

実質消費時間を用いる通勤駅勢圏の推定

ESTIMATION OF STATION CATCHMENT AREA FOR COMMUTERS BY USE OF VIRTUAL TIME-CONSUMPTION

角 知憲*・村尾光弘**・宮木康幸***・松本嘉司****

By Tomonori SUMI, Mitsuhiro MURAO, Yasuyuki MIYAKI and Yoshiji MATSUMOTO

Generalized Departure Time is a response function of travellers who are appointed the place and time for arrival, and GDT gives their departure time as a function of the operational properties of transit systems. Virtual Time Consumption, the time interval from departure time to appointed arrival time, is obtained as a probabilistic quantity by the application of this concept to commuters behavior. This paper describes that station catchment area, i. e. distribution of commuters who use the station, is obtained by the propababilistic comparison of VTCs calculated for respective routes via available stations.

1. ま え が き

駅勢圏とは、ある鉄道駅を日常的に利用する人が分布する地域を意味する。鉄道の需要予測は、駅勢圏内人口に鉄道利用率をかけて、その駅の乗車人員を求めるという方法で行われるので、鉄道計画では、駅勢圏は基礎的な概念の1つである。

駅勢圏境界は、おおむね徒歩15分の距離とし、あるいは隣接する他の駅との等距離線とするのが最も素朴な方法である¹⁾。しかし、駅の利用者の空間的分布は、このように単純ではない。人口中に占めるある駅の利用者の割合は、駅からの距離に従って連続的に変化し、地域的に画然と区分されることはない。また、乗客が所要時間もしくは、所要時間と他の要因を含めた自己の負担を小さくしようとする行動の結果、その分布に偏りが生じる^{2),3)}。さらに、バスそのほかのアクセス手段の整備水準によって影響を受けることも、もちろんである。

こういう事実に対して、奥平は統計力学的な説明を試みている³⁾。奥平の研究は、駅勢圏の研究として先駆的なものであり、統計力学的説明も洗練されている。しかし、Wilson⁴⁾などが、交通量の空間的分布に対して試みた説明と同じく、この説明は、得られた調査結果に思弁的な解釈をあてはめたものというべきであって、駅勢圏とその支配要因の操作的関係を明らかにしたものではない。

ここで、操作的であるとは、直接操作可能な支配要因の操作と、その結果観測される事象を因果的に結びつけて把握することを意味する。操作的に定められた関係は、支配要因の操作によって、その事象をコントロールできることを保証するので、工学的な取り扱いの基礎となる。

いま、駅勢圏を考える場合、操作的な関係の中で把握されるべきものは、乗客の経路選択行動である。なぜなら、乗客は目的地に到達するための経路の一部として利用する駅を選択する。駅勢圏は特定の駅を選択した乗客の分布を地域的にまとめたものを指すことばにほかならないからである。

ところで、都市鉄道では、駅の規模や収支が通勤旅客の数によって左右されることが多く、通勤駅勢圏が興味の対象となる。

通勤では、人が目的地とそこへの到着時刻を指定され

* 正会員 工博 九州大学助教授 工学部土木工学科
(〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1)

** 正会員 工修 日本道路公団 (〒102 千代田区麴町 5-7-2)

*** 正会員 工修 長岡技術科学大学助手 建設系
(〒949-54 長岡市上富岡町 1603-1)

**** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科
(〒113 文京区本郷 7-3-1)

て交通を行う。この種の交通において、人がその出発時刻を決定する行動を取り扱う方法は、すでに明らかにした^{5),6)}。この方法は、所要時間の確率分布という要因の操作と、それに対応して変化する出発時刻との操作的関係に立脚している。この方法によれば、通勤者の出発地・目的地の位置、およびその交通手段の運行特性に応じて、通勤者の出発時刻を確率量として求めることができる。

この計算は、通勤者が選択可能なすべての経路ごとに実行することができるので、通勤者は出発時刻から到着指定時刻までの時間すなわち実質消費時間が最も小さいと判断した経路を選択すると考えれば、経路選択率を理論的に導くことができる。これによって、実質消費時間以外の要因の影響が無視できない場合に、それら要因を統制された条件下において¹¹⁾、計算された選択率と観測された選択率の相違を、その要因と対照することにより、その要因に対する人の応答を操作的な関係の中で把握する途が開ける。

以上のような観点から、実質消費時間を用いて通勤旅客の経路選択行動を演繹的に導き、調査結果と照合してその妥当性を検討し、これによって、実質消費時間以外の支配要因が経路選択行動に与える影響を把握するための基礎とすることを、本論文の目的とするものである。

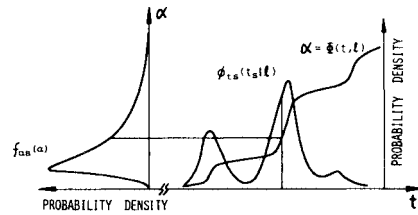
なお、本論文では、実質消費時間以外の統制されない要因として、選択肢ごとの運賃の差が考えられるケースを取り扱っている。

2. 一般化出発時刻

一般化出発時刻とは、目的地と到着時刻を指定された人が、所要時間の確率変動に応じて出発時刻を決定する行動において、所要時間の確率分布を入力とし、出発時刻を出力とする人というシステムの応答関数として定義される⁵⁾。一般化出発時刻は、出発時刻を到着指定時刻に対する遅刻確率で表現したもので、ある人間集団に固有な分布形を有する確率変数である。

いま、ある人にとって、目的地に至る所要時間が確率変動し、その人がそれを制御できないものとする。その人は、指定された到着時刻に対する遅刻確率を十分小さな値にとどめる一方、できるだけ実質消費時間を小さくするよう出発時刻を決定する。ここに、実質消費時間とは、出発時刻と到着指定時刻の間の時間である。

図一の右側に示すように、横軸に時間軸 t を、縦軸に遅刻確率 α をとり、 $t=0$ を到着指定時刻とする。交通手段の運行特性を与えれば、任意の出発時刻について、その時刻に対応する遅刻確率を与えることができる。



