

空港アクセス交通の一般化出発時刻と 交通行動の経験依存性

GENERALIZED DEPARTURE TIME AND DEPENDENCE OF BEHAVIOR ON PERSONAL EXPERIENCE IN AIRPORT ACCESS TRAVELLING

角 知憲*・木村邦久**・島崎敏一***・松本嘉司****

By Tomonori SUMI, Kunihisa KIMURA, Toshikazu SHIMAZAKI and Yoshiji MATSUMOTO

Generalized Departure Time (GDT) is a response function of travellers who are appointed the place and time for arrival to the operational characteristics of transit systems. This paper describes an attempt to apply the concept of GDT to the airport access travelling. Human behavioral property in non-daily travelling depends on the amount of the information on the dispersion of travel time and therefore it depends on the personal experience of travel. This paper also presents the method to take account for the individual difference caused from the difference of frequency of travel experience.

1. はじめに

人の交通行動を支配する要因には、交通サービスなど人の外部要因と並んで、その人の属性がある。本論文は空港アクセス交通を対象として、人の属性の1つである交通経験の頻度が、交通行動に与える影響を表現する方法を求めようとしたものである。

目的地と到着時刻を指定された旅客が出発時刻を決定する行動を一般化出発時刻という概念を用いて表現することは、すでに提案した^{1)~4)}。一般化出発時刻とは、任意の地点を任意の交通手段で出発する人の出発時刻を、目的地における遅刻確率で表わしたもので、確率的に変動する所要時間を入力とし、確率的に変動する出発時刻を出力とする旅客というシステムの応答関数である。この概念は、入力の変化とシステムの特性とが独立であるという条件のもとで、集団としての応答の不確定性を応答特性の確率的変動として表わしたもので、人の性質の

個人差と場合差とは区別されていない。しかし、集団の個人差に関する構成が変化することが予想される場合には、個人差を応答特性からくり出すことが必要となる。このような個人差の1つが、前記の交通経験である。

ところで、所要時間の変動特性は、もし十分な観測が行われれば客観的な数値で与え得る性質のものであり、通勤交通のように日々反復される交通では旅客は十分の確かな情報を有していると考えてよい。しかし、非日常的な交通では、公共交通機関の運行時刻表を除いて旅客は自らの判断に基づいて行動し、その判断は交通の反復経験の程度に依存すると考えられる。本論文では、一般化出発時刻という概念に併用して、このような経験頻度に対する依存性を表現するため、経験頻度に応じた想定速度あるいは想定所要時間という概念を用い、これを定量的に求めようとするものである。

2. 一般化出発時刻¹⁾

旅客は、指定された到着時刻（以下、到着指定時刻とよぶ。）に遅刻することにより、交通目的の全部もしくは部分的な不達成というペナルティーを被る。このペナルティーが著しく大きい場合、旅客はペナルティーの期待値を受忍限度以下にとどめ、かつ交通のために割く時間を最小にしようとするものと考えれば、出発時刻は受

* 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 新潟県土木部道路建設課

(〒951 新潟市学校町通一番町 602)

*** 正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科

(〒113 文京区本郷 7-3-1)

**** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科 (同上)

忍限度そのものを表わす。この受忍限度を遅刻確率で表わしたものが、一般化出発時刻である。したがって、それは交通の動因によって異なることがあり得る。

いま、ある人にとって目的地に至る所要時間が確率的に与えられているとする。図-1に示すように、横軸に時間 t 、縦軸に遅刻確率 α をとり、 $t=0$ を到着指定時刻とする。任意の出発時刻 t について、それに対応する α が計算できる。

$$\begin{aligned} \alpha &= \int_0^\infty \phi_{ta}(\tau | l, t) d\tau \\ &= \int_0^\infty \phi_{tn}(\tau - t | l) d\tau \\ &= \int_{-t}^\infty \phi_{tn}(\tau | l) d\tau \equiv \Phi_\alpha(t, l) \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

ここに、 t_a ：目的地到着時刻、 t_n ：所要時間、 l ：トリップ距離、 $\phi_{ta}(\tau | l, t)$ ： 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 と略記する。）、 $\phi_{tn}(t | l)$ ： l を条件とする t_n の PDF、である。なお、 l はトリップ距離であると同時に、出発地と目的地の組合せを意味するとみなすことにする。

式 (1) は、 t から α への変数変換を意味していると考えられる。それは、すなわち、時間軸に遅刻確率という尺度の目盛りをつけることである。この目盛りを用いれば、所要時間の変動特性が異なるすべての OD ペアについて、出発時刻を一律に評価できるので、 α 軸を一般化時間軸とよぶことにする。 α 軸上で選ばれた出発時刻 α_s が一般化出発時刻である。

α_s は、個人差と場合差とを含んで変動するので、その PDF を $f_{\alpha_s}(\alpha)$ と書くことにすると、実際の出発時刻は $f_{\alpha_s}(\alpha)$ を式 (1) の逆変換により t 軸へ投影することにより、次のように得られる。

