

# 一般化出発時刻に基づく交通の実質消費時間の推定

## ESTIMATION OF VIRTUAL TIME CONSUMPTION FOR TRAVELLING BASED ON GENERALIZED DEPARTURE TIME

松本嘉司\*・角知憲\*\*・田辺俊郎\*\*\*

By Yoshiji MATSUMOTO, Tomonori SUMI and Toshiro TANABE

### 1. はじめに

人間が交通を行うとき、いくつかある利用可能な交通手段のうち、どれを選択するかという問題は、交通計画の主要な関心の1つである。

交通は、所定の時刻に所定の目的地に到達しようとする人の行為の現われであるから、どの交通手段を用いるといつ目的地に到達できるかということが、交通手段選択の支配要因の1つとなる。もし、運賃や快適性が問題にならなければ、人はより速く到達できる交通手段を選択する。

一般的にいて、目的地までの所要時間すなわち出発時刻から到着時刻までの時間は、どのような交通手段を用いようとも、多かれ少なかれ確率の変動を有する。そこで、人が「所定の時刻に必ず到着しようとする」ということは、数学的に表現すると、「所定の時刻に遅刻する確率を十分小さくしようとする」ということを意味する。「所定の時刻」を、以後、到着指定時刻とよぶ。

人が、到着指定時刻に対する遅刻確率を十分小さな値にとどめようとして出発時刻を決定すると、出発時刻から到着指定時刻までの時間は所要時間とは異なっている。

この時間は、人が交通のために実質的に割り当てる時間であるので、以後、これを実質消費時間とよぶ。所要時間と実質消費時間の相違は、所要時間の確率変動が大きいほど著しい。

前に、交通手段の選択の際、人はより速く到達できる手段を選択すると述べたが、所要時間の確率変動を考慮すると、実質消費時間のより短い手段を選択するということになる。

以上のように、所要時間の確率変動が無視できない交通手段を含む選択行動を取り扱うためには、所要時間の確率変動を認知した人間が、その出発時刻、したがって実質消費時間をどのように決定するかを明らかにする必要がある。

従来、所要時間や実質消費時間を調査する場合には質問調査が行われることが多い。しかし、質問調査にはいくつかの問題がある。たとえば、本論文では所要時間と実質消費時間を区別しているが、この両者のように類似の概念を回答者が正確に区別して理解してくれないことがある。また、回答することは回答者にとっては煩わしいので、正確に回答しないことがある。ことに、回答者にとって不愉快な質問ではそのおそれが強い。さらに、回答は、回答者の記憶に依存するので、数値的に厳密な表現ができない。

そこで、本論文では、このような問題点を有する質問調査によらず、所要時間の確率分布を入力とし出発時刻の決定を出力とする人というシステムの応答関数を定量化することを試みる。所要時間の確率分布は、質問調査によらずとも、路側調査その他の方法で調査することができる。

### 2. 一般化出発時刻の定義とその推定

#### (1) 人間行動の分析方法と前提条件

人間のように、多くの要因に支配されるブラックボックスシステムの応答特性を因果的に明らかにする方法として、注目するある要因以外の他の要因を一定に保ったまま、その要因を既知量だけ変化させ、それに伴うシステムの出力の変化を観測する方法がある。この方法を実行するには、さらに2つの方法がある。その1つは、特定の個人について、既知量の要因変化を与えて応答の変化を観測する方法であり、他は、同質の集団について、

\* 正会員 工博 東京大学教授 土木工学科

\*\* 正会員 工博 九州大学助教授 土木工学科

\*\*\* 正会員 工修 運輸省港湾局

集団内部における入力の変遷と応答の変遷とを対比する方法である<sup>2)</sup>。

現実の社会で活動している特定の個人をひろい上げてその所要時間の確率分布に既知の変遷を与え、出発時刻の変遷を観測することは実際的ではない。一方、特定の集団の構成員の間に、所要時間の確率分布の変遷があることはきわめて普通である。そこで、以下では後者の方法を採用する。

ここで、同質の集団とは、出発時刻の決定に際して、同一の判断基準に基づいて意志決定を行う集団という意味である。同一の判断基準をもつ集団とは、次の条件を満たす集団である。

- ① 集団構成員の遅刻に対する評価が同一<sup>注1)</sup>であること。
- ② 交通に費やす時間に対する評価が同一<sup>注1)</sup>であること。
- ③ 所要時間の確率変動に関する認識が同一<sup>注1)</sup>であること。

