

交通渋滞にตอบสนองする自動車通勤者の出発時刻決定行動モデル

A DEPARTURE TIME CHOICE MODEL OF COMMUTERS BY PRIVATE CARS

岡田良司*・角 知憲**・杉野浩茂***・大枝良直****

By Ryoji OKADA, Tomonori SUMI, Hiroshige SUGINO,
and Yoshinao OHEDA

The purpose of this paper is to propose a model to predict temporal distribution of commuter departure times by private cars responding to road traffic congestion. The model is based on an assumption that people choose their departure times to minimize the disutility derived from "Virtual Time Consumption" (time interval from departure time to work start time) and traffic congestion. The disutility of traffic congestion is defined as a function of the reciprocal of travel speed. The model was applied to commuters for a factory and it was revealed that the proposed model gave reasonable estimation of departure time distribution.

Keywords: Departure time, Commutation, Private cars, Traffic congestion.

1. はじめに

本論文は、経路上の交通渋滞に対する応答関数として、自動車通勤者の出発時刻の決定行動を記述するモデルを提案しようとするものである。通勤交通は、目的地とそこに到着する時刻を厳しく指定された交通であって、人の行動の動機もその指定に応じることを中心とする。しかし、自動車通勤者が著しく混雑する道路を通行せざるをえない場合は、交通渋滞をもたらす諸々の不愉快、不利益を減少させることの方が、支配的な動機となることがある。本論

文で取り扱おうとするのは、このような場合の行動である。従来、自動車運転者の行動と交通渋滞の関係は、高速道路の交通配分問題やピーク交通量の予測問題として取り扱われてきた。^{1)・2)・3)・4)・5)・6)}

それらは、利用者均衡問題としての取り扱いや、ボトルネックでの待ち行列理論の適用などの数学的な方法論を主題として、比較的マクロな視点をとることが多かったといえる。しかし、経験的研究という立場からいえば、モデルはそれからミクロな事象を導きだせるものであればあるほど、テストが容易であって、以後の拡張・発展のために都合がよい。そこで本論文では、できるだけ純粋に交通渋滞のみに応答する通勤者の行動を取り上げ、ミクロな観察によりテスト容易なモデル化を試みる。出発時刻の決定行動は、モードやルートの選択行動と整合的に結びついており、これらの選択行動を取り扱うための基礎となると考えられる。

2. 交通渋滞に対する応答のモデル化

(1) 行動モデル

* 学生会員 九州大学大学院土木工学専攻修士課程
(〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

** 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 運輸省
(〒100 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3)

**** 正会員 工修 大林組(株)
(〒540 大阪市東区京橋3-37)

自動車通勤者が、交通渋滞にともなう不愉快・運転の労力と走行上の危険性の増大など、もろもろの不利益を避けようとして出発時刻を決定する行動は、これら不利益と交通のために費やす時間のもつ不利益の和を最小にする最適化行動であるとみなすことができる。

ある経路上を自動車を用いて出勤する通勤者を考えよう。この経路上では、早朝からラッシュアワーと言われる時間帯になるにつれて、交通渋滞が発生するものとする。もちろん、渋滞の程度は時間的に変化する。渋滞の程度の指標として平均旅行速度の低下をとることにする。

ある平均旅行速度 v で単位時間走行する時の非効用 U_c を、 v は時刻 t と経路上の場所 x によって決まる関数として次のように表わす。

$$U_c = f(v | x, t) \quad \dots (1)$$

非効用の総和は(1)式を出発時刻 t_0 から到着時刻 t_1 まで全経路長にわたって積分した次の式で表せる。

$$U_i = \int_{t_0}^{t_1} f(v | x, t) dt \quad \dots (2)$$

(2)式から、 U_i は、出発時刻 t_0 の関数となる。次に、交通のために費やす時間の非効用を考える。この非効用には出発時刻から指定された到着時刻までの時間（実質消費時間）をとるのが考えやすい。図-1に示すように、横軸に時間軸をとり時間軸の原点を到着指定時刻にとれば、実質消費時間 VTC は、 $VTC = -t_0$ である。（出発は到着指定時刻より前であるから、 $t_0 < 0$ である。）

