範囲に現われると考えられる。この範囲を出現可能領域と名づけ、この領域における $c\rho_f$ 曲面を求める。

式 (27) の恒等式を式 (26) に代入して $(U^*_f - U^*_b)$ を消去した式は式 (21) に合致しなければならない。この条件は、

$$\left. \begin{aligned} 2.25 &= c\rho_f \exp 91.9 \xi_{fb} \\ 0.713 \times 10^{-2} &= \xi_{fc} + 1.02 \xi_{fb} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (28)$$

が満たされる時成立する。式 (23) から $\xi_{fc} = 0.541 \times 10^{-2}$ であるから、 $\xi_{fb} = 0.168 \times 10^{-2}$ となる。この ξ_{fb} を式 (28) に代入して $c\rho_f$ を求めると $c\rho_f = 1.92$ を得る。これらの値を式 (26) に代入して出現可能領域における $c\rho_f$ 曲面を求めると、

$$c\rho_f = 1.92 \exp\{-0.168 \times 10^{-2}(U^*_f - U^*_b) - 0.541 \times 10^{-2}(U^*_f - U^*_c)\} \dots \dots \dots (29)$$

を得る。 $c\rho_f$ の実績値と式 (29) による推計値の相関係数を求めると $R = 0.938$ となる。

図-15 の直線より下の領域、すなわち、

$$U^*_f - U^*_c < 0.975(U^*_f - U^*_b) + 90.0 \dots (30)$$

の範囲は調査時点においては非出現可能領域であるけれども、もし自動車のルートおよび徒歩速度に強い規制が加えられるならば U^*_c が大きくなるため、 $(U^*_f - U^*_c)$ がこの領域に入る可能性がある。このため、この領域における $c\rho_f$ を求める。この領域における ξ_{fb} は式 (25) から $\xi_{fb} = 0.470 \times 10^{-2}$ である。したがって、 ξ_{fc} と $c\rho_f$ は式 (28) から $\xi_{fc} = 0.223 \times 10^{-2}$ 、 $c\rho_f = 1.46$ となる。これらの値を式 (26) に代入すると $c\rho_f$ は、

$$c\rho_f = 1.46 \exp\{-0.470 \times 10^{-2}(U^*_f - U^*_b) - 0.223 \times 10^{-2}(U^*_f - U^*_c)\} \dots \dots \dots (31)$$

と表わされる。

(2) 代表交通手段バスの分担率

着ゾーンのどの地点においても駐車が可能であるとしたとき、自動車利用可能者がバスで通勤する現象が発生するのは常住ゾーンと従業ゾーンの間に於いて $U^*_b - U^*_c \leq 0$ 、 $U^*_f - U^*_b \geq 0$ の2つの条件を満たす地点の対応が存在する場合である。徒歩率の場合と同様に自動車利用可能者の代表交通手段バスの分担率 $c\rho_b$ は $c\rho_b$ とゾーン中心間の $(U^*_b - U^*_c)$ および $(U^*_f - U^*_b)$ の3つの要素で構成される3次元空間において1つの曲面を描いており、 $c\rho_b$ は $(U^*_b - U^*_c)$ が大きくなると低下し、 $(U^*_f - U^*_b)$ が大きくなると上昇すると考えられる。

金沢都心ゾーンを着ゾーンとしたときの常住ゾーンと着ゾーンのゾーン中心間の $(U^*_b - U^*_c)$ と $(U^*_f - U^*_b)$ の関係を求めると図-20 のようになり、 $(U^*_f - U^*_b)$ が大きくなると $(U^*_b - U^*_c)$ は一定の値に近づいていく。