以下では、所要時間の確率変動と出発時刻をむすぶ人の応答特性として、一般化時間軸上での出発時刻、すなわち、一般化出発時刻という概念を提案する。このとき、さらに、次の諸条件を仮定しておく。

- ④ 所要時間は人の意志的支配を受けない。人の制御できる要因は出発時刻のみである。
- ⑤ 集団構成員は、おのおの、遅刻確率が十分小さく、かつ実質消費時間がやむを得ない大きさであると判断した時刻に出発を決意する。
- ⑥ このときの遅刻確率は、人により場合により変動するが、その変動は集団に固有な分布をもつ。

(2) 一般化出発時刻の定義

前記の集団に属し、そのトリップ長  $l$  が与えられた人間を考える。この人が  $l$  を移動するのに要する時間を  $t_n$  とする。この人は、前記の前提条件 ③ に従って、 $t_n$  の確率密度関数(以下、P.D.F. と略記する)  $\phi_{t_n}(t_n|l)$  を知っているものとする。ここに、 $\phi_{t_n}(t_n|l)$  はトリップ長  $l$  の条件付 P.D.F. である。この人は、条件 ④ によって  $\phi_{t_n}(t_n|l)$  を制御することはできない。

いま、到着指定時刻を時間軸の原点にとり、この人が自宅を出発した時刻を  $t_s$ 、目的地に到着した時刻を  $t_a$  とする。 $t_a$  と  $t_s$  の間には次の関係がある。

$$t_a = t_s + t_n \dots\dots\dots(1)$$

$t_n$  の P.D.F. は  $\phi_{t_n}(t_n|l)$  であるから、ある確定値  $t_{s1}$  に対しても  $t_a$  は確率量であり、 $l$  と  $t_{s1}$  の条件付で、 $t_a$

の P.D.F.  $\phi_{t_a}(t|l, t_{s1})$  は

$$\phi_{t_a}(t|l, t_{s1}) = \phi_{t_n}(t - t_{s1}|l) \dots\dots\dots(2)$$

となる。到着指定時刻を  $t=0$  に選んでいるので、この人が出発時刻を  $t_{s1}$  に選んだときの遅刻確率  $\alpha_1$  は、

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \int_0^\infty \phi_{t_a}(t|l, t_{s1}) dt \\ &= \int_0^\infty \phi_{t_n}(t - t_{s1}|l) dt \\ &= \int_{-t_{s1}}^\infty \phi_{t_n}(t|l) dt \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

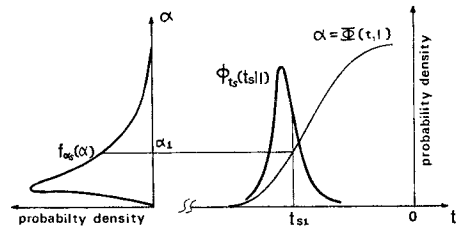
となる。

式(3)は、出発時刻を  $t_{s1}$  に選んだときの遅刻確率を示すものではあるが、別の見方によれば、 $t_{s1}$  に  $\alpha_1$  という数値を対応させるもので、一種の変数変換である。式(3)は単調であるので、 $\alpha_1$  と  $t_{s1}$  は一対一に対応する。一般に、これを、

$$\alpha = \Phi(t, l) \dots\dots\dots(4)$$

と書くことにする。

この関係をもう少し詳しく述べると次のとおりである。



図一 一般化出発時刻と実時間上の出発時刻の関係

図一に示すように、 $t$  軸上の 1 点  $t_{s1}$  は、 $\alpha = \Phi(t, l)$  によって  $\alpha$  軸上の 1 点  $\alpha_1$  に対応する。この対応関係は、 $t$  軸上の  $(-\infty, 0)$  の領域を  $\alpha$  軸の  $(0, 1)$  の区間へ投影するものである。人間は、前記の前提条件 ⑤ で述べたように遅刻確率を判断基準の尺度として出発時刻を決定しているので、トリップ長が異なるいかなる人の出発時刻も  $\alpha$  軸上ではトリップ長にかかわらず一律に評価することができる。この意味で、 $\alpha$  軸は遅刻確率を尺度とする一般化時間軸である。人は、おのおの、適当であると判断した  $\alpha = \alpha_s$  に出発を決意する。すなわち、 $\alpha_s$  は  $\alpha$  軸上で決定した出発時刻であり、これを実時間軸上に逆に変換すれば、実際の出発時刻を得る。 $\alpha_s$  を一般化出発時刻とよぶ。