そこで、非効用を VTC に換算して縦軸に用いることにすれば、非効用の総和 T は次のように与えられる。

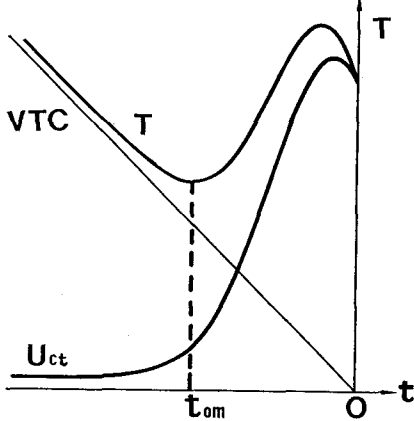


図-1 渋滞の非効用と実質消費時間

$$T = U_i(t_0) - t_0 \quad \dots (3)$$

そこで前述の最適化行動によって出発時刻が選ばれとすれば、出発時刻 t_s は、次式で与えられる。

$$\frac{dT}{dt_0} \Big|_{t_0=t_s} = \frac{dU_i}{dt_0} - 1 = 0 \quad \dots (4)$$

ここで問題は、(1)式に用いる関数形である。この関数形には、 $v \rightarrow \infty$ で $U_c \rightarrow 0$ 、 $v \rightarrow 0$ で $U_c \rightarrow \infty$ を仮定することが自然である。そのような関数として次式を用いる。

$$U_c = \alpha v^{-\beta}, \quad (\alpha > 0, \beta > 0) \quad \dots (5)$$

ここで、 α 、 β は観測によって決定すべきパラメータである。(5)式を用いると、(4)式で与えられる出発時刻 t_s は、出発地 x_0 、目的地 x_d を条件とするパラメータ α 、 β の関数となる。この関数を次のようにかく。

$$t_s = F(\alpha, \beta | x_0, x_d) \quad \dots (6)$$

人の行動は個人差と場合差を含んで変動する。この変動を表現するため、 α を確率変数として定義し、そのPDFを $\phi_\alpha(\alpha)$ とする。(6)式の逆関数

$$\alpha = F^{-1}(t_s | \beta, x_0, x_d)$$

を用いると、 t_s のPDF、 $\phi_{t_s}(t | \beta, x_0, x_d)$ が次のように与えられる。

$$\phi_{t_s}(t | \beta, x_0, x_d) = \phi_\alpha(F^{-1}(t | \beta, x_0, x_d)) | d\alpha/dt_s | \quad \dots (7)$$

(2) パラメータ α 、 β の推定方法

出発時刻のPDFが(7)式で与えられるとすると、 α の分布および β は次のように推定することができる。まず、出発地 x_0 、目的地 x_d を条件として、道路上の任意の断面 x で観測される通過時刻のPDFを $\phi_{t_{rx}}(t | x_0, x_d)$ 、出発時刻 t_s を与えた時の x_0 から x までの所要時間のPDFを $\phi_{t_{rx}}(t | x_0, t_s)$ とする。通過時刻は出発時刻に所要時間を加えたものであるから、両者には次の関係がある。

$$\begin{aligned} \phi_{t_{rx}}(t | x_0, x_d) &= \int_{-\infty}^0 \phi_{t_{rx}}(t - t_s | x_0, t_s) \phi_{t_s}(t_s | \beta, x_0, x_d) dt_s \\ &= \int \phi_{t_{rx}}(t - t_s | x_0, t_s) \cdot \phi_\alpha(F^{-1}(t | \beta, x_0, x_d)) | d\alpha/dt_s | dt_s \\ &= \int_0^\infty \phi_{t_{rx}}(t - t_s | x_0, t_s) \phi_\alpha(\alpha) d\alpha \quad \dots (8) \end{aligned}$$

x_0 の分布を考えて、そのPDFを $g_{x_0}(x_0)$ であらわすと、

$$\phi_{t,px}(t|x_0) = \int_0^\infty \int_x^\infty \phi_{t,rx}(t-t_s|x_0, t_s) \cdot \phi_\alpha(\alpha) g_{x_0}(x_0) d\alpha dx_0 \quad \dots(9)$$

となる。さらに、いくつかの目的地 $x_{d1} (1=1, 2, \dots)$ を考える時は次式を用いる。

$$\phi_{t,px}(t) = \sum_1 A_1 \int_0^\infty \int_x^\infty \phi_{t,rx}(t-t_s|x_0, t_s) \phi_\alpha(\alpha) \cdot g_{x_0}(x_0) d\alpha dx_0 \quad \dots(10)$$