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

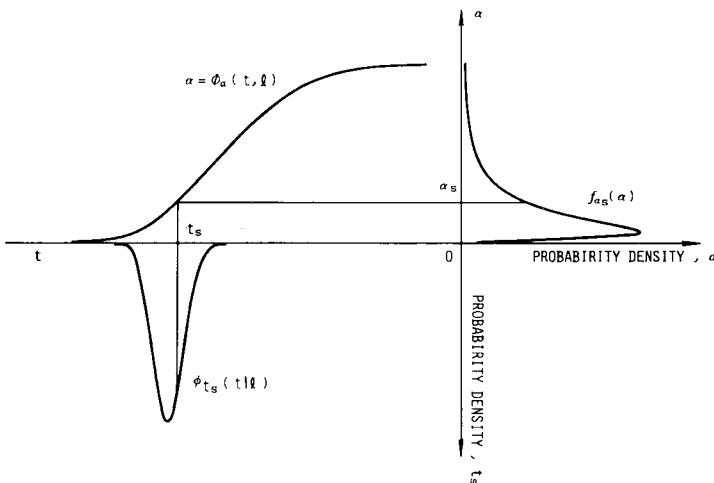


図-1 一般化出発時刻と実出発時刻

ここに、 t_s ：出発時刻、 $\phi_{ts}(t | l)$ ： l を条件とする t_s の PDF、である。

$f_{\alpha_s}(\alpha)$ は次のようにして推定できる。

いま、 t_s が式 (2) で与えられるとすると、交通経路上のある点 x に到達する時刻 t_{ax} は、 $t_{ax} = t_s + t_{nx}$ で与えられるので、その PDF、 $\phi_{tax}(t | l)$ は、

$$\phi_{tax}(t | l) = \int_{-\infty}^\infty \phi_{tnx}(t - \tau | l) \phi_{ts}(\tau | l) d\tau \dots \dots \dots (3)$$

となる。ここに、 t_{nx} ：出発地から地点 x までの所要時間、 $\phi_{tnx}(\tau | l)$ ： t_{nx} の PDF、である。

地点 x を経由して交通を行うすべての旅客の集団について、OD 分布を $g_i(l)$ で表わせば、その集団全体の地点 x の通過時刻の分布が、次の PDF で与えられる。

$$\phi_{taxo}(t) = \int_0^{l_{max}} \phi_{tax}(t | l) g_i(l) dl \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 l_{max} は、OD ペア中のトリップ距離の上限を表わしている。

式 (4) に、式 (2)、(3) を代入すると次式を得る。

$$\phi_{taxo}(t) = \int_0^{l_{max}} \int_0^1 \phi_{tnx}(t - \tau | l) f_{\alpha_s}(\alpha) d\alpha g_i(l) dl \dots (5)$$

α と l は独立であるとして積分の順序を交換すれば、次の積分方程式が得られる。

$$\phi_{taxo}(t) = \int_0^1 K(\alpha, t) f_{\alpha_s}(\alpha) d\alpha \dots \dots \dots (6)$$

$$K(\alpha, t) = \int_0^{l_{max}} \phi_{tnx}(t - \tau | l) g_i(l) dl \dots \dots \dots (7)$$

ただし、ここに $\tau = \Phi_\alpha^{-1}(\alpha, l)$ の関係がある。

式 (6)、(7) に $\phi_{taxo}(t)$ 、 $g_i(l)$ 、 $\phi_{tnx}(t | l)$ の観測結果を代入すれば、 $f_{\alpha_s}(\alpha)$ を求めることができる。

このとき、これらの観測結果が偶然誤差を伴うものであるため、両式を連立方程式に帰着させる方法が使えず、逐次近似による近似解を求めることが必要になる^{1),2)}。

3. 交通行動の経験依存性

旅客は、それまでに行ったその種の交通の経験が少なく、所要時間の変動特性について自らの有する情報が少なければ少ないだけ、その不確実性を大きめに評価して、出発時刻を早める傾向にあると考えられる。この行動を次のように取り扱うことにする。

旅客は、基本的には、交通の動因に固有な一般化出発時刻に従って行動するものとする。このとき、所要時間の変動特性については主観的な判断を下し、ある確率分布を想定して、これに対して応答する。

いま、経験の程度でクラス分けされた、ある集団に属する旅客を考える。その旅客の想定した所要時間を \tilde{t}_n 、その PDF を $\tilde{\phi}_{t_n}(\tau|l, N)$ 、それに基づいて決定された出発時刻を \tilde{t}_s 、その PDF を $\tilde{\phi}_{t_s}(\tau|l, N)$ とする。ここに、 N は前記のクラスを意味している。

式 (1) の $\phi_{t_n}(\tau|l)$ に代わり、 $\tilde{\phi}_{t_n}(\tau|l, N)$ を用いれば次式が得られる。

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha} &= \int_0^{\infty} \tilde{\phi}_{t_s}(\tau|l, N) d\tau \\ &= \int_{-\tilde{t}_n}^{\infty} \tilde{\phi}_{t_n}(\tau|l, N) d\tau \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

ここに、 $\tilde{\phi}_{t_s}(\tau|l, N)$ は、想定到着時刻 \tilde{t}_a の PDF である。

交通の動因に固有な一般化出発時刻の分布 $f_{\alpha_s}(\alpha)$ が与えられていれば、この旅客の出発時刻は、 α 軸の代わりに $\tilde{\alpha}$ 軸を用いることにより

$$\tilde{\phi}_{t_s}(t|l, N) = f_{\alpha_s}(\tilde{\alpha}) \left| \frac{d\tilde{\alpha}}{dt} \right| \dots\dots\dots (9)$$

と求められる。

$\tilde{\phi}_{t_n}(\tau|l, N)$ は次のようにして推定できる。

旅客の想定にかかわらず、実際の所要時間は客観的に測定可能な PDF を有する。そこで、経路上の任意の地点 x に旅客が到達する時刻 \tilde{t}_{ax} の PDF、 $\tilde{\phi}_{t_{ax}}(t|l, N)$ は、

$$\tilde{\phi}_{t_{ax}}(t|l, N) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{t_{ax}}(t-\tau|l) \tilde{\phi}_{t_s}(\tau|l, N) d\tau \dots\dots\dots (10)$$