図一 一般化出発時刻と実出発時刻

$$\begin{aligned} \alpha &= \int_0^{\infty} \phi_{t\alpha}(x|l, t) dx \\ &= \int_0^{\infty} \phi_{t\alpha}(x-t|l) dx \\ &= \int_{-t}^{\infty} \phi_{t\alpha}(x|l) dx \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

ここに、 t_a :目的地到着時刻、 t_n :所要時間、 t :出発時刻、 l :トリップ距離で、出発地・目的地の位置を代表する。また $\phi_{t\alpha}(x|l, t)$ は、 l と t を条件とする t_a の確率密度関数 (以下、確率密度関数を PDF と書く) であり、 $\phi_{t\alpha}(t|l)$ は l を条件とする t_n の PDF である。

式 (1) は t から α への変数変換を意味すると考えれば、 α 軸は遅刻確率を尺度とする時間軸である。この意味での α 軸を一般化時間軸とよび、 α 軸上で選ばれた出発時刻 α_s が、集団に固有な確率量であるとする。 α_s を一般化出発時刻とよび、 α_s の PDF を $f_{\alpha_s}(\alpha)$ と書き、図一左側の 90° 傾いた図で表わす。これを式 (1) の逆変換によって t 軸上に投影したものが、実際の出発時刻 t_s の PDF である。

$$\phi_{t_s}(t|l) = f_{\alpha_s}(\alpha) \frac{d\alpha}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

交通手段の中に定時運行型のシステムが含まれる場合式 (1) の関係はもう少し複雑になる。この場合、乗車駅である便に乗り遅れると次の便まで待たされることになるので、 α は図一に示すような階段状の関数で与えられる。

この関数の計算方法の詳細はすでに公表したが⁶⁾、その大略を述べると次のとおりである。

いま、定時運行型システムの定時性は十分であるとす。ある人が出発時刻を t に選んだ場合、そのシステムの乗車駅に到着する時刻 t_{a1} の PDF、 $\phi_{t_{a1}}(x|t, l_a)$ は、
$$\phi_{t_{a1}}(x|t, l_a) = \phi_{t_{na}}(x-t|l_a) \dots\dots\dots (3)$$

である。ここに、 l_a は出発地から乗車駅までの距離、 t_{na} は l_a を移動するための所要時間であり、 $\phi_{t_{na}}(x|l_a)$ は l_a を条件とする t_{na} の PDF である。その人は、乗車駅に到着後最初の出発便に乗るものとすれば、第 k 便に乗車する確率 $P_k(l_a, t)$ は、

$$P_k(l_a, t) = \int_{t_{k-1}^a}^{t_k^a} \phi_{t_{a1}}(x|t, l_a) dx \dots\dots\dots (4)$$

注1) 複数の支配要因のうち、注目する要因以外の要因を一定に保ち、あるいはランダム化して系統的影響を排除することを、環境条件の統制とよぶ。

である。ここに、 t_{k-1}^* 、 t_k^* はそれぞれ第 $k-1$ 便、第 k 便の発車時刻である。

第 k 便が下車駅に到着する時刻を t_k^* とすると、第 k 便に乗車したことを条件とする目的地到着時刻 t_{kad} の PDF $\phi_{kad}(x|k)$ は、

$$\phi_{kad}(x|k) = \phi_{t_{ne}}(x - t_k^* | l_e) \dots\dots\dots (5)$$

である。ここに、 l_e は下車駅から目的地までの距離を、 $\phi_{t_{ne}}(x|l_e)$ は、 l_e を移動するための所要時間 t_{ne} の PDF である²⁾。そうすると、第 k 便に乗車することを条件とする遅刻確率 α_k は、次のように表わされる。

$$\alpha_k(l_e) = \int_0^\infty \phi_{kad}(x|k) dx \dots\dots\dots (6)$$

結局、時刻 t に出発地を出発した場合の遅刻確率は、式 (4)、式 (6) を用いて次のように求めることができる。

$$\alpha = \sum P_k(l_{\alpha}, t) \cdot \alpha_k(l_e) \dots\dots\dots (7)$$

t_{na} 、 t_{ne} が複数の所要時間成分に分けられるなら、おのおのの成分を確率論的に加算して求めることはいうまでもない。また、定時運行型システムであっても定時性が十分でない場合には、そのシステムの発車時刻の PDF を用いて、式 (4) の代わりに乗車駅到着時刻が第 $k-1$ 便の発車時刻より遅く、第 k 便の発車時刻より早い確率を計算すればよい。さらに、式 (5) の代わりに第 k 便の下車駅到着時刻の PDF と $\phi_{t_{ne}}(x|l_e)$ とのたみ込み積分を用いればよい。

実際に、千葉県船橋市から東京方面へ向かう通勤者および広島県佐伯郡大野町から広島市へ向かう通勤者について、 $f_{\alpha_s}(\alpha)$ を推定してみると、両者の間に大きな差がないといえることが判明している⁶⁾。船橋市の通勤者の $f_{\alpha_s}(\alpha)$ は、次のように表わすことができる⁵⁾。

$$f_{\alpha_s}(\alpha) = A f_{\alpha_s}^1(\alpha) + B f_{\alpha_s}^2(\alpha) \dots\dots\dots (8)$$

$$f_{\alpha_s}^1(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma \cdot \alpha} e^{-\frac{(t_{na} - \mu_1)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots (9)$$

$$f_{\alpha_s}^2(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_2 \alpha} e^{-\frac{(t_{na} - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 $A = B = 0.5$ 、 $\mu_1 = -4.0174$ 、 $\sigma_1 = 1.01018$ 、 $\mu_2 = -8.0652$ 、 $\sigma_2 = 1.9680$ である。