ここに A_1 は第1番目目的地に出勤する者の割合である。 α と x_0 の変動は独立であると仮定すれば、(8)式は次のように書き換えられる。

$$\phi_{t,px}(t) = \int_0^\infty K(t, \alpha) \phi_\alpha(\alpha) d\alpha \quad \dots(11)$$

$$K(t, \alpha) = \sum_1 A_1 \int_x^\infty \phi_{t,rx}(t-t_s|x_0, t_s) g_{x_0}(x_0) dx_0 \quad \dots(12)$$

(11)式に、 $\phi_{t,px}(t)$ 、 $\phi_{t,rx}(t|x_0, t_s)$ および $g_{x_0}(x_0)$ を観測して代入することにより、 $\phi_\alpha(\alpha)$ を求めることができる。ただし、 $\phi_{t,rx}(t|x_0, t_s)$ 自身が x_0 と t_s に依存するので、通常の場合と異なって(12)式の計算は以下に述べるような煩雑な繰り返し計算を要する。

(3) 経路上任意断面の通過確率の計算

(2)式を計算するためには、 t_0 を与え、以後 t の関数として、任意断面の通過時刻を求めることが必要である。この計算を簡便に行なうため、次のような方法をとる。ある交通経路については場所により時刻により旅行速度のPDF、 $q_v(v|x, t)$ が変化するが、このPDFが、ある距離区間 $(x_{k-1}, x_k]$ と、時間区分 $(t_{n-1}, t_n]$ にわたって近似的に一定であり、区間から区間へ、また区分から区分へと変化するものとしよう。すなわち、距離区間番号 k 、時間区分番号 n について旅行速度のPDFが $q_v(v|k, n)$ と与えられるものとする。図-2は、 x 軸と t 軸でできる平面上に自動車の存在する位置の確率密度関数をとって、その変化を示したものである。上に述べたことは、図の x - t 平面に区切られる一区画ごとに $q_v(v|k, n)$ の特定のパラメータを与えることを意味する。そこで、経路上の断面 x_{k-1} を時刻 $t_p^{(k-1)}$ に通過した自動車、断面 x_k をすでに通過している確率を時刻 t の関数として求める。

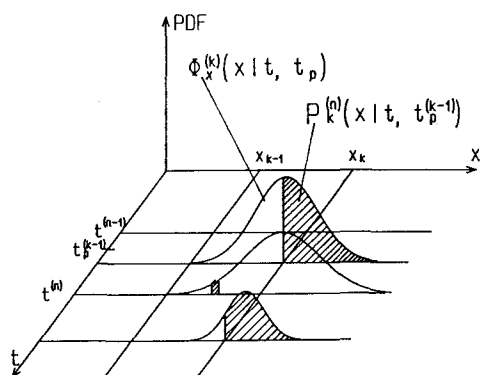


図-2 経路上断面の通過時刻の計算

いま、 $t_{n-1} < t_p^{(k-1)} \leq t_n$ となる n が与えられたとする。

1) $t_p^{(k-1)} < t \leq t_n$ の期間

この間の時刻 t における自動車の位置 x はつぎのように求めることができる。旅行速度のPDF、 $q_v(v|k, n)$ に $x=v\tau$ なる変数変換を行なって作られる関数、 $\phi_x(x|\tau) = q_v(x/\tau|k, n) |dv/dx|$

$$= q_v(x/\tau|k, n) (1/\tau)$$

は時間 τ の間の移動距離のPDFを表わす。そこで時刻 $t=t_p^{(k-1)}$ から経過時間 τ 、断面 x_{k-1} からの移動距離 x を考えれば、自動車の位置のPDF、 $\phi_x(x|t, t_p^{(k-1)})$ は、次のように与えられる。

$$\phi_x(x|t, t_p^{(k-1)}) = q_v\left(\frac{x-x_{k-1}}{t-t_p^{(k-1)}}|k, n\right) \frac{1}{t-t_p^{(k-1)}} \quad \dots(13)$$