と得られる。したがって、式 (5) の代わりに、

$$\begin{aligned} \tilde{\phi}_{t_{axo}}(t|N) &= \int_0^{t_{max}} \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{t_{ax}}(t-\tau|l) f_{\alpha_s}(\tilde{\alpha}) \left| \frac{d\tilde{\alpha}}{d\tau} \right| \\ &\quad \cdot d\tau g(l|N) dl \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

となる。ここに、 $g_l(l|N)$ は、クラス N に属する旅客のうち、 x を通る経路を有する人のトリップ距離の分布であり、 l_{max} は、その上限である。

さて、式 (8) を t で微分すると、

$$\frac{d\tilde{\alpha}}{dt} = \tilde{\phi}_{t_n}(-t|l, N) \dots\dots\dots (12)$$

である。これを式 (11) に代入すれば、 $\tilde{\phi}_{t_n}(\tau|l, N)$ に関する積分方程式を作成することができ、 $\tilde{\phi}_{t_{axo}}(t|N)$ 、 $\phi_{t_{ax}}(t|l)$ 、 $g_l(l|N)$ に観測により得られたデータを代入し、さらに別途、十分な経験と情報量を有する旅客集団に式 (6)、(7) を適用して得られる $f_{\alpha_s}(\alpha)$ を用いれば、解を求めることができる。もちろん、この解は $f_{\alpha_s}(\alpha)$ を推定するための方法と同様に、 χ^2 値最小化法などによる近似的な数値解となる。

特に、旅客が自動車などの個人交通機関のみ

を用いて交通を行う場合には、 $\tilde{\phi}_{t_n}(t|l, N)$ は、次のように、想定された速度 \bar{v} の PDF、 $\bar{q}_v(v|N)$ に還元することができる。

$$\tilde{\phi}_{t_n}(t|l, N) = \frac{l}{\bar{v}^2} \bar{q}_v(l/t|N) \dots\dots\dots (13)$$

4. 空港アクセス交通への適用

(1) 空港アクセス交通の観測と調査

航空機に搭乗するため空港へ向かう旅客は、搭乗手続きの締め切り時刻という制約のもとで行動し、かつ、遅刻することにより大きなペナルティーを被ることから、一般化出発時刻という概念が適用可能であると考えられる。

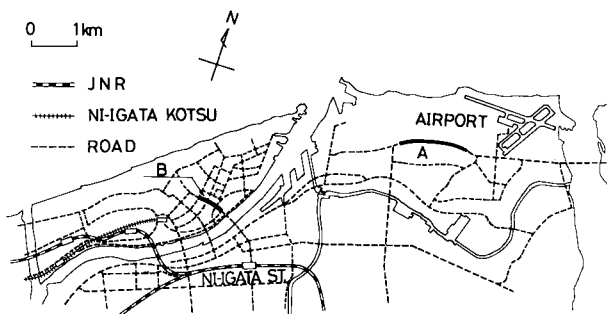
さらに、非日常的交通であって旅客の旅行経験が相当分散し、旅行経験の程度の相違の与える影響が議論の対象となる余地がある。そこで、本論文では、新潟空港へアクセスする航空機旅客を取り上げてみる。

新潟空港は、国鉄新潟駅から約 9 km の距離にあってバスサービスが行われているが、旅客は自家用車、タクシーを利用してアクセスする者が多数を占める。これらの点を含めて、地方空港として特異な点はない。

図—2 に、新潟市と同空港の位置の概略を示す。

同空港および新潟市内において行った観測・調査は次のとおりである。

- ① 旅客の出発地、アクセス手段および経路、空港利用頻度についての質問調査



図—2 新潟市・新潟空港と道路網の概略

表—1 新潟空港の利用状況 (昭和 58 年 5 月)

発時刻	9:45	10:20	12:40	14:05	15:20	15:20	16:10	17:05	18:05	計
月日	9:45	10:20	12:40	14:05	15:20	15:20	16:10	17:05	18:05	
目的地	大阪	福岡	札幌	東京	仙台	大阪	名古屋	大阪	東京	
5/23	個人客 53	37	178	30	24	71	102	53	21	569
	団体客	欠 測								—
5/24	個人客 61	27	74	22	13	92	75	20	45	429
	団体客 0	0	15	0	31	71	47	39	0	203
5/25	個人客 54	30	73	23	33	97	96	32	23	461
	団体客 10	6	15	0	0	62	82	27	0	202
5/26	個人客 35	10	93	21	39	111	80	21	30	440
	団体客 29	0	85	0	0	16	98	39	0	267

- ② 旅客のターミナルビルへの到着時刻の観測
- ③ 市内の代表的道路区間における自動車の区間速度の観測

上記①, ②については, 旅客の到着時刻を調査員が記録するとともに, チェックインカウンター付近に滞留中の旅客に口頭で質問する方法をとった. 調査を行った昭和58年5月23日(月)~26日(木)の間の運行各便の利用状況および回答状況の概略を表一1, 2に示す.

送迎客を含む個人旅客1899人中, 質問に回答したものは1436人, その9割以上が自動車・タクシーを用いていた. このうち, 新潟市内から自動車・タクシーを用いて到着し, 10時20分発福岡行き以降の各便に搭乗した旅客で, 完備した回答が得られた者は458人であった. これらが, 本論文における考察の対象である. 個人旅客の回答状況は表一2に示してある.

なお, 後述するように, 9時45分発大阪行きでは, アクセス交通が新潟市の通勤時間帯内に含まれ, 道路交通の条件が他の便と異なるので, 取り扱わないことにした.

交通経験の質問の方法としては, 「最近5年間で, 平均して月何回ぐらい」, 「年何回ぐらい」, あるいは, 「不定期だが計何回ぐらい」という形式での回答を求めた. これは, 本論文では経験の程度を所要時間の不確定性に関する個人的な情報量の指標として扱うことから考えて, 絶対的な利用回数ではなく, 利用頻度で表わす方が適当であると判断したためである.