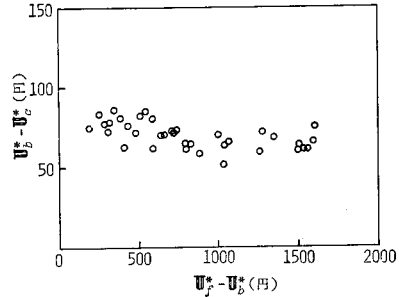


図-20 $(U^*_b - U^*_c)$ と $(U^*_f - U^*_b)$

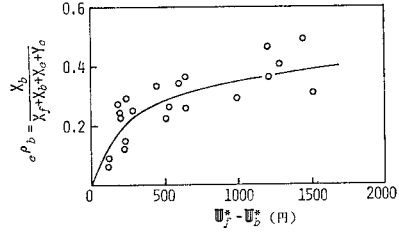


図-21 $c\rho_b$ と $(U^*_f - U^*_b)$

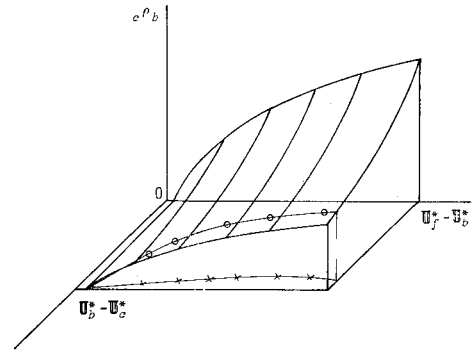


図-22 $c\rho_b$ 曲面 (概念図)

いま、自動車利用可能者の代表交通手段バスの分担率 $c\rho_b$ を、

$$c\rho_b = X_b / (X_f + X_c + X_b + Y_c) \dots \dots \dots (32)$$

と定義して、 $c\rho_b$ と $(U^*_f - U^*_b)$ の関係を求めると図-21 のようになる。図-21 の曲線は上記3次元空間に描かれる曲線を $c\rho_b \sim (U^*_f - U^*_b)$ 平面上に投影したものである。その3次元空間を図-22 のように想定して $c\rho_b$ を描くと○印を付した曲線となる。また、×印を付した曲線は図-20 の曲線を表わす。この図における $U^*_b - U^*_c = 0$ という状態は自動車がバスとまったく等しい全部非効用を伴う場合であり、自動車が存在しない場合の状態に等しい。前項の検討において、徒歩とバスが競合する場合の自動車利用不可能者の徒歩率 $nc\rho_f$ と自動車利用可能者の徒歩率 $c\rho_f''$ は等しいことが判明した。このため $c\rho_b \sim (U^*_f - U^*_b)$ 平面上の曲線は式 (19) で表わされる自動車利用不可能者のバス分担率 $nc\rho_b$ に一致

するものとする。図-22 に示すごとく、 $(U^*_f - U^*_b)$ が一定の場合、 $c\rho_b$ は $(U^*_b - U^*_c)$ が大きくなるにつれて低下すると考えられるため、 $c\rho_b$ は $(U^*_b - U^*_c)$ が大きくなると負の指数関数に沿って低下すると仮定する。このとき $c\rho_b$ は、

$$c\rho_b = nc\rho_b \exp\{-\xi_{bc}(U^*_b - U^*_c)\} \dots\dots\dots (33)$$

とおくことができる。ここに ξ_{bc} は以下に述べる要因により変動する係数であるとする。

式 (33) で与えられる $c\rho_b$ は $nc\rho_b$ および $(U^*_b - U^*_c)$ が一定の場合、 $(U^*_f - U^*_c)$ が減少すると $c\rho_f$ が上昇するため $c\rho_b$ は低下すると推測される。ここでは、この $(U^*_f - U^*_c)$ の影響を ξ_{bc} に受けもたせることにして ξ_{bc} と $(U^*_f - U^*_c)$ の関係を求めると図-23 のようになり、 ξ_{bc} は $(U^*_f - U^*_c)$ が大きくなると上昇し、 $(U^*_f - U^*_c)$ が 500 を越えたとほぼ一定になる。この ξ_{bc} は 1 つの曲線であると推測されるが、ここではそれを単純化して次のように表わすことにする。

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq U^*_f - U^*_c \leq 100; & \xi_{bc} = 0 \\ 100 \leq U^*_f - U^*_c \leq 500; & \\ & \xi_{bc} = 3.75 \times 10^{-5} (U^*_f - U^*_c) \\ 500 \leq U^*_f - U^*_c; & \xi_{bc} = 0.150 \times 10^{-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (34)$$

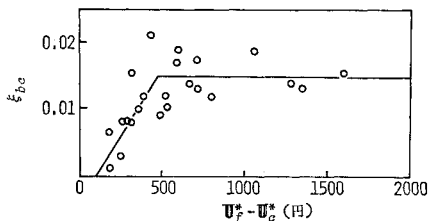


図-23 ξ_{bc} と $(U^*_f - U^*_c)$

(3) 代表交通手段自動車の分担率

自動車利用可能者の代表交通手段自動車の分担率 $c\rho_c$ を、

$$c\rho_c = (X_c + Y_c) / (X_f + X_c + X_b + Y_c) \dots\dots\dots (35)$$

と定義するならば、

$$c\rho_c = 1 - c\rho_f - c\rho_b \dots\dots\dots (36)$$

と表わされる。

11. 全通勤 OD 交通量の代表交通手段別分担率

(1) 自動車利用可能者率

7. で定義した全通勤 OD 交通量における自動車利用可能者率 ζ は常住ゾーン i の自動車保有率 δ にもっとも大きく依存すると推測される。このため、通勤通学実態調査の結果を用いて ζ と δ の関係を求めると図-24 の