ただし、(13)式で $x > x_k$ の部分はすでに x_k を通過した確率を表わしている。つまり、自動車が時刻 t ですでに x_k を通過した確率 $P_k^{(n)}(t)$ は、次式で与えられる。

$$P_k^{(n)}(t) = \int_{x_k}^\infty \phi_x(x|t, t_p^{(k-1)}) dx = \int_{v_0}^\infty q_v(v|k, n) dv \quad \dots(14)$$

である。ここに $v_0 = (x_k - x_{k-1}) / (t - t_p^{(k-1)})$ である。

2) $t_n < t \leq t_{n+1}$ の期間

$t=t_n$ における自動車の位置 x_n のPDFは(13)式に $t=t_n$ を代入すれば得られる。

$$\phi_{x_n}(x_n|t_n, t_p^{(k-1)})$$

$$=q_v\left(\frac{x_n-x_{k-1}}{t_n-t_p^{(k-1)}} \mid k, n\right) \frac{1}{t_n-t_p^{(k-1)}} \cdots (13')$$

ただし、 x_n の範囲は $(x_{k-1}, x_k]$ である。微小区間の長さを dx とすれば、その自動車が任意の地点 (x_n, x_n+dx) にいる確率は、 $\phi_{x_n}(x_n \mid t_n, t_p^{(k-1)})dx$ である。その後、自動車は次の時間区分の速度分布、 $q_v(v \mid k, n+1)$ で走りはじめると考える。この自動車が $t_n < t \leq t_{n+1}$ に占める位置は(13)式中の x_{k-1} を x_n に、 $t_p^{(k-1)}$ を t_n に置き換えれば、次のように得られる。

$$\phi_x(x \mid t, x_n, t_n) = q_v\left(\frac{x-x_n}{t-t_n} \mid k, n+1\right) \frac{1}{t-t_n} \cdots (13'')$$

そこで、時刻 t にすでに断面 x_k を通り過ぎている確率 $\Delta P_k^{(n+1)}(t \mid x_n)$ は、次のように与えられる。

$$\Delta P_k^{(n+1)}(t \mid x_n) = \int_{x_k}^{\infty} \phi_x(x \mid t, x_n, t_n) dx \cdots (15)$$

x_n の分布を考えて、時刻 t_n に断面 x_k を通り過ぎていなかった自動車が、時刻 $t(t_n < t \leq t_{n+1})$ を通り過ぎている確率 $\Delta P_k^{(n+1)}(t)$ は、次式で与えられる。

$$\Delta P_k^{(n+1)}(t) = \int_{x_{k-1}}^{x_k} \Delta P_k^{(n+1)}(t \mid x_n) \phi_{x_n}(x_n \mid t_n, t_p^{(k-1)}) dx_n$$

結局、時刻 t に断面 x_k を通り過ぎている確率 $P_k^{(n+1)}(t)$ は、次式で与えられる。

$$P_k^{(n+1)}(t) = P_k^{(n)}(t_n) + [1 - P_k^{(n)}(t_n)] \Delta P_k^{(n+1)}(t) \cdots (16)$$

3) $t_{n+1} < t \leq t_{n+2}$ の期間

上記2)において、 t_n を t_{n+1} に、 t_{n+1} を t_{n+2} に置き換えて同様の計算を行なう。

4) それ以後の時間

n を一つずつ進めながら、同様の計算を繰り返す。

このようにして、任意の時刻 $t_p^{(k-1)}$ に断面 x_{k-1} を通過した自動車が、時刻 t にすでに断面 x_k を通過している確率の累積分布関数を求めることができる。この関数の時間微分が断面 x_k の通過時刻のPDFである。断面 x_{k-1} の通過時刻のPDFが $\phi_{t_p^{(k-1)}}(t)$ で与えられる場合は、任意の時刻 t について、微小時間 dt 内の断面 x_{k-1} の通過確率 $\phi_{t_p^{(k-1)}}(t)dt$ を条件として上の計算を行なった後、 $\phi_{t_p^{(k-1)}}(t)$ 全体にわたって積分すればよい。一般に、旅行速度 v の確率

変動を決めるパラメータが x と t に応じて変わる場合に自動車の位置のPDFを求める計算は容易ではないが、上述の取り扱いによれば v のPDFの変数変換を繰り返して行なうことにより、比較的容易に計算することができる。また、この計算方法は(12)式の $\phi_{t_{rx}}(t-t_s \mid x_0, t_s)$ を数値的に求める場合にも直接利用することができる。