$\alpha_s$  には、前提条件 ⑥ で述べた変動が存在するので、その P.D.F. を  $f_{\alpha_s}(\alpha_s)$  とおくと、これを実時間上に変換した  $t_s$  の P.D.F.  $\phi_{t_s}(t_s|l)$  は

$$\phi_{t_s}(t_s|l) = f_{\alpha_s}(\Phi(t_s, l)) \frac{d\Phi}{dt_s} \dots\dots\dots(5)$$

となる。

$f_{\alpha_s}(\alpha_s)$  は、集団に固有な判断基準を量的に表現した

注 1) ここで、同一であるとは、集団内部の変動が、1つの確率変動として扱えるという意味で、確定的に一致するという意味ではない。

ものであり、これを推定することが本論文の目的である。これが推定できれば、集団の構成員がいかなる交通手段を用いようとも、その所要時間の P.D.F. を知って、出発時刻したがって実質消費時間を求めることができる。所要時間の P.D.F. は、交通システムの種類を選び、運用方法を調整することによって、計画者が制御することができるので、計画者は、結果的に利用者の実質消費時間を制御することができる。

(3) 一般化出発時刻の推定方法

式 (5) に使用するための  $f_{\alpha_s}(\alpha_s)$  は、次のようにして推定することができる。出発時刻の P.D.F.  $\phi_{t_s}(t_s|l)$  と、所要時間の P.D.F.  $\phi_{t_n}(t_n|l)$  が与えられていれば、式 (1) の関係があるので、到着時刻  $t_a$  の P.D.F.  $\phi_{t_a}(t_a|l)$  は、

$$\phi_{t_a}(t_a|l) = \int_{-\infty}^0 \phi_{t_n}(t_a - t_s|l) \phi_{t_s}(t_s|l) dt_s \dots\dots (6)$$

となる。集団全体を考え、そのトリップ長の分布を  $l$  の P.D.F.  $g(l)$  の形で与えると、集団のすべての構成員について、目的地に到着する時刻  $t_a$  の P.D.F.  $\phi_{t_a}(t_a)$  は、

$$\phi_{t_a}(t_a) = \int_0^{l_{\max}} \phi_{t_a}(t_a|l) g(l) dl \dots\dots\dots (7)$$

である。ここに、 $l_{\max}$  は、トリップ長の上限である。

式 (7) に、式 (5)、式 (6) を用いると、

$$\begin{aligned} \phi_{t_a}(t_a) &= \int_0^{l_{\max}} \int_{-\infty}^0 \phi_{t_n}(t_a - t_s|l) f_{\alpha_s}(\alpha_s) \phi_{t_s}(t_s|l) \\ &\quad \cdot \frac{d\phi}{dt_s} dt_s g(l) dl \\ &= \int_0^{l_{\max}} \int_0^1 \phi_{t_n}(t_a - t_s|l) f_{\alpha_s}(\alpha_s) d\alpha_s g(l) dl \\ &\quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

となる。ここに、 $t_s = \Phi^{-1}(\alpha_s, l)$  という関係がある。

$\alpha$  と  $l$  は独立であるから、積分の順序を交換できるので、

$$K_2(t_a, \alpha_s) = \int_0^{l_{\max}} \phi_{t_n}(t_a - t_s|l) g(l) dl \dots\dots (9)$$

とすると、式 (8) は、

$$\phi_{t_a}(t_a) = \int_0^1 K_2(t_a, \alpha_s) f_{\alpha_s}(\alpha_s) d\alpha_s \dots\dots\dots (10)$$

と第 1 種フレドールム形積分方程式となる。式 (10) に、観測した  $\phi_{t_a}(t_a)$ 、 $\phi_{t_n}(t_n|l)$ 、 $g(l)$  を代入して解くことにより  $f_{\alpha_s}(\alpha_s)$  を求めることができる。

所要時間  $t_n$  は、利用する交通機関によって、アクセス、イグレスの歩行時間、乗車時間、待ち時間などで構成され、おのおのを加算することにより推定できるが、いま、最も簡単なケースとして交通速度が確率変動する単一の交通機関によって目的地へ向かう場合を考える。交通速度を  $v$ 、その P.D.F. を  $q_v(v)$  とすると、

$$t_n = l/v \dots\dots\dots (11)$$

であるから、 $\phi_{t_n}(t_n|l)$  は、 $q_v(v)$  を変数変換することにより

$$\phi_{t_n}(t_n|l) = q_v(l/t_n) \left| \frac{dv}{dt_n} \right| = l/t_n^2 q_v(l/t_n) \dots\dots (12)$$