この回答に基づき, 利用頻度を年平均利用回数 N で表わし, 各クラスに属するサンプル数を考慮しながら, $N=0$ (初めて), $0 < N \leq 2$, $2 < N \leq 6$, $6 < N \leq 12$ および $N > 12$ の5クラスに分けてみた.

表一3は, 各クラスごとのサンプル数, およびアクセス距離(出発地から空港までの道路距離)の平均値と標準偏差を示したものである. また, アクセス距離を500mきざみの分布として表わしたものを図一3に示す.

表一2 回答状況 (個人旅客のみ)

調査日	5/23	5/24	5/25	5/26	計	
有効回答	新潟市内搭乗者	85	218	189	203	695
	新潟市外搭乗者	33	76	76	45	230
無効回答	回答不備	78	120	104	145	467
	送迎者	12	10	12	10	44

表一3 アクセス距離の調査結果

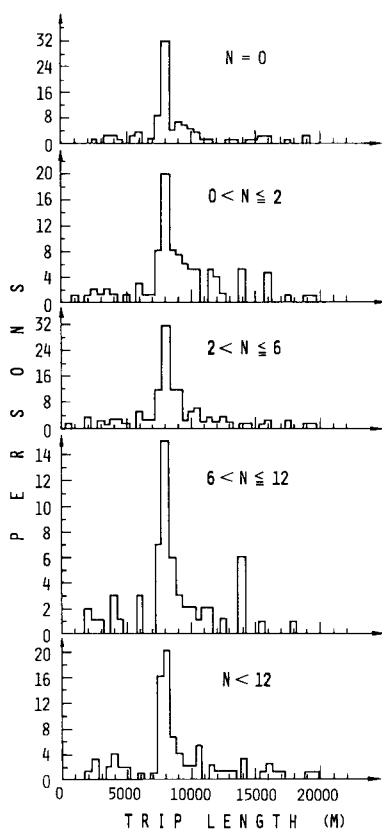
経験頻度	サンプル数	平均距離	標準偏差
$N = 0$	87	9.13km	3.17km
$0 < N \leq 2$	136	8.80	3.30
$2 < N \leq 6$	87	9.35	3.54
$6 < N \leq 12$	60	8.92	3.45
$12 < N$	88	9.03	3.69

これらの図表によれば, アクセス距離の分布には N による有意な差はなく, 新潟市の人口集中地区に対応して, 7~9 km のところに, はっきりしたピークがあることがわかる.

図一4は, 同様にクラスごとに示したターミナルビルへの到着時刻である. 旅客のチェックイン手続きが, 搭乗便出発予定時刻の20分前までと指定されているので, この時刻を時間軸の原点にとってある. 旅客の到着時刻のピークが, N が大きくなるにつれ, よりはっきりと, より遅い時刻に現われるようになる傾向があることがわかる.

アクセスのための自動車の区間速度は, 都心・空港間の主要道路である国道325号線および都心部の代表的な区間を1区間ずつ選び, 5月26日(木)および27日(金)の両日に測定した. 測定区間は, 図一1に破線で示した道路網のうち, 特に実線で記入された部分(A, B)である.

このうち, 区間A(国道325号)の区間長は1426m, 区間Bのそれは486mであった. 車両番号照合法で得た測定結果の概要を表一4に示す. なお, 両日とも天候は良好であった.



図一3 アクセストリップ距離の分布

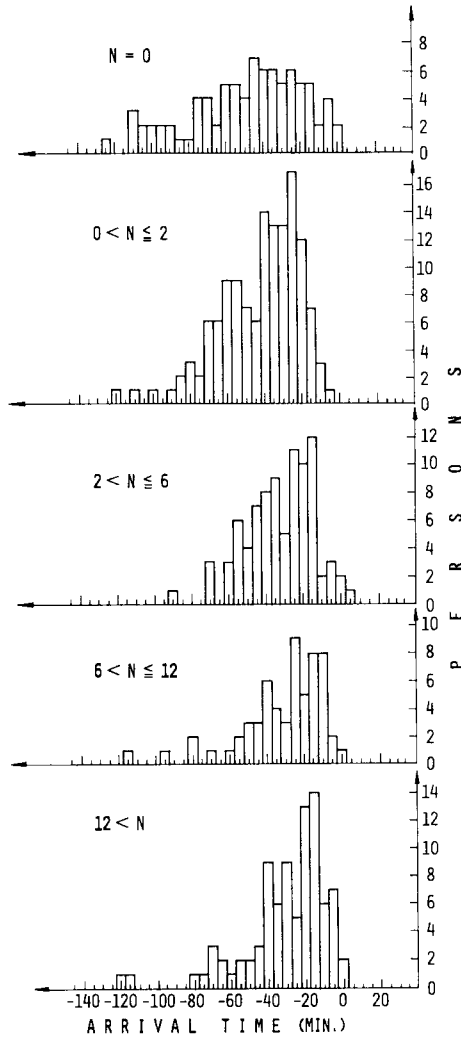


図-4 空港到着時刻の分布

表-4 自転車区間速度の計測結果

測定区間	測定区間	測定台数	平均速度	標準偏差
国道325号 (A)	① 9:30~10:30	328台	8.70m/s	2.76m/s
	② 12:30~13:10	137	8.99	2.88
都心部 (B)	③ 8:00~9:00	198	5.26	3.12
	④ 13:00~14:00	204	8.71	2.98
計 (①+②+④)		669	8.77	2.89