注2) 以下の取り扱いでは、 t_{na} と t_{ne} は独立に定まることを仮定している。本論文で取り扱う状況においては、下車駅から目的地最寄りの停留所までの路面交通システムおよび、それに乗車するための待ち時間が t_{ne} の大きな割合を占めるケースが多いので、式 (7) を簡明に表わすため、この仮定を用いた。しかし、 t_{na} と t_{ne} がいずれも徒歩で行われる場合などで、両者の速度が同じであると考える方が適切である場合には、その速度を条件付きとして目的地到着時刻を計算したうえ、その速度の PDF をかけて到着時刻の PDF とするなどの配慮が必要である。

3. 選択行動の理論

(1) 理論的取り扱いのための仮定

一般化出発時刻という概念に基づいて、通勤者の出発時刻したがって実質消費時間が確率変量として与えられる。

これを用いて経路選択行動を取り扱うに際して、次のような仮定を置く。

- ① 出発時刻の決定行動はエルゴード的な確率過程である。
- ② 出発時刻の決定は、利用可能な交通経路ごとに独立に行われる。
- ③ 通勤者は、その利用可能な複数の交通経路のすべてについて、十分な情報を有している。
- ④ 通勤者は、利用可能な交通経路ごとに要求される実質消費時間を比較し、そのうち最小であると判断した経路を採用する。

このうち①は、従来、一般化出発時刻および個人交通手段の速度を取り扱う場合に、集団内においてみられる個人差と、個人の試行ごとの場合差とを区別しないという点で⁴⁾、暗黙のうちに用いられてきた。両者が一致しない場合のあることは予想できる。しかし、選択される一般化出発時刻と通勤者の出発地・目的地の位置とが独立であれば、つまり、 α と t の変換関係が α_s とは独立であって、任意の出発地から任意の目的地へ向かう通勤者の α_s を系統的に区別することができなければ、個人差と場合差が一致しないとしても、両者を区別する必要がない。

個人交通手段の速度についても、これが α_s と独立であれば事情は同じである。

また、仮定③は、どの交通経路を用いようとも通勤者の出発時刻が1つの一般化出発時刻の分布で表現できる程度に安定していることを意味しているのであって、式 (1)、もしくは式 (7) が示す α と t の関係を明示的に認識しているという意味ではない。すべての選択肢について、これが明示的に知られていれば、確率的な判断が行われる余地がない。

仮定②、④は特に触れる必要がない。

(2) 比較判断の理論

人間の比較判断を取り扱う理論は弁別理論とよばれ、精神物理学の分野で発展している^{7),8)}。弁別とは、人間に対して物理的な入力（これを刺激とよぶ。物理的尺度の確定値として計測することができる）を2つ、もしくはそれ以上与えて、その間の差異を検出させるものであ

注3) 確率変数の時間的変動とアンサンブルな変動とが一致することをエルゴード性とよぶが、出発時刻の決定行動については、場合差と個人差の一致ということになる。

る。

弁別理論では、確定値で計測し得る刺激の比較判断にばらつきが起ることに對して、刺激が人間の心理領域内（ここに、心理学的連続体とよぶ構成概念が用いられる）で確率量に変換され、比較されるものと説明している。

いわゆる個人選択モデルにおいて用いられる“効用”という概念も、1組の物理的・非物理的入力と人の選択結果とを結びつける構成概念の1つであり、そのモデルは“効用”の弁別モデルにほかならない。

本論文で取り扱う実質消費時間は、すでに一度心理過程を経て、その変動を反映している確率変量であるから、弁別理論のような心理学的連続体への変換を考える必要はない。

いま、二者択一の場合を考える。

図-2に示すごとく、ある通勤者が利用可能な2つの交通経路について、実質消費時間 τ_1, τ_2 がそれぞれPDF $m_{\tau_1}(\tau|l), m_{\tau_2}(\tau|l)$ で与えられるものとする。同図横軸は実質消費時間 τ 、縦軸は確率密度である。 $m_{\tau_1}(\tau|l), m_{\tau_2}(\tau|l)$ はそれぞれ l を条件とする経路1、および2を使用する場合の実質消費時間のPDFであり、 l は目的地と出発地のペアを表わしているものとする。

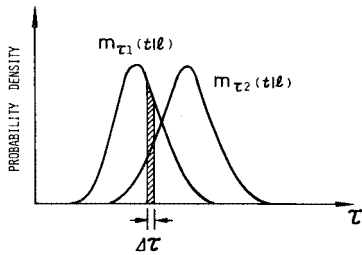


図-2 確率量の比較判断

人が $\tau_1 = \tau$ と判断する確率 $\Delta q_1(\tau)$ を次のように表わす。

$$\Delta q_1(\tau) = m_{\tau_1}(\tau|l) \Delta \tau \dots \dots \dots (11)$$

ここに、 $\Delta \tau$ は τ 軸上の微小区間の長さである。

このとき、同時に経路2について $\tau_2 > \tau$ と判断したならば経路1を選択するので、経路1が選択される確率 $\Delta P_1(\tau)$ は次のように与えられる。

$$\Delta P_1(\tau) = m_{\tau_1}(\tau|l) \Delta \tau \int_{\tau}^{\infty} m_{\tau_2}(s|l) ds \dots \dots \dots (12)$$

したがって、経路1の選択率 $P_1(l)$ は式(12)を τ の全領域にわたって積分して、次のように得られる。

$$P_1(l) = \int_0^{\infty} \Delta P_1(\tau) d\tau \\ = \int_0^{\infty} m_{\tau_1}(\tau|l) \int_{\tau}^{\infty} m_{\tau_2}(s|l) ds d\tau \dots \dots \dots (13)$$

選択可能な経路が N 個あり、そのうち第 k 番目の経路が選択される確率 $P_k(l)$ を考えてみると、式(13)と同様に、

$$P_k(l) = \int_0^{\infty} m_{\tau_k}(\tau|l) \left[\prod_{m \neq k} \int_{\tau}^{\infty} m_{\tau_m}(s|l) ds \right] d\tau \dots \dots (14)$$