3. 非効用関数の推定

(1) 通勤行動の観測

本論文では、交通渋滞のみに応答する人の基本的な行動様式を主題としているので、それ以外の要因の影響はできるだけ排除することが望ましい。自動車通勤者の出発時刻決定行動に影響する最も重要な要因の一つは、駐車場を占有しようという動機であろう。そこで、駐車場占有行動の現われる可能性が十分小さいと考えられ、かつ自動車通勤者の挙動を外部的に、ミクロに観測可能だという理由で、ある自動車工場の通勤者を観測することにした。この工場では十分な広さの駐車場をいくつか用意した上、各自に利用すべき駐車場を指定しているので、駐車場占有行動が支配的に現われる余地は少ない。また、駐車を許可された車には外部から観察可能なステッカーを貼付させているので、個々の車の経路や経路上の地点の通過時刻をミクロに観測できる。さらに、

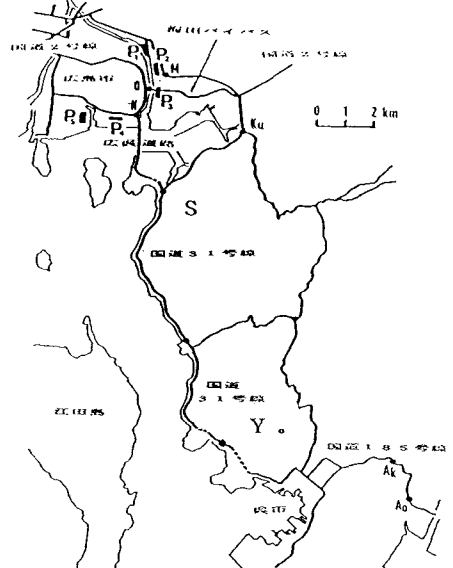


図-3 観測対象地域と道路網の概略

工場の社内記録から個々の通勤者の出発地と自動車のプレートナンバーを厳密に知ることができる。図-3に示したのは、この工場の持つ主な駐車場($P_1 \sim P_6$)と、対象とする通勤者の主な通行経路である。この地域では、海に山が迫った地形のため通行経路は限られている。図中の国道31号線はSと記入された地点で二つに分岐し、一方は国道2号線と合流し、他方は道路橋を通るショートカットルートとなっている。(以後、前者を第一ルート、後者を第二ルートと呼ぶことにする。) 図中、アルファベットを付した地点は路側観測点であって、この地点では貼付されたステッカーから対象となる通勤者を識別し、あるいはこの地点を通過するすべての自動車のプレートナンバーと通過時刻を記録して地点間の旅行速度を求めた。図-4は、旅行速度の20分間ごと

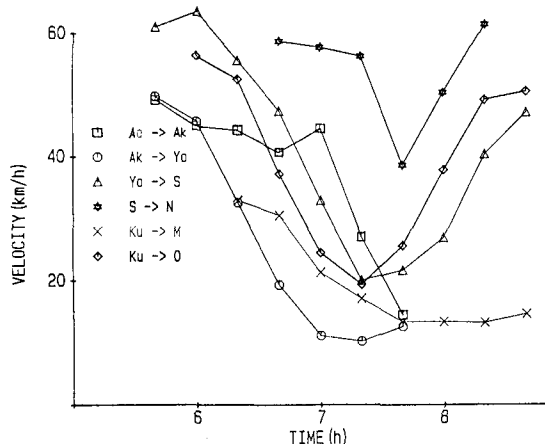


図-4 旅行速度の変化

の平均値の時間的な変化を示している。この地域から自動車通勤者の数は734名であるが、この工場はライン従業者について三交替制をとっているため、早朝の交通渋滞の時間に出勤するものはその約1/3である。旅行速度および自動車通勤者の通過時刻の観測から、次の所見が得られた。

1) 第一ルートの通行者の路側観測点通過時刻は旅行速度が急速に低下する時間帯に密接に関連している。

2) この通過時刻は公共交通機関を用いる場合(一般化出発時刻による場合^{6), 7)})に比べ著しく早い。第一ルートを通る自動車通勤者は、国道2号線および県道との合流点(図のKu点)付近から発生し

拡大する交通渋滞にまきこまれることを回避しようとして行動すると考えられる。工場の始業時刻は駐車場 $P_1 \sim P_3$ を利用する者については8時15分、 P_4, P_5 を利用する者は8時25分である。