測定結果によれば、通勤のピーク時間帯に重なる区間Bの8時~9時の区間速度が、他の場合に比べて小さく、変動もやや大きいほかは、平均速度、標準偏差ともに著しい差がないことがわかる。これらは、図-5に示されるように、いずれも対数正規分布でよく近似できる。図-5は、横軸に計測された区間走行速度 v (m/s) の対数を取り、縦軸に累積頻度をとったもので、記入した直線が対数正規分布を表わしている。そこで、本論文では、都心部の通勤時間帯にアクセスを行う旅客（前述の9時45分発大阪行きの搭乗客である。）を除外し、他の旅客に対しては、図-5のおおのこの測定結果を測定台数で加重平均した速度を一律に与えることにした。その平均速度、標準偏差は表-4中に示したとおり、それぞれ8.77 m/s、2.89 m/sであり、これを対数正規分布で近似すれば次のようになる。

$$q_v(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_v v} \exp[-(\ln v - \mu_v)^2 / 2\sigma_v^2] \dots\dots\dots (14)$$

ここに、 $\mu_v = 2.120$ 、 $\sigma_v = 0.3210$ である。

式(14)を式(13)に用いれば、所要時間のPDFが求められる。

(2) 一般化出発時刻の推定

式(14)で与えられる速度と図-3に与えられるアクセス距離を用い、式(6)、(7)の地点 x を空港にとって図-4の到着時刻を使用すれば、 $f_{\alpha_s}(a)$ を推定するこ

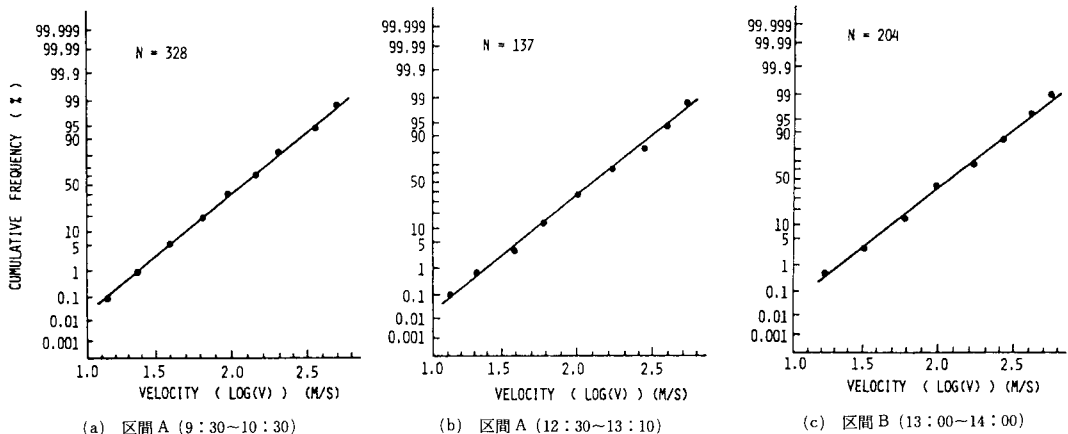


図-5 自転車区間速度の累積分布

とができる。推定手順の詳細はすでに公表しており^{1),2)}、かつ煩雑であるので、ここでは繰り返さないが、大略のみに述べると次のとおりである。

① 変数 t, α の適当な代表座標点 $\{t_i\}, \{\alpha_j\}$ を与え、各座標点における $\phi_{t_{i_0}}(t_i), f_{\alpha_j}(\alpha_j), K(t_i, \alpha_j)$ の値をそれぞれ $\{p_i\}, \{f_j\}, [K_{ij}]$ とする。さらに、 $\{f_j\}$ 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(6)は次のように表わせる。

$$\{P_i\} = [K_{ij}] \{F_j\} \dots \dots \dots (15)$$

② 区間確率ベクトル $\{F_j\}$ には、 $\sum F_j = 1, F_j \geq 0$ という制約が課されるが、 $\{P_i\}$ の観測値がランダム変動を含むために、式(15)を連立方程式として解くと、この制約を満たすことができない。そこで、 $\{F_j\}$ に適当な初期値を代入して $\{P_i\}$ を計算し、観測結果と照合して、両者の適合度を最良とするよう逐次 $\{F_j\}$ を修正する。適合度を χ^2 値で表わすので、この方法を最小 χ^2 値法とよぶ。

③ $\{F_j\}$ の修正によって適合度がそれ以上改善されなくなった場合、その $\{F_j\}$ を $f_{\alpha_j}(\alpha_j) \cdot \Delta\alpha_j$ の近似解とする。経験頻度が十分大きい旅客に、この方法を適用すれば、空港アクセス交通の一般化出発時刻が推定できる。

図-4 によれば、経験頻度 $6 < N \leq 12$ のクラスと $N > 12$ のクラスの旅客の到着時刻分布は互いによく似ているので、両者をひとまとめにして、 $f_{\alpha_j}(\alpha)$ を推定することにした。使用した代表座標点を表-5 に示す。 $\{\alpha_j\}$ は、対数軸上で等間隔になるような15点、 $\{t_i\}$ は、-82.5分から+7.5分まで、5分間隔の19点である。 $\Delta\alpha_j$ は、

$$\Delta\alpha_j = \sqrt{\alpha_{j+1}\alpha_j} - \sqrt{\alpha_j\alpha_{j-1}}$$

で決定される。

図-6 は、前記の方法により結果的に計算された旅客

表-5 代表座標点

t_i (分)	α_j
-82.5	3.059×10^{-7}
-77.5	8.315×10^{-7}
-72.5	2.260×10^{-6}
-67.5	6.144×10^{-6}
-62.5	1.670×10^{-5}
-57.5	4.540×10^{-5}
-52.5	1.234×10^{-4}
-47.5	3.355×10^{-4}
-42.5	9.119×10^{-4}
-37.5	2.479×10^{-3}
-32.5	6.738×10^{-3}
-27.5	1.832×10^{-2}
-22.5	4.979×10^{-2}
-17.5	1.353×10^{-1}
-12.5	3.679×10^{-1}
- 7.5	
- 2.5	
+ 2.5	
+ 7.5	