が得られる。ここに、 τ_m ：第 m 番目経路の実質消費時間、 $m_{\tau_m}(\tau|l)$ ： l を条件とする τ_m のPDF、であり、 $\prod_{m \neq k}$ は $m = k$ の場合は乗算を行わないことを意味する。

式(14)は、 l すなわち出発地と目的地のペアが与えられれば、人が実質消費時間に基づいてある経路を選択する確率が計算できることを表わしている。この経路として、特定の駅を経由するものを集めれば、駅勢圏を確率的に求められることになる。

なお、実質消費時間 τ と出発時刻 t_s の間には $\tau = -t_s$ の関係があるので⁴⁾、式(2)で与えられる t_s をこれによって τ に変換すればよいが、比較判断を t_s の大きいもの（遅く出発するもの）を選ぶとして取り扱ってもかまわない。

4. 経路選択率の推定

(1) 広島市西郊から都心部への通勤交通

図-3に示したのは、広島市とその西郊の国鉄山陽本線の駅の位置の大略である。

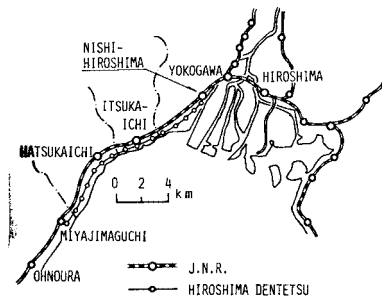


図-3 広島市の概略

同図中の大野浦駅で乗車し、広島市内へ通勤する旅客の一般化出発時刻を推定したところ、船橋市から東京都への通勤者と大差ない結果を得たことは、すでに述べたとおりである。そこで、以下では、この一般化出発時刻を用いて、同じ山陽本線の廿日市駅で乗車し、広島市の中心部へ向かう通勤客の経路選択行動を前述の選択理論で取り扱ってみる。広島市西郊からの通勤旅客は、西広島、横川、広島各駅で下車し、路面電車、バスに乗り継いで目的地へ向かう。したがって、実質消費時間に変動をもたらす最大の要因は、乗り継ぎ所要時間と路面電

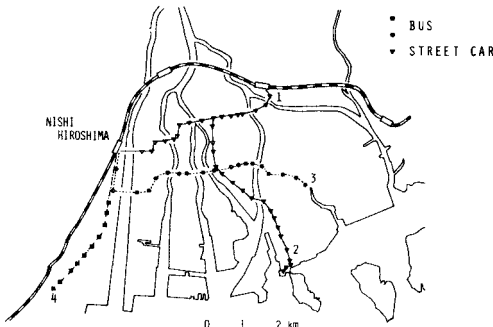
注4) 到着指定時刻以後に出発することは考えていないので t_s は負の値をもつことを注意しておく。

表一 山陽本線乗り時刻表 (昭和57年7月現在)

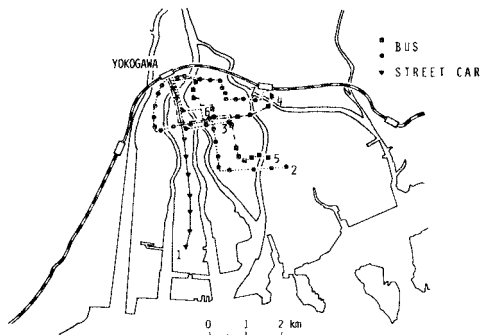
大宮	7:00	7:16	7:41	8:07	8:28	8:51
野島	7:05	7:21	7:46	8:13	8:33	8:57
浦口	7:11	7:28	7:53	8:20	8:39	9:04
甘日	7:15	7:31	7:57	8:23	8:43	9:08
五日市	7:21	7:38	8:04	8:30	8:49	9:15
西広	7:25	7:41	8:08	8:33	8:53	9:19
横川	7:28	7:46	8:12	8:37	8:57	9:23
広島(着)						

表二 路面電車・バス運行時隔

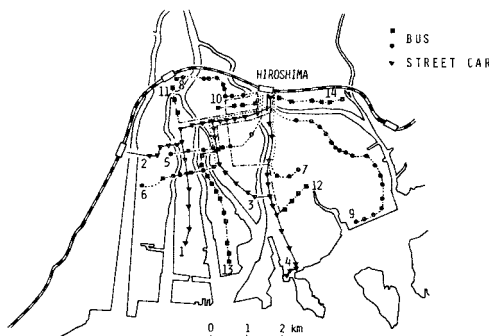
経路 No.	西広島	横川	広島
1	5.0分	10.0分	9.4分
2	6.7	6.5	4.4
3	7.0	2.3	7.1
4	5.0	7.0	5.2
5		5.7	13.0
6		2.3	3.0
7		15.0	10.0
8			15.0
9			5.0
10			6.0
11			6.5
12			8.5
13			4.5
14			5.5



図一 西広島駅経由の市電・バス路線



図二 横川駅経由の市電・バス路線

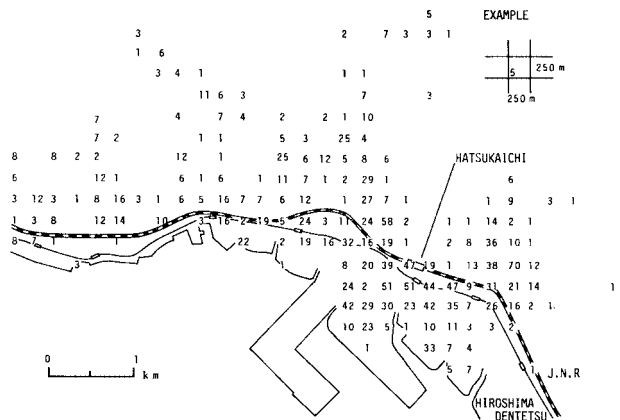


図三 広島駅経由の市電・バス路線

れども、経路選択行動を経由駅ごとにまとめるという観点からは、本質的に相違がないことは明らかである。

表一には、山陽本線乗り時刻表の一部を示す。また、図一4,5,6には西広島、横川、広島各駅から広島市中心部へサービスする路面電車、バスの運行路線を、表二には、その通勤時間帯内運行頻度を示す。広島市における通勤者の到着指定時刻(始業時刻)は、通勤者のほぼ2/3に対して午前8時30分、残りは同9時である⁶⁾。