を得る。

3. 都市通勤者の一般化出発時刻

(1) 通勤者行動の観測

都市内の通勤交通では、通勤者 1 人 1 人の住居、勤務地、交通手段が多様であって、前述の演算のための情報を得ることが困難である。しかし、次の 3 条件を満たす鉄道駅に、通勤者が集まってくると場合には、実質的に勤務地へ到着するための  $f_{\alpha_s}(\alpha_s)$  に従って行動していると考えられる。すなわち、

- ① 列車の運行間隔がきわめて長く、乗り遅れがただちに勤務先における遅刻を意味する。
- ② 乗り遅れた場合に代替し得る他の交通手段がない。
- ③ 定時性が確保され、乗車できれば必ず勤務先に遅刻しないことが期待できる。

という条件である。そこで、この 3 条件を満たし、さらに次の諸条件を満たす住宅団地を対象として、通勤者行動の観測を行った。

- ④ 鉄道駅に対するアクセス手段として、歩行以外は無視できる注 2)。
- ⑤ 乗り遅れの場合の代替手段のみならず、実質的に他の交通手段がない。

観測の内容は次のとおりである。

- (i) 鉄道駅に到着する通勤者 1 人 1 人の到着時刻の計測
- (ii) 詳細な住宅地地図と人口分布を用いるトリップ長の分布  $g(l)$  の推定

注 2) 歩行速度は各人がある程度制御できるので、2. (1) で述べた条件 ④ に反する。しかし、歩行速度を増大すると人間のエネルギー代謝率が急激に大きくなって苦痛を増加する<sup>9)</sup>。通勤は日常的行動であるので、人は反復経験により出発時刻を調整し、苦痛を緩和する。したがって調整される速度の範囲は限られてくるし、それも到着指定時刻の間際に行われる。通勤では、到着指定時刻の間際に到着する人は少なく、測定がプラットフォームから約 100 m の路上で行われたこともあって、本論文に示す結果に特に問題は見つかっていない。事実、徒歩のほか、個人的な速度調整が行えないバス、路面電車を利用する場合にも、本論文とほぼ同一の結果が得られている<sup>9)</sup>。これとは別に、列車が遠くにいる間からそれを視認できる状況では、人は視認した情報に合わせて速度を調整し他の人もこれに追従するという行動が定着し、本論文で示した取り扱いが適当でないケースも認められている。

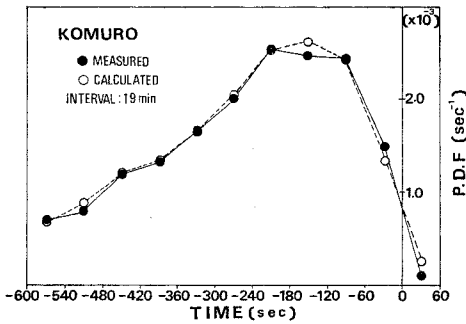


図-2 乗客の到着分布

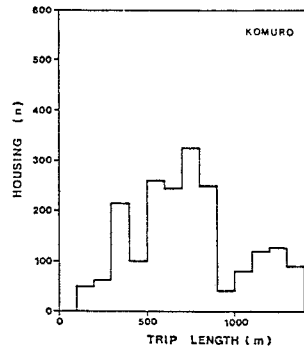


図-3 トリップ長分布

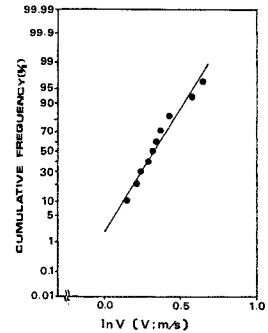


図-4 歩行速度分布

(iii) 通勤者歩行速度の計測

観測を行ったのは、北総開発鉄道小室駅とその周辺の住宅団地である。当該団地は、千葉県船橋市にあって東京地区への通勤者の住宅がほとんどである。通勤には北総鉄道か自動車を利用するしか方法がないが、通勤者の自動車利用率は十分小さい注3)。

同駅に集合してくる乗客が改札口を通過する時刻を計測し、改札口からプラットフォームへ至るまでの所要時間を加え、乗客がプラットフォームへ到着する時刻を求めた。この時刻と列車の発車時刻との差を横軸にとり、縦軸に乗客の到着割合をとった一例を図-2の黒丸で示す。