ようになる。ここに常住ゾーン i の自動車保有率 δ_i は式 (37) によって推計した。

$$\delta_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{f \cdot ij} + X_{c \cdot ij} + X_{b \cdot ij})}{\sum_{j=1}^n (X_{f \cdot ij} + X_{c \cdot ij} + X_{b \cdot ij} + Y_{f \cdot ij} + Y_{c \cdot ij} + Y_{b \cdot ij})} \dots\dots\dots (37)$$

この式において j は従業ゾーンを表わし、 n は対象圏域内のゾーン数を表わす。図-24 にみられるごとく、 ζ は δ が大きくなると単調に上昇している。この ζ は通勤距離、パス網の影響も受けて変動するであろうと推測されるが、図-24 からはそれらの影響を明確につかむことができない。このため、ここでは ζ は δ のみによって決まるものとする。図-24 から ζ と δ の関係を求めると次式のようなになる。

$$\zeta = 1.143 \delta \dots\dots\dots (38)$$

ζ の実績値と式 (38) による推計値の相関係数を求めると $R=0.908$ となる。

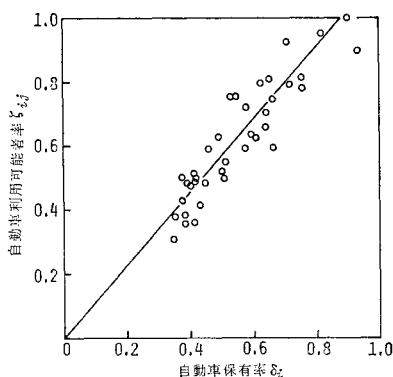


図-24 i ゾーンから j ゾーンへ通勤する就業者の自動車利用可能者率 ζ_{ij} と i ゾーンの自動車保有率 δ_i

(2) 徒歩率

全通勤 OD 交通量における徒歩率 ρ_f を次のように定義する。

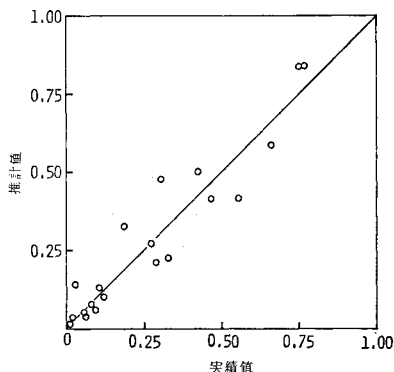


図-25 徒歩率 ρ_f の推計値と実績値

$$\rho_f = (X_f + Y_f) / (X_f + X_c + X_b + Y_f + Y_c + Y_b) \dots\dots\dots (39)$$

この ρ_f と自動車利用不可能者の徒歩率 $nc\rho_f$ 、自動車利用可能者の徒歩率 $c\rho_f$ および自動車利用可能者率 ζ との間には次の関係式が成立する。

$$\rho_f = nc\rho_f - \zeta(nc\rho_f - c\rho_f) \dots\dots\dots (40)$$

式 (17), (29), (38) を用いて $nc\rho_f$, $c\rho_f$, ζ を算出し、それらを式 (40) に代入して ρ_f を求め、式 (39) によって算出される実績値と比較すると 図-25 のごとくなる。このときの推計値と実績値の相関係数は $R=0.942$ である。

(3) 代表交通手段バスの分担率

全通勤 OD 交通量における代表交通手段バスの分担率 ρ_b を次式のように定義する。

$$\rho_b = (X_b + Y_b) / (X_f + X_c + X_b + Y_f + Y_c + Y_b) \dots\dots\dots (41)$$