図一7には、国鉄定期券発行原票昭和57年5月~7月分を全数調査して得た廿日市駅を乗車駅とする通勤者の出発地の分布を示す。図一7中の数字は、おのこの凡例に示す矩形領域内に出発地を有する通勤者数を定期券の延べ月数で表わしたものである。



図四 通勤者の出発地分布(廿日市)

図一8,9,10は同様に表した目的地の分布で選択した下車駅ごとに分けて表わしている。

(2) 実質消費時間の計算⁶⁾

廿日市駅における旅客の到着観測によれば、一部に私鉄から乗り継ぐとみられる旅客が存在するものの、バス

車、バスという路面交通機関の乗車時間である。そのため、通勤客の経路選択は、主として下車駅の選択問題となる。従来、駅勢圏という用語は、どちらかといえば乗車駅の選択を念頭において用いられることが多かったけ

を利用して到着する者はほとんどなく、大部分は徒歩と自転車をしていた。そこで、アクセスモードとしては、徒歩と自転車を想定する。

式(3)中の l_a は、図-7に示した出発地から廿日市駅までの最短道路距離を地図上で読み取って与えれば

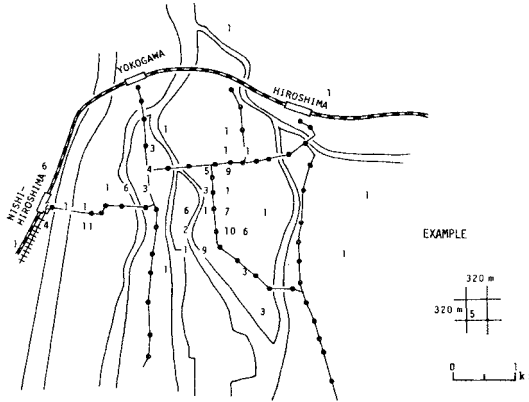


図-8 西広島駅下車通勤者の目的地

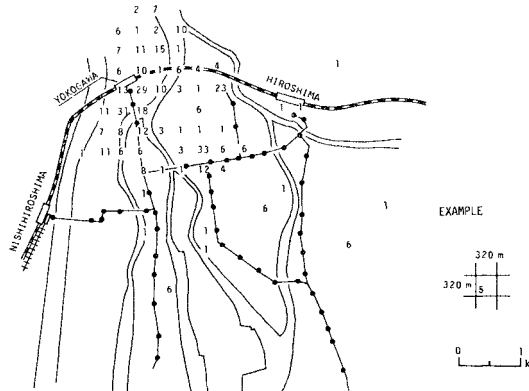


図-9 横川駅下車通勤者の目的地

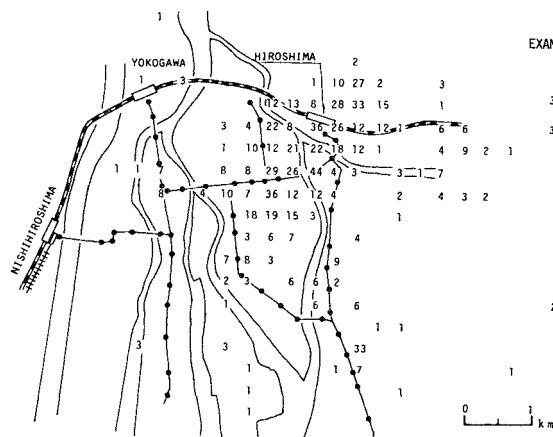


図-10 広島駅下車通勤者の目的地

よい。

この場合、 l_a の距離を移動する手段としては、徒歩もしくは自転車を想定しているので、 $\phi_{t_{na}}(t|l_a)$ は、その速度変動を考えて、次のように与える。

$$\phi_{t_{na}}(t|l_a) = l_a/t^2 \cdot q_{va}(l_a/t) \dots \dots \dots (15)$$

$$q_{va}(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_a v} e^{-\ln v - \mu_a/2\sigma_a} \dots \dots \dots (16)$$

ここに、 $q_{va}(v)$ は徒歩または自転車の速度のPDFであり、式(16)の対数正規分布のパラメーター μ_a 、 σ_a は速度を(m/s)で表わす場合、

$$\mu_a = 0.328 \text{ (徒歩)}, 1.406 \text{ (自転車)}$$

$$\sigma_a = 0.162 \text{ (徒歩)}, 0.192 \text{ (自転車)}$$

である⁶⁾。

なお、徒歩と自転車の2つの交通手段の利用割合は、図-11に示す利用率曲線を用いて推定する。本図は、東京において調査された徒歩、自転車、バスの利用率データに基づいて⁹⁾、バスと自転車の利用割合を合算して作成した⁶⁾。横軸はアクセス距離、縦軸は自転車利用率である。以下の計算は徒歩、自転車利用者の2つの集団ごとに別個に実行する。

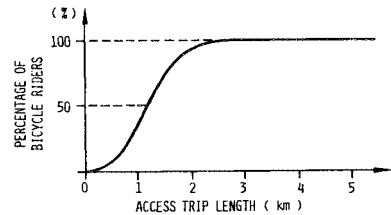


図-11 自転車利用率

式(5)中の l_e は下車駅から目的地までの距離であるが、この間の所要時間は次の4つの成分からなる。すなわち、①国鉄駅から路面電車・バス停留所までの乗り継ぎ歩行時間 t_{nc} 、②そこでの待ち時間 t_w 、③市電・バスの乗車時間 t_{nv} 、④下車後歩行時間 t_{nr} である。