3) 第二ルートは有料(通行料 150円)であり、交通量は渋滞を生じるほど多くない。このルートを通行する通勤者には、通過時刻が比較的遅く交通渋滞に回答していないと見られるものが混在している。

以上のような所見から、第一ルートを通るものを対象とする。

(2) 数値計算

a) パラメータ α , β の平均値の推定

人の応答特性を記述するパラメータ α , β の推定を、それらの平均値を求める第一段階と α の分布を求める第二段階に分けて実行する。第一段階の計算は次のような方法をとった。

1) まず、平均値を求めるため、対象とする地域をいくつかのゾーンに分割し、そのゾーンに属する集団ごとに出発地の平均的な位置を求める。

2) 次に、表-2に示した平均速度を用い、その集団の断面Y0, Sの平均通過時刻から平均出発時刻を逆算する。この時、一部に旅行速度を計測していない区間があるが、そこでは最も隣接する区間の速度を用いる。

3) α , β の平均値に適当な初期値 $\alpha_{.1}$, $\beta_{.1}$ を与えたうえ、旅行速度の変動を無視して平均値のみを用いて U_i を計算する。(経路上のどの区間に存在する時も確定的に与えられるので、(3)式は簡単に計算できる。) これを用いて(4)式のTが最小となる時刻を探す。

4) この時刻と2)で求めた出発時刻の推定値との2乗誤差が小さくなるように $\alpha_{.1}$, $\beta_{.1}$ を逐次修正していく。2乗誤差が最小となる $\alpha_{.1}$, $\beta_{.1}$ を、 $\alpha_{.}$, $\beta_{.}$ の推定値とする。

図-5の棒グラフは断面Y0, Sの通過時刻の観測結果を上記集団ごとに表わしたものである。(図中の折れ線については後述する。)

旅行速度の単位をm/min. にとって推定された $\alpha_{.}$, $\beta_{.}$ は、 $\alpha_{.}=4000$, $\beta_{.}=1.4$ であった。この値によれば、旅行速度40km/hで1分走行するときの付加的非効用はVTCに換算して0.45分、つまり出発時刻を

26秒早めることの非効用に等しい。また、22km/hで1分の走行は約1分出発時刻を早めることに等しい非効用を付加することになる。この値は α_{s1} 、 β_{s1}

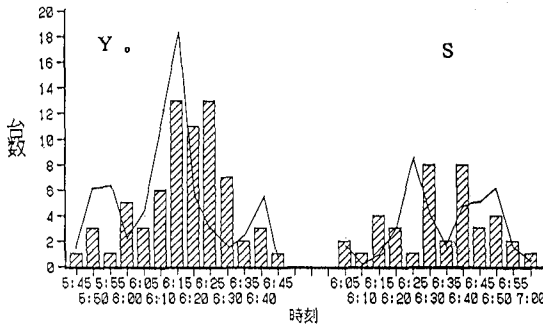


図-5 通勤者の路側観測点通過時刻

の広い範囲をスイープして求めたものであるが、実はほとんど同じ程度の2乗誤差を与える点がある線上に並ぶ。いわば、 α_s 、 β_s は前記の非効用の大きさを保存するような関数関係を満たささえすればかなり自由に選べるものであったことを注記しておく。

b) 旅行時間と通過時刻の分布の計算

まず、(14)、(16)式に示した計算方法の妥当性を検討してみる。旅行速度の分布関数として対数正規分布を仮定する。対数正規分布は、それに従う確率変数の逆数の分布が再び対数正規分布になり（速度分布から旅行時間分布を作成するのに便利）、さらに対数変換によって容易に正規分布に変換できるので、計算機での関数発生が容易である。対数正規分布は、二つのパラメータを μ_L 、 σ_L として次のように表わされる。

$$q_v(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_L v} e^{-\frac{(\ln v - \mu_L)^2}{2\sigma_L^2}}$$