表-1 小室における計測概要

運行時隔(分)	列車数(本)	延乗客数(人)
19	2	492
23	2	616
32	6	803
38	2	282

なお、列車が発車して次の列車までの時間(以後運行時隔とよぶ)は19分~38分である注4)。計測した列車数、乗客数は表-1に示すとおりである。

また、同駅に対するアクセスのトリップ長を、通勤者数は住宅戸数に比例すると仮定して求めたところ、図-3に示す結果を得た。

一方、住宅団地内を歩行する通勤者の歩行速度は、実測によれば図-4に示すとおりであった注5)。この結果は、平均値1.34m/s、標準偏差0.39m/sであり、図中の直線が表わす対数正規分布でよく表現できる。

注3) 船橋市から東京区部への通勤・通学が自動車・バイクで行われる割合は約6%、その半数は北総鉄道と競合しない江戸川、江東、墨田区へ向かう4)。

注4) 列車の運行時隔が4~14分であるほかは、小室と同等の条件にある他の団地についても、小室と同様の計算を行って  $f_{a_s}(\alpha_s)$  を求めたところ、運行時隔の増大とともに小室の場合に漸近し、小室の場合は運行時隔による変化がないことがわかった。したがって、この運行時隔は十分長いと判断できる。

注5) この結果は、町田市成瀬台団地において、通勤者97名が50m区間を歩くのに要した時間から求めた。同団地の歩行条件は小室と大差ない。

(2) 数値計算

a) 計算方法

式(10)中の  $\phi_{t_a}(t_a)$ 、および  $g(l)$  は解析関数として与えられないので、式(10)は数値解法を用いて解くことになる。

第1種フレドホルム形積分方程式の数値解法として、代表座標点を用いて離散化し、連立方程式に帰する方法がある。

いま、変数  $t_a$  と  $\alpha$  について、それぞれ適当な  $N$  個の代表座標点  $\{t_i\}$ 、 $\{\alpha_j\}$  をとり、各座標点における  $\phi_{t_a}(t_i)$ 、 $f_{a_s}(\alpha_j)$ 、 $K_2(t_i, \alpha_j)$  の値をそれぞれ  $P_i$ 、 $f_j$ 、 $K_{ij}$  と書く。 $f_j$  に数値積分のための重み  $\Delta\alpha_j$  を乗じたものを  $F_j$  とすると、式(10)は次のように与えられる。

$$\{P_i\} = [K_{ij}] \{F_j\} \dots \dots \dots (13)$$

$\{F_j\}$  は区間確率ベクトルであるが、 $\{P_i\}$  に不規則変動を含む観測結果を代入し、式(13)を連立方程式として解くと、 $F_j \geq 0$ 、 $\sum_j F_j = 1$  という確率として  $\{F_j\}$  に課せられる制約条件を満たすことが保証されない。そこで、最小  $\chi^2$  値法を採用した。これは観測された  $\{P_i\}$  と、式(13)で計算される  $\{P_i\}$  とで作る  $\chi^2$  値が最小となるように、制約条件を満たす  $\{F_j\}$  を決定する方法である5)。

本論文では、具体的には次のような手順をとった。

① まず、 $\{F_j\}$  に適当な初期値  $\{F_{j0}\}$  を与え、式(13)によって、到着時刻の確率密度  $\{P_{i0}\}$  を計算する。添字0は初期値  $\{F_{j0}\}$  を使用したことを示す。

②  $\chi^2$  値の区間成分  $\chi_i^2$  を次のように計算する。

$$\chi_i^2 = (P_i - P_{i0})^2 / P_{i0} \dots \dots \dots (14)$$

ここに、 $P_i$ ：観測された区間  $i$  の区間確率、 $P_{i0}$ ：同じく計算された区間確率、である。

③ 式(14)で計算される各成分のうち、最大のものを与える区間  $i_{max}$  を取り上げ注6)、 $\{F_{j0}\}$  を次の

注6) この方式は  $K_{ij}$  の対角項が各行中の最大値となる場合に有効である。 $K_{ij}$  の非対角項が大きい場合は、その最大値に対応する区間を取り上げる必要がある。

ように修正する。

$$\{F_{j1}\} = (1 - \Delta F_1) \{F_{j0}\} + \{\Delta F_{i_{max}}\} \dots \dots \dots (15)$$

$$\{\Delta F_{i_{max}}\} = \Delta F_1 \{0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0\}^T \dots \dots (16)$$