これらを確率論的に加算して、 $\phi_{t_{ne}}(t|l_e)$ を求めるためにまず、通勤者が路面電車、バスのどの路線に乗り、どの停留所で下車するかを決定する必要がある。そこで、通勤者は、目的地に最寄りの路面電車またはバスの停留所を下車停留所として選び、その停留所を含む路線の路面電車もしくはバスに乗り継ぐものとみなした⁽⁴⁵⁾。

t_{nc} は、国鉄駅下車プラットフォームから乗り

注5) 複数の路線が利用可能な地域で、その路線ごとのサービスレベルが著しく異なるケースは存在しないので、簡単のため、このような取り扱いを行った。

継ぎ停留所までの歩行距離 l_c を与えれば、式 (15) と同様に歩行速度を用いて PDF を求めることができる。 l_c は、いまの場合一律 150 m として十分である⁶⁾。

t_w と t_{nc} と同様に下車停留所から目的地までの道路距離を用いて PDF を求めることができる。

t_w については、路面電車・バスの運行が道路交通に乱されて定時性が期待できず、その運行間隔も小さいことから、ランダム発車を想定して、

$$\phi_{t_w}(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (17)$$

とする。ここに、 $\phi_{t_w}(t)$ は t_w の PDF、 λ は平均待ち時間で、運行間隔の 1/2 と取る。

t_{nv} は、市電・バスの速度と乗り継ぎ停留所から下車停留所までの路線距離 l_2 を用いて、その PDF、 $\phi_{t_{nv}}(t|l_2)$ を次のように求めることができる。

$$\phi_{t_{nv}}(t|l_2) = l_2 / t^2 \cdot q_{v_2}(l_2/t) \dots \dots \dots (18)$$

$$q_{v_2}(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_v v} e^{-(\ln v - \mu_v)^2 / 2\sigma_v^2} \dots \dots \dots (19)$$

$\mu_v = 1.215$ (路面電車), 1.088 (バス)

$\sigma_v = 0.1448$ (路面電車), 0.1686 (バス)

ここに、 $q_{v_2}(v)$ は (m/s) で表わした路面電車またはバスの速度分布である⁶⁾。

これらを用いて、 $t_{ne} = t_{nc} + t_w + t_{nv} + t_{nr}$ が計算でき、式 (6) に代入することができる。

以上のごとく、式 (7) を実際に計算することができるので、これと式 (8) を式 (2) に代入して、 $\phi_{t_e}(t|l)$ を求めることができる。

(2) 経路選択率の計算

出発時刻したがって実質消費時間が数値的に与えられるので、式 (14) を離散的に書き改め、これによって選択率を計算してみる。

いま、実質消費時間軸 τ を微小区間 $\Delta\tau$ に分割し、実質消費時間の分布を次のような区間確率によって離散的に表現する。

$$Q_i^k = \int_{t_i} m_{\tau_k}(\tau|l) d\tau \dots \dots \dots (20)$$

ここに、 Q_i^k は、第 k 経路に対する実質消費時間分布の第 i 番目区間確率で、積分は第 i 区間にわたって行うことを意味する。

離散的表現を用いて式 (12) を表現すると次のようになる。

$$\Delta P_i^k(\tau) = Q_i^k \left[\sum_{j=i+1} Q_j^k + \frac{1}{2} Q_i^k \right] \dots \dots \dots (12')$$

右辺第 2 項は、二者択一問題で τ が同じ区間をとる場合は、一方の選択確率を 1/2 にすることを意味する。

多者択一問題で同様の考慮を払うとすると、二者が同じ区間をとる場合、三者が同じ区間をとる場合、4 者が……をすべて考える必要がある。結局、第 k 経路の第 i

区分区間選択率は、

$$\Delta p_i^k(\tau) = Q_i^k \left[\prod_{m+k} S_{i+1}^m + \frac{1}{2} \sum_{j+k} Q_j^i \prod_{m+k, m+j} S_{j+1}^m + \dots + \frac{1}{N} \prod_{j+k} Q_j^i \right] \dots \dots \dots (21)$$

となる。ここに、 $S_i^m = \sum_{l=i} Q_l^m$ である。

式 (14) は、次のように書き改められる。

$$P_k(l) = \sum_i \Delta p_i^k \dots \dots \dots (14')$$

式 (14) を用いて目的地の位置ごとに経路選択率を計算し、最寄りの国鉄選択率が 50% となる点を求め、これを連ねたものを図-12 中の実線で示す。同図中には、定期券原票から得た下車駅選択率を三角、四角、丸印で示している。おのおのの印は、その位置を中心とする 160 m × 160 m の正方形領域内の通勤者の主要な下車駅が、それぞれ西広島、横川、広島各駅であったことを示す。黒塗りの印は、その駅を選択率が 90% を超えるもの、ハッチしたものは 70%、白抜きは 50% をそれぞれ超えるものを示し、四分円をぬり分けたものは、いずれの駅の選択率も 50% に達しなかったことを示す。どの印にもやや小さく書いたものがあるが、これは、もともなるデータの数が不十分で信頼性が劣ると考えられるものを示している。

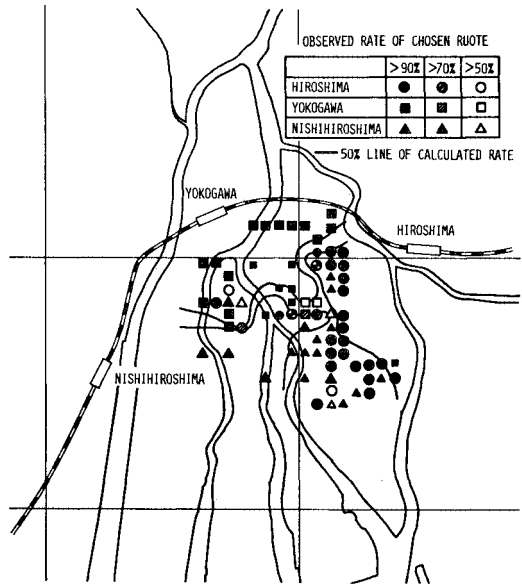
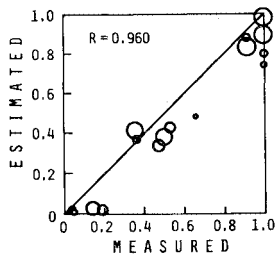
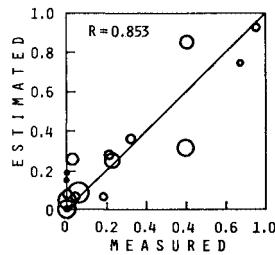