この ρ_b と自動車利用不可能者のバス分担率 $nc\rho_b$ 、自動車利用可能者のバス分担率 $c\rho_b$ および自動車利用可能者率 ζ との間に次の関係式が成立する。

$$\rho_b = nc\rho_b - \zeta(nc\rho_b - c\rho_b) \dots\dots\dots (42)$$

式 (19), (33), (38) を用いて $nc\rho_b$, $c\rho_b$, ζ を算出し、各値を式 (42) に代入して ρ_b を推計し、その推計値と式 (41) から求める実績値を比較すると 図-26 のようになる。このときの推計値と実績値の相関係数は $R=0.857$ である。

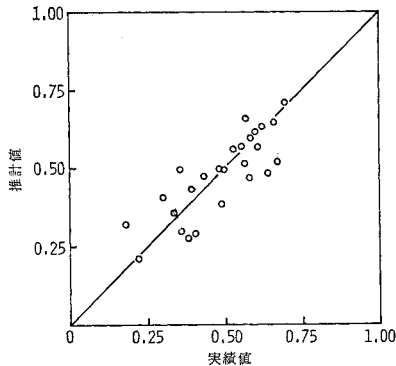


図-26 代表交通手段バス分担率 ρ_b の推計値と実績値

(4) 代表交通手段自動車の分担率

全通勤 OD 交通量における自動車分担率 ρ_c を次式のように定義する。

$$\rho_c = (X_c + Y_c) / (X_f + X_c + X_b + Y_f + Y_c + Y_b) \dots\dots\dots (43)$$

この ρ_c と式 (40), (42) で与えられる ρ_f , ρ_b との間に次の関係式が成立する。

$$\rho_c = 1 - \rho_f - \rho_b \dots\dots\dots (44)$$

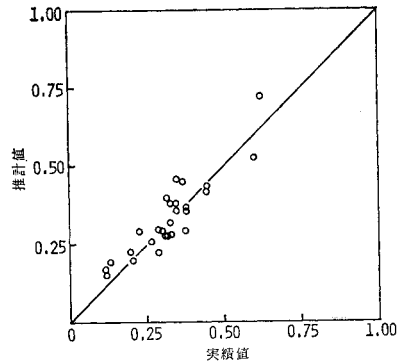


図-27 代表交通手段自動車分担率 ρ_c の推計値と実績値

式 (44) に上で推計した ρ_f , ρ_b を代入して ρ_c を推計し、その推計値と式 (43) から求まる実績値を比較すると 図-27 のようになる。このときの推計値と実績値の相関係数は $R=0.867$ である。

12. 考 察

以上、通勤交通を対象にして徒歩、自動車、バスが競合する場合の各交通手段の分担率を分析し、推計式を示した。この節では、それらの推計式が 1. に述べた3つの交通条件の変化に対応できるかどうかについて考察する。

交通条件の変化のうち、(I) 交通網および各交通手段の速度の変化、および、(II) 貨幣支払額の変化は式 (8) で表わされる全部非効用 U^* の大きさを変える。(I), (II) の変化が生じ各交通手段によるゾーン中心間の全部非効用が変動すると代表交通手段別分担率の推計式に従い、各分担率が変化する。式 (8) では、貨幣支払額は距離 D_k に比例するとした。もし駐車料金、乗り入れ料金等の距離の大きさに比例しない料金 P_0 を支払う場合には $p_k D_k$ に P_0 を加算しなければならない。

交通条件の変化 (III), すなわち自動車の乗り入れ規制の強化および駐車条件の悪化が生じた場合の各代表交通手段の分担率の変動については適切なデータがないため実証的な検討はできない。この場合の各分担率の変動を前節までの分析結果を用いて考察すると次のようになる。

金沢都市圏では、通勤通学実態調査が実施された昭和46年度には自動車交通は混雑していたけれども、乗り入れ規制、駐車規制は強化されておらず、各人はほぼ自由に自動車を利用することができた。このため、10. に示した自動車利用可能者の代表交通手段別分担率は政策あるいは駐車難しさ等の外的条件で自動車利用が抑制されていないときの分担率を表わすとみることができる。また、9. に示した自動車利用不可能者の代表交通手段別

分担率は自動車が多々利用できなくなったときの分担率を表わすとみることができる。したがって、自動車利用が抑制されたときの自動車利用可能者の徒歩率 $c\rho_f$ および代表交通手段バスの分担率 $c\bar{\rho}_b$ はそれぞれ次式の範囲にあることになる。

$$\left. \begin{aligned} c\rho_f &\leq c\bar{\rho}_f \leq nc\rho_f \\ c\rho_b &\leq c\bar{\rho}_b \leq nc\rho_b \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (45)$$