このパラメータと v の平均値 μ_v 、標準偏差 σ_v の間には、

$$\mu_v = e^{\mu_L + (\sigma_L^2/2)}$$

$$\sigma_v = e^{\mu_L} (e^{2\sigma_L^2} - e^{\sigma_L^2})$$

の関係があり、旅行速度の時間的変化から容易に対数正規分布のパラメータが求められる。対数正規分布を用いて、断面 Y_0 から断面 S までの区間をとって、断面 Y_0 の通過時刻の観測結果から断面 S の通過時刻が計算可能である。

c) α の分布の推定

(11)式を数値的に計算するために次のような方法をとる。まず、 t 軸、 α 軸を適当な区間に分割し、その代表座標点を $\{t_i\}$ 、 $\{\alpha_j\}$ とする。(12)式中の t_d は、(6)式の α に値を与えるつど決定されるので、(12)式に α_j を代入することにより、任意の t_i について、

$$K(t_i, \alpha_j) = \Sigma \int_X \phi_{t,rx}(t_i - t_s(\alpha_j) | x_0, t_s) \cdot g_{x_0}(x_0) dx_0 \\ \equiv K_{ij}$$

を与えることができる。この K_{ij} を用いて(11)式を離散的に表現すれば、次のようになる。

$$\{\phi_{t,px}(t_i)\} = [K_{ij}] \{F_j\} \quad \dots (17)$$

ここに、 $F_j = \phi_{\alpha}(\alpha_j) \Delta \alpha_j$ である。 $\Delta \alpha_j$ は数値積分のための重みで、 $\Delta \alpha_j = \sqrt{\alpha_j \alpha_{j+1}} - \sqrt{\alpha_j \alpha_{j-1}}$ のように与えればよい。(12)式に現われる $\phi_{t,rx}(t_i - t_s | x_0, t_s)$ は時刻 t_s に地点 x_0 を出発した場合の地点 x の通過時刻の分布にはかならないので、実際には(14)、(16)式によって計算することになる。本論文の場合、二つの観測断面を用いるので、(17)式にかわり、

$$\left\{ \frac{\phi_{t,px}(t_i)_s}{\phi_{t,px}(t_i)_{Y_0}} \right\} = \left[\frac{[K_{ij}]_s}{[K_{ij}]_{Y_0}} \right] \{F_j\} \quad \dots (17')$$

を用いることになる。上式のサフィックス、 s, Y_0 はそれぞれ観測断面 S, Y_0 に関するものであることを示す。

ところで、(17')式は連立方程式であるが、これに観測結果を代入して機械的に解くと、 $\phi_{t,px}(t_i)$ が観測に伴うランダム誤差を含むため、確率として F_j に課される制約、 $F_j \geq 0$ 、 $\Sigma F_j = 1$ を満たすことが保証されない。そこで最小 χ^2 値法⁹⁾を採用した。これは $\{F_j\}$ にある初期値を与え、(17)式で得られる $\{\phi_{t,px}(t_i)\}$ と観測されたそれとの間の χ^2 値が小さくなるように $\{F_j\}$ を修正し、 χ^2 値が最小となった $\{F_j\}$ をもって近似解とする方法である。 χ^2 値の区分成分 χ^2_i は次のように計算する。

$$\chi^2_i = (F_i - F_{i0})^2 / F_{i0} \quad \dots (18)$$

ここに、 F_i ：観測された区間 i の区間確率、 F_{i0} ：同じく計算された区間確率であり、 $F_{i0} = N \cdot \phi_{t,px}(t_i) \Delta t_i$ と与えられる。 N はサンプル数、 Δt_i は t 軸の分割区間の幅である。本論文では、 t_i は両方の観測断面とも5分ごととし、 α_j は{630, 1000, 1590, 2510, 3980, 6310, 10000, 12600}とした。

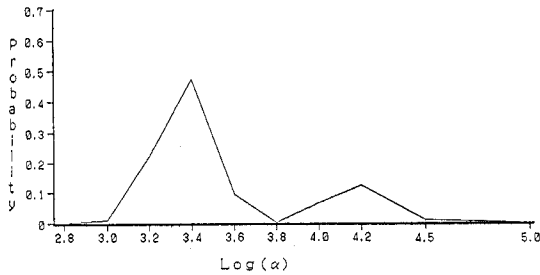


図-6 α の分布

こうして求めた α の分布を図-6 に示す。その結果、自動車通勤者は、早く出発するグループと遅く出発するグループとにわかれる可能性があることがわかる。また、このとき得られた断面 S および Y_0 の通過時刻の分布を図-5 の折れ線で示してある。観測結果とこの折れ線の適合度は、 χ^2 -S 検定の結果、有意水準 1% であった。