ここに、 $\{F_{j1}\}$  は  $\{F_{j0}\}$  に対して1回目の修正を行った結果を意味する。また、 $\Delta F_1$  は  $\{F_{j1}\}$  が区間確率ベクトルとしての前記の制約条件を満たすとともに、最大の  $\chi^2$  値の減少が得られるよう、次のように決定される定数である。

いま、式 (15)、(16) のような修正を行ったとすると、修正後の  $\chi^2$  値  $\chi^{*2}$  は、

$$\chi^{*2} = \sum \frac{\{P_i - P_{i0}(1 - \Delta F_1) - K_{i,i_{max}} \Delta F_1\}^2}{P_{i0}(1 - \Delta F_1) + K_{i,i_{max}} \Delta F_1} \dots \dots \dots (17)$$

したがって  $\Delta F_1$  は、

$$\frac{\partial(\chi^{*2})}{\partial(\Delta F_1)} = 0 \dots \dots \dots (18)$$

によって決定することができる。

- ④ 式 (15) によって修正された  $\{F_{j1}\}$  を手順 ① の  $\{F_{j0}\}$  の代わりに使用して  $\{P_{i1}\}$  を計算し、手順 ②、③ においても  $\{F_{j0}\}$ 、 $\{F_{j1}\}$ 、 $\Delta F_1$  の代わりにそれぞれ  $\{F_{j1}\}$ 、 $\{F_{j2}\}$ 、 $\Delta F_2$  とすることにより、 $\{F_{j2}\}$  を求める。
- ⑤ 以下、同様にして  $\chi^2$  値が改善されなくなるまで、計算を繰り返す。

なお、 $t_i$ 、 $\alpha_j$ 、 $\Delta \alpha_j$  は次のように選んだ。

$t_i$  は、図-2 に示すように、列車出発時刻を基準に時間を 60 秒区間に分け、その区間中央値をとった。  $\alpha_j$  は、その  $\alpha_j$  をもって出発する人の到着時刻 P.D.F. のピークが、 $t_j$  に一致するように選定した。使用した  $t_i$ 、 $\alpha_j$  の値を表-2 に示す。  $\alpha_j$  は、Fechner の対数

表-2 代表座標点

区間番号	$t_i$	$\alpha_j$
1	-570 s	$3.700 \times 10^{-7}$
2	-510	$3.387 \times 10^{-6}$
3	-450	$2.964 \times 10^{-5}$
4	-390	$1.214 \times 10^{-4}$
5	-330	$4.779 \times 10^{-4}$
6	-270	$1.787 \times 10^{-3}$
7	-210	$6.251 \times 10^{-3}$
8	-150	$2.011 \times 10^{-2}$
9	-90	$5.814 \times 10^{-2}$
10	-30	$3.161 \times 10^{-1}$
11	+30	$5.597 \times 10^{-1}$

則を思わせるように、対数軸上で等間隔に近い。そこで、対数軸上で、 $\alpha_j$  と  $\alpha_{j+1}$  の中央で区間を分割することとし、

$$\Delta \alpha_j = \sqrt{\alpha_{j+1} \alpha_j} - \sqrt{\alpha_j \alpha_{j-1}} \dots \dots \dots (19)$$

とした。

b) 計算結果

図-2 の黒丸で示した観測結果に対し、a) で述べた方法を適用して小室駅への到着確率を計算した結果を同図白丸で示した。この場合、観測した通勤者数 492 名に対し、有意水準は 95% を超える。運行時隔 32 分の場合を除き、他はいずれも有意水準 75~95% の結果を得た。

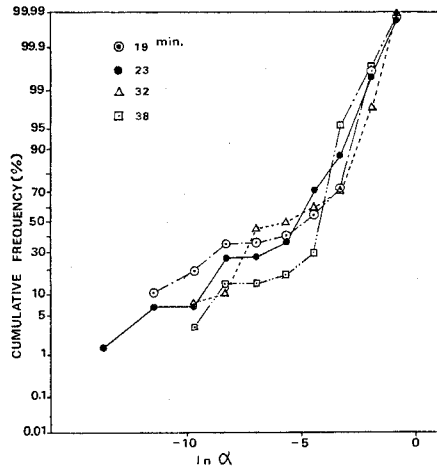


図-5 一般化出発時刻の累積分布

これらの結果を累積確率として対数正規確率紙の上にプロットしたものを図-5 に示す。これは、いわば  $f_{\alpha_s}$  ( $\alpha_s$ ) の観測値を示すもので、ばらついてはいるものの一定の傾向に沿うものであることが読み取れる。  $f_{\alpha_s}$  ( $\alpha_s$ ) の計算結果の平均値と標準偏差を示せば、表-3 のとおりである。