図-12 下車駅選択率

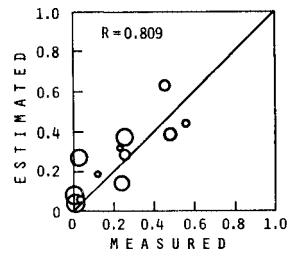
この図から、計算結果と調査結果が傾向的には対応しているようにみえるが、明確に判断が下せない。そこで、メッシュを 640 m × 640 m (図中の経・緯線間をそれぞれ 5 等分した大きさ) に統合してみることにし、160 m メッシュの代表点に関する計算結果をそのメッシュ内



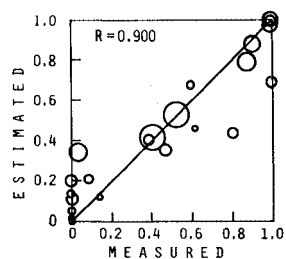
図一13 広島駅選択率の計算結果と調査結果



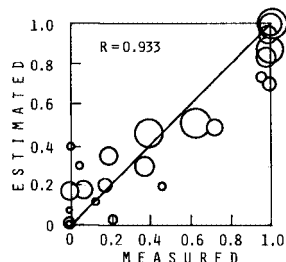
図一14 横川駅選択率の計算結果と調査結果



図一15 西広島駅選択率の計算結果と調査結果



図一16 宮島口駅乗客の広島駅選択率



図一17 五日市駅乗客の広島駅選択率

データ数で加重平均し、640 m メッシュ内の調査結果と比較してみた。結果を図一13~15に示す。図は横軸に調査結果、縦軸に計算結果をとり、円の面積で調査されたデータの数を代表している。計算結果と調査結果の一致の程度を、両者の相関係数でみると、0.96~0.81の程度である⁴⁶⁾。

宮島口、五日市両駅で乗車する乗客の下車駅選択率も同様に計算してみたが、廿日市駅とよく似た結果を得た。

両駅乗車旅客の広島駅選択率を図一13~15と同様に表わしたものを図一16, 17に示しておく。

なお、ここには示さないが、西広島駅と横川駅の選択率をみると、横川駅選択率の調査結果が計算結果より過大で、その分だけ西広島駅選択率が小さい調査結果となっており、相関係数も0.74~0.87の程度であった。このような結果が得られた理由は別に考えられるが、詳細は後述する。

5. 考 察

図一12および図一13, 14, 15によって試みた計算結果と調査結果の比較は、国鉄駅からの徒歩圏内をはじめとして下車駅選択行動の結果が明白に予想し得る領域を相当除外している。

人の行動特性を把握するためには、行動の支配要因のうち、ある要因以外の要因を統制したうえ、その要因に既知の変化を与え（この手順を操作とよぶ）、行動の変化と対比することが必要である。操作は、具体的、物理的操作のみに限り、数学的推論は実証されなければならないとする考え方と、後者もまた操作に含める考え方がある¹⁰⁾。本論文で試みた実質消費時間の確率的比較は、数学的推論に属するが、これを観測された選択結果と照合したという点で、本論文は選択行動についての操作的実験を試みたものといえることができる。

操作的実験においては、観測される行動に変化を生じない範囲の操作には、大きな意味がない。そこで、本論文では、計算結果と実測結果の一致の程度を評価するため通常行われる適合度や的中率の検討を行わず、両者の相関を示すにとどめた。1つには、前述のような観点から、選択結果が明白であって適合することが自明な領域を含めた適合度には意味がないと考えたからであり、1つには、数学的推論の結果に対応する観測結果が系統的に示されれば、必ずしも適合度で評価する必要がないと考えたからである。実際、本論文における数学的推論は、実質消費時間を支配する要因以外の選択行動の支配要因

注6) 図一13~15の各駅選択率は独立の数値でなく、相関係数で一律に比較することは必ずしも適当でないが、計算結果がいくつかの値をとるのに対応して調査結果も変化し、その間に傾向的な偏りがないことが読み取れば十分である。

が、通勤者集団の内部でランダム化されることを前提として行われている。しかし、複雑かつ多数であると考えられるそれらの要因の中には、集団全体ではランダム化され得ても、個々の出発地・目的地のペアに属する部分集団については偏りが存在することが考えられる。以上の点を考えれば、図—13～15にみられるばらつきはある程度やむを得ないものである。むしろ、これらの図は、実質消費時間の弁別実験において入力の意味する選択率計算値を変化させたところ、被験者集団がその応答を変化させ、しかも応答の変化に系統的な偏りが無いことを示しているといえる。その意味で、それらの図における計算値と観測値の対応の程度は十分評価に値するもので、大局において、本論文で試みた実質消費時間の比較に基づく演繹的推論を支持していると考えられる。

本論文で取りあげた山陽本線の通勤旅客の場合、

① 同一鉄道線の下車駅の選択問題で、列車の快適性や混雑度には選択肢間で差がない。

② いずれの下車駅においても、路面電車またはバスに乗り継がねばならず、その混雑度、快適性、運賃⁷⁾に大差がない。

③ いずれの下車駅においても、乗り継ぎのための徒歩移動の環境に大差がない。
ことから、一般化出発時刻という概念で明示的にくり出された時間的要因のほかに考えられる最大の統制されない支配要因は、下車駅による運賃の差であろう。

そこで、1か月定期運賃を表—3に示しておく。廿日市乗車の場合、下車駅によっては1200円または1800円の相違がある。もし、この額が経路選択行動に影響するなら下車駅の選択率が運賃の低い方へシフトするはずであるが、このような系統的影響はみられず、前述の部分集団ごとのばらつきに比べて、運賃の与える効果は大きくないといえる。これは、宮島口、五日市両駅の乗客についても同様である。この場合の運賃差は約3000円である。