いま、自動車の利用が抑制されたときの自動車によるトリップ数を $(\bar{X}_c + \bar{Y}_c)$ とおき、このトリップ数と抑制されないときのトリップ数 $(X_c + Y_c)$ との比を自動車抑制率とよぶことにして λ で表わすと λ は、

$$\lambda = (\bar{X}_c + \bar{Y}_c) / (X_c + Y_c) \dots\dots\dots (46)$$

と表わされ、 $\lambda=1$ のとき自動車は自由に利用でき、 $\lambda=0$ のとき自動車利用は完全に不可能になるとする。自動車の抑制率が λ であるときの自動車利用可能者の徒歩率 $c\rho_f$ は式 (20) の定義から、

$$c\rho_f = X_f / (X_f + X_b + \bar{X}_c + \bar{Y}_c) \dots\dots\dots (47)$$

となる。この式に式 (46) を代入して $(\bar{X}_c + \bar{Y}_c)$ を消去し、 $c\rho_f$ 、 $c\rho_b$ を用いて $c\bar{\rho}_f$ を表わすと、

$$c\bar{\rho}_f = c\rho_f / (\lambda + (1-\lambda)(c\rho_f + c\rho_b)) \dots\dots\dots (48)$$

を得る。同様にして、自動車利用が抑制されているときの代表交通手段バスの分担率 $c\bar{\rho}_b$ を求めると、

$$c\bar{\rho}_b = c\rho_b / (\lambda + (1-\lambda)(c\rho_f + c\rho_b)) \dots\dots\dots (49)$$

となる。このときの代表交通手段自動車の各分担率 $c\bar{\rho}_c$ は、

$$c\bar{\rho}_c = 1 - c\bar{\rho}_f - c\bar{\rho}_b \dots\dots\dots (50)$$

となる。式 (48)、(49) が式 (45) の条件を満たしているか否かを調べる。式 (48)、(49) は $\lambda=1$ のとき、

$$c\bar{\rho}_f = c\rho_f, \quad c\bar{\rho}_b = c\rho_b$$

となる。また、 $\lambda=0$ のとき、

$$c\bar{\rho}_f = c\rho_f / (c\rho_f + c\rho_b) = c\rho_f''$$

$$c\bar{\rho}_b = c\rho_b / (c\rho_f + c\rho_b) = 1 - c\rho_f''$$

となる。10. において $c\rho_f'' = nc\rho_f$ であることが実証されている。したがって、 $\lambda=0$ のとき、

$$c\bar{\rho}_f = c\rho_{nf}, \quad c\bar{\rho}_b = nc\rho_b$$

となる。以上の証明により式 (48)、(49) は式 (45) の条件を満たしていることが明らかになった。

1. において、ゾーンの大きさおよび形が異なると交通手段別分担率がどのように変化するか、ということを検討事項として掲げた。この課題を 図-13 を用いて考察する。ゾーン面積が大きくなると大部分の場合、ゾーン間最短距離 D_s と最長距離 D_l の間隔が広がる。このため、ゾーン間の地点の対応数のうち交通手段 I による全部非効用が交通手段 II による全部非効用よりも小さい地点の対応数の占める割合が変化する。その変化の方向はゾーン中心間の距離が近いとき低下し、ゾーン中心間の遠いとき上昇することになる。この事象から、ゾーン面積が

大きい場合にも、ゾーン中心間の $(U^*_I - U^*_II)$ が大きくなると交通手段 I の分担率は低下する。しかし、その低下の勾配はゾーン面積が大きい場合と小さい場合では異なり、ゾーン面積が大きい場合の勾配が緩やかであると推測される。金沢都市圏のデータでもってこの推測を実証することはゾーン数が少ないため難しい。

13. 結 語

この研究の主要な課題は交通網の変化、各交通手段の速度および貨幣支払額の変化、自動車乗入れ規制の強化、駐車条件の悪化等の交通条件の変化に対応できる通勤交通の交通手段別分担率モデルを開発することであった。この課題は金沢都市圏における通勤交通を対象にしてバス、自動車、徒歩が競合する場合の交通手段別分担率を分析することによりほぼ達成された。