の到着時刻分布を、実際に観測された $N > 6$ のクラスの旅客の到着時刻分布と比べたものである。両者はきわめてよく一致していて、妥当な推定結果が得られたことがわかる。

図-7の実線は、推定された $f_{\alpha_j}(\alpha)$ を横軸に $\ln\alpha$ 、縦軸に累積頻度をとって表わしたものである。また、同図中の破線は、後の利用の便のため、これをさらに解析的表現で近似したものである。数値的に得られた一般化出発時刻の平均値は0.35%、標準偏差は3.01%であり、その近似関数(図-7の破線)は次のように与えられる。

$$f_{\alpha_j}^2(\alpha) = Af_{\alpha_j}^1(\alpha) + Bf_{\alpha_j}^2(\alpha) \dots \dots \dots (16)$$

ここに、 $f_{\alpha_j}^2(\alpha)$ は $f_{\alpha_j}^1(\alpha)$ の近似関数であり、右辺各項が次のように与えられる。

$$A=0.6, B=0.4,$$

$$f_{\alpha_j}^1(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_1 \alpha} \exp[-(\ln\alpha - \mu_1)^2 / 2\sigma_1^2]$$

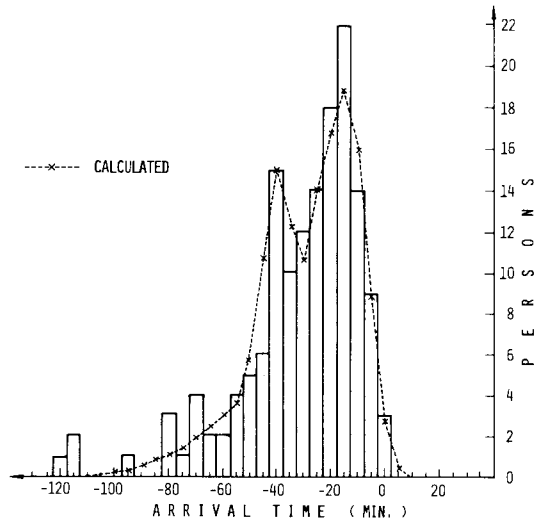


図-6 旅客の到着時刻分布 ($N > 6$)

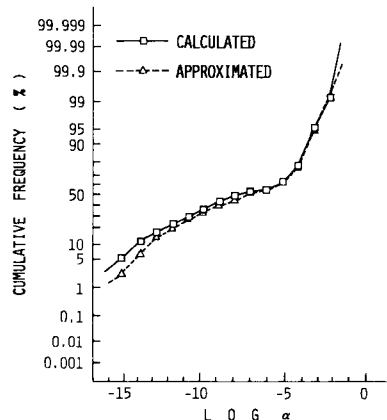


図-7 一般化出発時刻の推定結果

$$f_{\alpha_s}^2(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_2 \alpha} \exp[-(\ln \alpha - \mu_2)/2\sigma_2^2]$$

$\mu_1 = -9.97, \sigma_1 = 3.66, \mu_2 = -3.26, \sigma_2 = 0.750$

(3) 想定速度の推定

経験頻度のクラスごとに与えられる想定速度の分布を推定するためには、まず式(11)を用いて想定所要時間の分布 $\tilde{\phi}_{t_n}(\tau|l, N)$ を推定しなければならないが、そのために要する計算量は、 $f_{\alpha_s}(\alpha)$ の推定に比べて相当増加する。それは、最小 χ^2 値法を用いて $\tilde{\phi}_{t_n}(\tau|l, N)$ を修正する都度、式(8)で与えられる $\bar{\alpha}$ と t の対応関係を計算し直さなければならないからである。

ところで、図-3をみれば、旅客のアクセス距離は著しく集中する傾向があり、それは7750m~8750mの範囲であることがわかる。いま、この範囲の旅客のみを取り扱うこととして、アクセス距離の相違を無視し、その中央値8250mと与えることにすると、想定所要時間の推定は比較的容易に行うことができる。

アクセス距離がこの範囲に含まれる旅客のみの到着時刻の分布(これは図-4の到着時刻分布に含まれている)を $\tilde{\phi}'_{t_n}(t|l_0, N)$ とすると式(13), (14)を用いて所要時間が与えられるので、次式に最小 χ^2 値法を適用して、その旅客の出発時刻がただちに推定できる。ここに l_0 は、上記のアクセス距離であり、 $\tilde{\phi}'_{t_n}(\tau|l_0, N)$ は出発時刻のPDFである。

$$\tilde{\phi}'_{t_n}(t|l_0, N) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{t_n}(t-\tau|l_0) \tilde{\phi}'_{t_n}(\tau|l_0, N) d\tau \dots (17)$$

いま、式(2)を t で積分し、 $\phi_{t_n}(t|l)$ の代わりに $\tilde{\phi}'_{t_n}(t|l_0, N)$ 、 α の代わりに $\bar{\alpha}$ を用いれば、任意の t と $\bar{\alpha}$ の間には次の関係が与えられる。