表-3 一般化出発時刻の計算結果

運行時隔 (分)	平均値 (%)	標準偏差 (%)
19	2.2	3.1
23	1.4	2.9
32	2.5	4.9
38	1.8	2.1
加重平均	2.0	3.8

図-6 中に記入した太線は、これら計算結果を加重平均したものであるが、後日、式 (5) を応用して実質消費時間を計算する場合、この太線を解析的な表現で近似しておいた方が便利である。この太線は次式で近似できる。

$$f_{\alpha_s}^a(\alpha_s) = A f_{\alpha_s}^1(\alpha_s) + B f_{\alpha_s}^2(\alpha_s) \dots \dots \dots (20)$$

ここに  $f_{\alpha_s}^a(\alpha_s)$  は、 $f_{\alpha_s}(\alpha_s)$  の近似関数であり、右

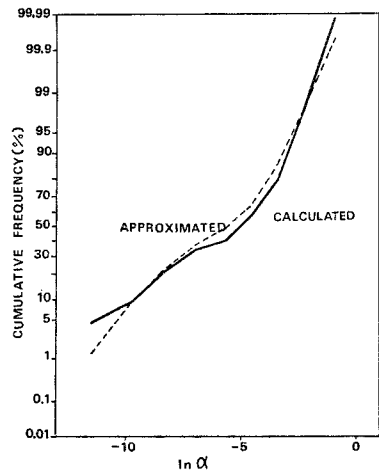


図-6 一般化出発時刻の近似関数

辺の各項は

$$f_{\alpha_s^1}(\alpha_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\alpha_s} e^{-(\ln\alpha_s - \mu_1)^2/2\sigma_1^2} \dots\dots (21)$$

$$f_{\alpha_s^2}(\alpha_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2\alpha_s} e^{-(\ln\alpha_s - \mu_2)^2/2\sigma_2^2} \dots\dots (22)$$

である。ここに、 $A=B=0.5$ 、 $\mu_1=-4.0174$ 、 $\sigma_1=1.0108$ 、 $\mu_2=-8.0652$ 、 $\sigma_2=1.9680$ である。式(21)は平均値3%、標準偏差3.9%、式(22)は平均値0.15%、標準偏差0.64%の対数正規分布である注7)。

近似した曲線を図-6中の破線で示した。近似の程度は良好で、 $f_{\alpha_s^a}(\alpha_s)$ を式(10)に使用して計算した $\phi_{t_a}(t_a)$ は、実測した乗客の到着確率とよく適合している。 $f_{\alpha_s^a}(\alpha_s)$ の平均値は1.6%、標準偏差は3.2%である。

### 4. 考 察

本論文で提案した一般化出発時刻とは、出発時刻を到着指定時刻に対する遅刻確率で評価したものであり、指定時刻に目的地に到着することの心理的制約を定量化したものである。心理的制約は、出発時刻の決定というプロセスを介して、人の行動のすべてを支配するが、一般化出発時刻は、その支配の内容にまで立ち入るものではなく、行動科学の分野の用語で、「構成概念」注8)とよばれるものである。

通勤者の一般化出発時刻のP.D.F.を式(20)によって模式的に示すと図-7のようである。

同図からわかるように、通勤者の一般化出発時刻のP.D.F.の特徴は、

- ① 平均値より小さいところに鋭いピークがある。
- ②  $\alpha_s$ が大きくなるに従って、急速に小さくなる。
- ③ 基本的には対数正規分布に近いが、上記①、②の傾向が著しいので、単一の対数正規分布で近似することができない。

ということである。

ひとくちでいって、通勤者の遅刻に対する評価はきわめて厳しく、そのばらつきは意外に小さいことがわか

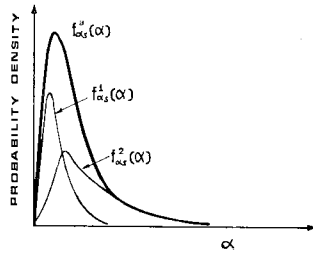


図-7 一般化出発時刻 P.D.F.の模式図

注7)  $\alpha$ の定義域は(0, 1)であるが対数正規分布の定義域は(0,  $\infty$ )であるので、その[1,  $\infty$ )の部分を切り捨てる。 $f_{\alpha_s^a}(\alpha_s)$ の[1,  $\infty$ )の区間の確率は十分小さく、切り捨ての影響はほとんどないが、標準偏差は(0,  $\infty$ )の場合より、わずかに小さくなる。