この研究では交通手段の選択要因として時間距離、貨幣支払額、身体エネルギー消費量の3つの要因を取り上げ、それらを総合した指標を全部非効用とよぶことにして式 (8) のように表わした。また、通勤交通のもたらす全部効用を式 (5) のように定めた。この全部効用と全部非効用の差を純全部効用とよび、純全部効用極大という条件のもとで全部非効用を構成する各要因のウエイトを求めた。このとき貨幣支払額のウエイトは1とした。このようにして代表交通手段別全部非効用を算出した。この全部非効用の大きさにより代表交通手段別分担率が決定しているとして、通勤交通を自動車利用可能者群と不可能者群に大別して代表交通手段別分担率を分析し、各分担率の推計式を式 (17)、(19)、(29)、(33)、(36) のごとく求めた。

次に、自動車利用可能者と不可能者を合計した通勤 OD 交通量を全通勤 OD 交通量とよび、その OD 交通量における代表交通手段別分担率の推計式を式 (40)、(42)、(43) のごとく求めた。これらの推計式から求める代表交通手段別分担率の推計値と実績値を比較したところ、 図-25~27 に示すごとくかなりよい一致をみた。したがって、各推計式は妥当な式であると判断される。前節で述べたごとくゾーンの大きさは代表交通手段別分担率に影響を与えると考えられる。この研究において採用した各ゾーンの大きさおよび形は一様ではない。ゾーンの大きさおよび形が一様になるようにゾーン区分を行ったならば各分担率の推計値と実績値はさらによく一致すると考えられる。

自動車の乗入れ規制の強化、駐車条件の悪化等により自動車利用が抑制されたときの代表交通手段別分担率の推計式は式 (48)~(50) のごとく表わされる。

謝 辞：この研究を遂行するにあたり石川県土木部

都市計画課の協力を受けた。また、集計計算、図面の作成において清水啓紀、丸山博史、梶 容郎の各氏の協力を得た。記して深甚なる謝意を表わしたい。

参 考 文 献

- 1) Sosslau, Arthur B., Heanue, Kevin E. and Balek, Arthur J. : Evaluation of a New Modal Split Procedure, Highway Research Record, No. 88, 1965.
- 2) 河上省吾 : 通勤通学者の輸送機関および経路の選定率に関する研究, 土木学会論文報告集, No. 179, 1970.
- 3) 森田緯之 : 都市における交通機関選好特性に関する研究, 土木学会論文報告集, No. 216, 1973.
- 4) Inglis, Paul : A Multimodal Logit Model of Modal Split for a Short Access Trip, Highway Research Record, No. 446, 1973.
- 5) Watson, Peter L. : Predictions of Intercity Modal Choice from Disaggregate, Behavioral, Stochastic Models, Highway Research Record, No. 446, 1973.
- 6) Hall, Charles A. and Surti, Vasant H. : Modal Choice and Attitude Patterns for a Medium-Sized Metropolitan Area, Highway Research Record, No. 446, 1973.
- 7) Wingner, Martha F. : Disaggregated Modal-Choice Models of Downtown Trips in the Chicago Region, Highway Research Record, No. 446, 1973.
- 8) Levison, Lawrence M. and Gersten, Marvin C. : Transportation Attitude Survey for Modal-Split Forecasting as Part of Long-Range Transit Planning, Transportation Research Board, No. 508, 1974.
- 9) Brown, Gerald R. : Correlation of Socioeconomic Factors with Corridor Travel Demand, Transportation Research Board, No. 499, 1974.
- 10) Bennett, John C. Ellis, Raymond H., Prokopy, John C. and Cheslow, Melvyn D. : A Comparative Evaluation of Intercity Modal Split Models, Transportation Research Record, No. 526, 1974.
- 11) 石川県 : 通勤通学実態調査報告書, 1971.
- 12) 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.
- 13) 松浦義満 : パーソン・トリップにおける効用と非効用に関する基礎的考察, 都市計画, 別冊, 昭和51年度学術研究発表会論文集, No. 11, 1976.
- 14) 藤田大二・池田勝美 : 実験による自転車道設計基準の検討, 第11回日本道路会議一般論文集, 1973.
- 15) 加藤 晃・高橋政稔・久保岩男 : 坂路における自転車走行者の注視点テスト, 第30回土木学会学術講演会講演概要集, 第4部, 1975.
- 16) 交通工学研究会 : 交通工学ハンドブック, 技報堂, p. 44, 1973.
- 17) 総理府統計局 : 国際統計要覧, 1976.

(1976.11.11・受付)