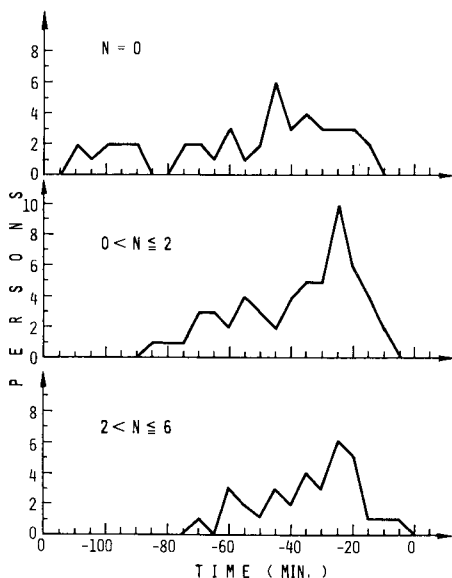


図-8 アクセス距離7750~8750mの旅客の到着時刻

$$\int_{-\infty}^t \tilde{\phi}'_{t_n}(\tau|l_0, N) d\tau = \int_0^{\bar{\alpha}} f_{\alpha_s}(\alpha) d\alpha \dots (18)$$

式(18)によって t と $\bar{\alpha}$ の変換関係が与えられるので、この関係を式(12)に代入すれば、想定所要時間の分布 $\tilde{\phi}'_{t_n}(t|l_0, N)$ が求められる。 $\tilde{\phi}'_{t_n}(t|l_0, N)$ は、式(13)によって、さらに想定速度に変換できる。

そこで、本論文では、この方法によって想定速度を推定したうえで、同じ想定速度を経験頻度クラスが同じでアクセス距離が異なる他の旅客にも一律に適用して空港到着時刻を計算し、観測結果と比較してみることにした。

図-8は、旅客のうち、アクセス距離が7750~8750mの範囲のもの154人の到着時刻を取り出して示したものである。

図-9は、式(17)に最小 χ^2 値法を適用した結果得られた旅客の出発時刻の推定結果であり、図-10は、式(18)および(13)より得られた想定所要時間の分布である。

図-10に示される推定結果の妥当性を検討するため、これをさらに想定速度に変換し、対数正規分布で近似したうえで、図-3に示したアクセス距離の分布全体(458人)にこれを用いて、改めて空港到着時刻を計算した。結果を、実測結果と比較して、図-11に示す。図中、破線で示したものが計算結果である。計算結果と観測結果の適合度の指標として、単純に χ^2 値を用いた適合度検定の有意水準をとることにすると、経験頻度クラス、 $N=0, 0 < N \leq 2, 2 < N \leq 6$ のそれぞれについて、14%, 9%, 87%の程度であり、一応満足できる水準であるといえ

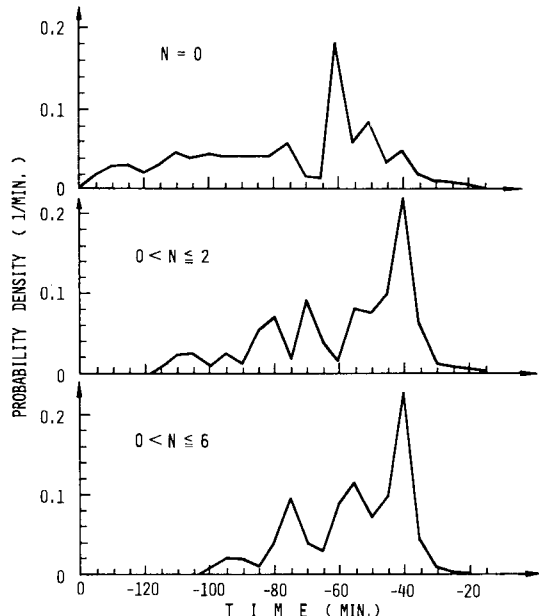


図-9 経験頻度別出発時刻の推定結果

る。

ところで、このとき用いられた想定速度の平均値と標準偏差を経験頻度のクラスごとに示すと表一六のとおりである。各クラスごとに、利用頻度のクラス内平均を求めると、それぞれ $N=0$, $N=1.08$, $N=4.10$, および $N=24.7$ であったので、この値を横軸にとり、上記想

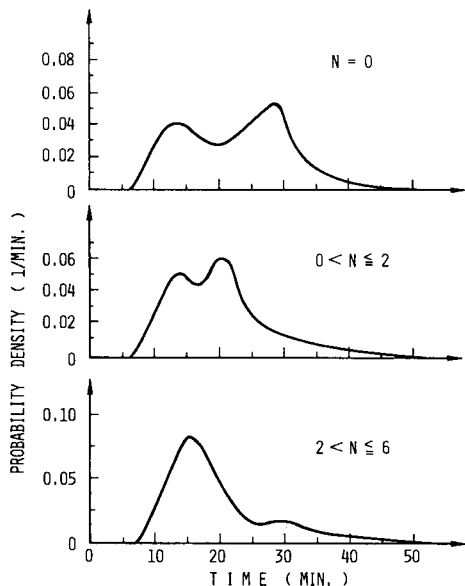
定速度の平均値、標準偏差と $N > 6$ のクラスに対して用いた客観的観測に基づく速度のそれとの比を縦軸として、経験頻度とともに想定速度が変化するように示したのが図一十二である。

図中に示した実線は、想定速度の平均値 μ 、標準偏差 σ を N の関数で与えたもので、次式で示される。

$$\mu = 8.77 - \exp(0.276 - 0.691 N) \dots\dots\dots (19)$$

$$\sigma = 2.88 - \exp(-1.70 - 0.370 N) \dots\dots\dots (20)$$

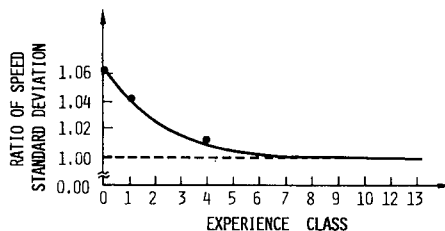
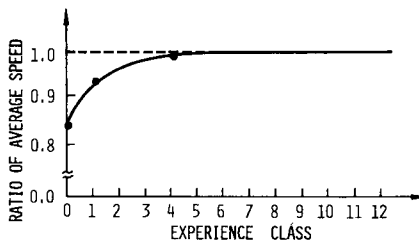
式 (16) に示す一般化出発時刻および式 (19), (20) に示す想定速度を用いて、すべての旅客の到着時刻を計算し、観測結果と比較したものを図一十三に示す。計算結果は実際の到着時刻分布ときわめてよく一致してい