4. 考察

本論文は、ルート上の旅行速度の変動特性を経験的に知った自動車通勤者が、それに応答して出発時刻を決定する行動を取り上げ、通勤者の応答関数として渋滞の非効用関数を定義し、定量化することを試みたものである。渋滞の非効用は、すでに提案した実質消費時間（出発時刻から到着指定時刻までの時間。所要時間とは異なる。）に換算可能、したがって加算可能な量として定義される。

提案したモデルをミクロに行動が観測可能で、かつ渋滞以外の要因の影響が支配的でないと考えられる通勤者集団に適用したところ、比較的妥当な予測が得られることが判明した。

もとより、このモデルは未だ基礎的なもので、将来の改訂の余地は大きい。例えば、行動のばらつきを表わすパラメータ α の分布図（図-6）では第一区分の占める割合が大きく、より細かい分割を採用することが望ましい。（これは観測された旅行速度の時間的な変化率が大きく、 α のより小さな変化のもたらす行動の違いが検出できなかったためである。）さらに、本論文では渋滞の非効用を旅行速度の平均値の関数と定義した。しかし、渋滞に伴う不愉快や運転労力の増大、走行上の危険性などが非効用を構成するとしたら、単なる平均値ではなく渋滞した道

路上で要求される運転操作の程度と頻度を考慮した指標（例えば、加減速操作に結びつく先行車との車間距離と相対速度の関係など）の関数として定義することも考えられる。一方、このモデルは、ODペアとルートに応じて、実質消費時間に渋滞の非効用を加算した全非効用を確率変数として与えることができる。そこで、いくつかのルートについて全非効用を確率論的に比較することにより、ルート選択行動を取り扱うなど、可能性もまた大きいと考えられる。

5. 結論

本論文は、経路上の交通渋滞に応答して自動車通勤者が出発時刻を決定する行動を予測するモデルを作成したものである。提案したモデルを環境条件に留意して選んだ通勤者集団に適用した結果、つぎのような結論を得た。

- 1) モデルは、旅行速度のアンサンブルな平均値の関数として定義した非効用関数を用い、人の行動のばらつきを表現するための確率変数をパラメータとして含んでいる。この非効用関数によって、通勤者の出発時刻の分布が比較的妥当に予測できる。
- 2) 自動車通勤者は、早く出発するグループと遅く出発するグループとにわかれる可能性がある。
- 3) このモデルは、非効用を OD ペアとルートに応じて確率変数として与えるので、ルート選択問題などへの適用の可能性がある。
- 4) 非効用関数は、将来より具体的な運転操作と結びつけた他の指標の関数に置き換えるなどの改善をはかるとともに、道路ネットワークへの適用方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) Alfa, A. S.: A Review of Models for the Temporal Distribution of Peak Traffic Demand. Transpn Res. B 20, pp491-499, 1986.
- 2) Ben-Akiva, M. M. Cyna and A. De Palma: Dynamic Model of Peak Period Congestion, Transpn Res. A 18, pp339-355, 1984.
- 3) Ben-Akiva, M., A. De Palma and P. Kanaroglou: Dynamic Model of Peak Period Traffic Congestion with Elastic Arrival Rate, Transpn Sci., 20 (2), pp164-181, 1986.

- 4) Hendrickson, C. and E. Plank: The Flexibility of Departure Times for Work Trips, Transpn Res. A 18, pp25-36, 1984.
- 5) Mahmassani, H. S. and G. L. Chang: Experiments with Departure Time Choice Dynamics of Urban Commuters, Transpn Res., B 20, pp297-320, 1986.
- 6) 桑原雅夫, 松本嘉司, 島崎敏一, 家田 仁: 単一核都市内通勤トリップのボトルネックへの到着分布の推定, 土木学会論文集, No. 377/VI-6, 1987.
- 7) 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, pp177-183, 1983.
- 8) 角 知憲, 村尾光弘, 宮木康幸, 松本嘉司: 実質消費時間を用いる通勤駅勢圏の推定, 土木学会論文集, No. 347, VI-1, pp135-144, 1984.
- 9) 角 知憲, 宮木康幸, 村尾光弘, 松本嘉司: 任意の運行特性を持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, pp95-104, 1984.
-