注8) 操作可能な環境条件(独立変数)と観察可能な人間の行動経過(従属変数)との関係から仮説的に構成されるものであり、工学では応答関数という用語に対応するので、本論文では応答関数と表現した。

る。

通勤者の例で示されるように、目的地と到着時刻を指定される人間の実質消費時間は、目的地における遅刻確率に基づいて決定される。これは、交通手段の選択行動を取り扱う際に、基礎的な視点を提供する。たとえば、ある人がある目的地へ向かうのに、自動車と鉄道と、2つの手段が利用可能であるとする。この場合、次のような状況が、よく生じ得る。鉄道を利用しようとする、乗車時間以外にも、アクセス、イグレスのための歩行や、待ち合せ、乗り継ぎなどに時間をとられ、結果的に所要時間が大きくなる。ただし、定時性は確保されるので、所要時間の変動は比較的少ない。一方、乗用車を利用すれば、乗車時間以外はほとんどないので、平均的に所要時間は小さいが、道路状況により、所要時間変動が大きい。こういう場合、利用者にとって実質的に時間消費が小さいのはどちらかが手段選択の支配要因の1つとなるが、本論文で示した方法で実質消費時間を推定できる。また、ある地域に新しい輸送機関を導入する場合、その時間的サービスレベル、すなわち、走行速度、フリーレント性、定時性を、在来の交通手段と総合的に比較し適正なサービスレベルを設定するために、本論文で示した方法が適用できる。

本論文では、具体的には通勤交通を取り上げたが、一般化出発時刻という概念は、目的地と到着時刻に制約があれば、通勤以外にも十分適用の余地がある。

今後、より実務的な交通問題に適用する場合は、所要時間のP.D.F.を的確に把握することが大切となる。

### 5. 結 論

本論文は、交通手段選択の支配要因の1つである実質消費時間を推定することを目的とし、人が目的地に到着する時刻を与えられた場合、所要時間の確率分布を知ってその出発時刻をいかに決定するかを考察したものである。本論文で得た結論は次のとおりである。

① 到着指定時刻を与えられた人の出発時刻は、到着指定時刻に対する遅刻確率で測った一般化時間軸上で選ぶ一般化出発時刻という概念によって統一的に記述できる。

② 通勤者の一般化出発時刻のP.D.F.は、2つの対数正規分布を組み合わせた関数によって近似できる。

この関数は、遅刻確率の小さいところに鋭いピークをもち、そのばらつきが小さいことを示している。しかし、人間の实質消費時間は、交通システムの特性で決まる出発時刻と遅刻確率の間の変数変換の関係に支配される。人間が交通手段を選択する行動には、実質消費時間以外

に多数の支配要因が考えられる。その中であって、実質消費時間の果たす役割がどのようなものであるかは、今後の検討課題である。

## 6. あとがき

本論文を作成するにあたり、東大大学院博士課程 宮木康幸氏には、理論的検討に参加していただき、また、細かな数値計算に協力していただいた。さらに、筑波大学構造工学系 西岡 隆助教授、東京大学地震研究所 伯野元彦教授、同工学部 藤野陽三助教授には、不備な原稿に眼を通していただき、懇切なるご助言を受けた。

データの収集を快くご許可いただいた北総開発鉄道その他の関係各位にも、あわせて深謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 大山尚武・重田清子・松本俊哲：実交通流における旅行時間の推定について，機械技術研究所報，Vol. 34，No. 5，1980.
- 2) 田中良久：心理学的測定法，東京大学出版会，p. 11，1977.
- 3) 運輸経済研究センター：交通の質 その I，pp. 85～90，1977.
- 4) 総理府統計局：昭和 45 年国勢調査報告，Vol. 6，通勤通学集計結果，その 3，利用交通手段，p. 80，1973.
- 5) Massy, W.F., D.B. Montgomery and D.G. Morrison: Stochastic Models of Buying Behavior, M.I.T. Press, p. 29, 1970.
- 6) 角 知憲ほか：任意の運行特性をもつ公共交通機関利用者の実質消費時間（投稿準備中）.
- 7) 梅津八三ほか編：心理学事典，平凡社，p. 202，1957.  
(1982.9.8・受付)