わが国では、通勤費の大半を事業所が負担することが多いので、この程度の運賃差に対しては、通勤者の反応が敏感でないことは、十分考えられる。むしろ、通勤費の負担の方法が異なったり、運賃差がさらに大きい場合

には、運賃差の効果がよりはっきりと現われる可能性がある。ところで、前に述べたように宮島口、五日市両駅の乗客の調査結果をみると、実質消費時間を用いた計算結果より西広島駅選択率が小さく横川駅選択率が大きい傾向がみられた。横川駅と広島駅の間には、このような傾向はない。この点については西広島と横川の間で運賃の差がないことから考えて、基本的には実質消費時間の比較によって経路選択を行いながらも、運賃差がなければ、実際に下車するか否かにかかわらず、定期券の利用範囲を大きくとろうとする行動が存在する可能性があるといえる。

以上のように、本論文で提案した駅勢圏は、出発地・目的地のペアごとに、個々の駅の相対的な利用確率で評価するもので地域を画然と区別せず、確率の等高線で表わそうとするものである。しかも、その利用確率は、通勤者の行動特性を一般化出発時刻で与えさえすれば交通機関の速度、運行頻度、定時性あるいは運行時刻そのものという操作可能な変数を用いて計算できる。この計算に際して、利用者の経路選択の調査結果を用いるキャリブレーションという手順が存在しない点が、本論文で提案した手法の操作的性格を明確に示している。

むしろ、本論文で提出した手法を実行するには、通勤者の一般化出発時刻を求めねばならず、そのためには、観測と調査に相応の労力が要求される。しかし、人間を一般化出発時刻という概念で代表し、それに基づいて経路選択率を操作的に計算できるということは、公共交通機関の運行特性を改善したり、新システムを導入したりすることにより、通勤者の経路選択行動に意図的な介入をめざす場合に有用な手がかりを提供する。本論文で示した結果は、広島市西郊から山陽本線を利用して広島市に通勤する旅客に関するもので、その旅客が他の地域の通勤旅客の挙動を代表しているかどうかは今後の検討課題である。しかし一般化出発時刻自体、東京圏と広島市とで共通に扱って問題にならないこと、両都市通勤者はわが国の通勤者として特殊な例だとは考えられないことから、ある程度の範囲で、本論文で示した方法が適用可能なことを十分期待できると考える。

ただし、混雑度や快適性など、本論文で取り上げた例では統制下にあった要因に差があったり、自動車など通勤費の支給制度が異なる手段を併用する場合などは別途研究する必要がある。

6. 結 論

本論文は、鉄道計画における基本的概念である駅勢圏を、すでに明らかにした一般化出発時刻という概念で表わされる通勤旅客の行動特性に基づいた経路選択行動として演繹的に計算する方法を提案するとともに、計算結

表—3 1か月通勤定期運賃（昭和57年7月現在）

乗車駅	下車駅	西 広 島	横 川	広 島
	宮 島 口	6900円	6900円	10260円
廿 日 市	3900	5100	6900	
五 日 市	3900	3900	6900	

注7) バス、路面電車とも均一運賃である。また両者の運賃差は10円である。

果を調査結果と比較して、その妥当性を明らかにすることを目的としたものである。

本論文によって明らかになったところは次のとおりである。

(1) 通勤者の経路選択行動は、一般化出発時刻と交通システムの時間的運用特性で決まる実質消費時間の比較判断によって決定されると、ほぼ考えてよい。

(2) この際、1か月3000円程度の定期運賃の相違では系統的な影響は見出せない。

(3) 本論文で示した方法により、運賃差が上記の範囲内で、混雑度その他の要因が影響しないかぎり、操作的に通勤駅勢圏を推定することが期待できる。

今後は、この結論を踏まえて、時間と運賃以外の要因の影響を考えるとともに、自家用車利用者など、異なった制度が適用される場合との比較を試みる必要がある。

7. あとがき

この研究を行うにあたり、国鉄広島鉄道管理局および広島電鉄株式会社の関係各位には、快く調査・計測をご許可いただき、懇切なるご協力を得た。特に、広島鉄道管理局 今村洋二氏には、さまざまなご支援、ご教示を得た。さらに、株式会社大林組 本田 敦氏ほか、もと東大工学部土木工学科の学生、院生諸氏に、調査、観測データ整理に、あるいは数値計算に、大いに協力してい

ただいた。付記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 八十島義之助・花岡利幸：交通計画，p. 48，技報堂，1971.
- 2) Lutin, J. L., et al. : Empirical Models of Transit Service Areas, Proc. of A. S. C. E., TE 4, pp. 427~444, 1981.
- 3) 奥平耕造：都市・地域解析の方法，pp. 25~68，東京大学出版会，1982.
- 4) Wilson, A. G. : A Stochastic Theory of Spacial Distribution Models, Transp. Research, Vol. 1, pp. 253~269, 1967.
- 5) 松本嘉司・角 知憲・田辺俊郎：一般化出発時刻に基づく交通の実質消費時間の推定，土木学会論文報告集，No. 337, 1983.
- 6) 角 知憲・宮木康幸・村尾光弘・松本嘉司：任意の運行特性をもつ公共交通機関利用者の一般化出発時刻，土木学会論文集，No. 347/IV-1, 1984.
- 7) Luce, R. D. : Individual Choice Behavior, p. 38~74, John Wiley, 1959.
- 8) 田中良久：心理学的測定法，東京大学出版会，1977.
- 9) 岩本千樹・太田勝敏：非集計モデルによる鉄道駅へのアクセス交通手段の分析，土木学会第36会年次講演会概要集 IV, pp. 407~408, 1981.
- 10) 梅津八三，ほか編：心理学事典，平凡社，pp. 438~439, 1957.

(1983. 8. 31・受付)