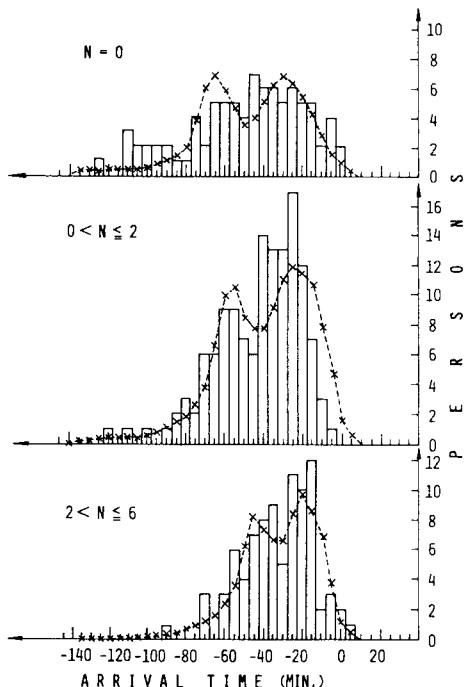
図一十 想定所要時間の分布の推定結果

表一六 経験頻度別想定速度

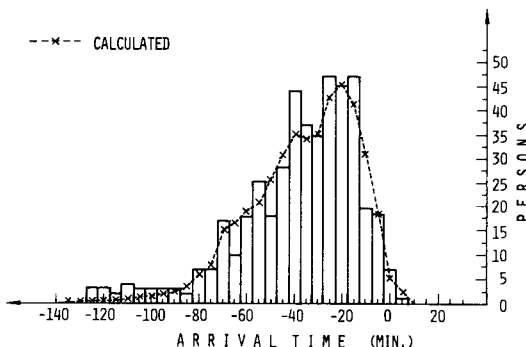
経験頻度	平均速度	標準偏差
$N = 0$	7.34m/s	3.06m/s
$0 < N \leq 2$	8.21	3.00
$2 < N \leq 6$	8.69	2.93
$6 < N$	8.77	2.89



図一十二 経験頻度による想定速度の変化



図一十一 旅客到着時刻の推定結果と観測結果



図一十三 経験頻度の全クラスの旅客の到着時刻分布

る。

5. 考 察

すでに提案した一般化出発時刻という概念も本論文で提案した想定速度も、人間というシステムの応答特性を表現するための仮想の概念、すなわち構成概念である⁵⁾。

構成概念は、あらかじめその形式が与えられるのではなく、入力と応答とを的確に結びつけるものであれば、必要に応じて適宜設定すればよい。

いま問題としているのは、与えられた所要時間の変動に対して、人間が出発時刻を決定する行動である。条件によってさまざまな所要時間の変動特性に対する人の応答を遅刻確率で表わすことは、きわめてすっきりとした方法であって、計算上の取り扱いも比較的容易である。

ところが、空港アクセス交通のように、所要時間の不確定性に応じて、人が出発時刻を早める程度が大きくなると、遅刻確率という表現のみでは不十分な点が生じてくる。それは、出発時刻の早め方としては十数分とか数十分の程度ではあっても、遅刻確率で表わすと桁違いに小さな数値、いうなれば、「天文学的数字」という表現と逆の意味で、「原子物理学的」とでもいうべき数字を取り扱わなければならない領域が現われてくることである。このような領域では、所要時間の確率変動それ自体の観測が的確には行えないであろう。

さらに、もし、一般化出発時刻のみを用いて、経験の程度に応じて数値的に異なった一般化出発時刻を与えることにすると、遅刻のもたらすペナルティーの受忍限度という一般化出発時刻の意味を失わせることになる。そこで本論文では、交通の動因に固有な一般化出発時刻と、経験頻度に応じて異なる想定速度という概念を用いたものである。これにより、経験の少ない者ほど出発時刻を早めに決定し、かつ、その変動も大きいという現象を、一応表現することができる。

人間というシステムの応答関数の推定のためには、注目する要因をその他の要因の影響からくり出し、その要因を変化させて（これを操作とよぶ。）応答の変化と対比する必要がある⁶⁾など。本論文で試みたことは、交通手段のサービス特性という外部要因の操作ではなく、経験頻度という旅客の属性に関する操作である。属性は外部的な観測が困難で、その操作も容易でないことが多い。

したがって、本論文で得た結果にも、今後さらに検討し、修正を加える余地が少なくない。それらは次の諸点である。

① 出発時刻の統制のあり方

本論文では、旅客が遅刻を避けようとする一方で、出発時刻をできるだけ遅らせようとするを仮定している。しかし、航空旅客の多くは、その日1日を旅行のた

めに割り当て、他の活動をあらかじめ停止していると考えられる。その場合、遅刻を避けることは当然としても、出発時刻を遅くすることに対する欲求は、ずっと小さくなる可能性がある。式(16)に示された $f_{a_s}(\alpha)$ の近似式が、互いに異なる2つの部分分布に分離しているようにみえるのは、このような事情のためであるかもしれない。

② 所要時間のPDFの測定

道路交通の所要時間は、軌道システムのそれより不確実性が大きいのが、その中には、渋滞や事故の発生など、短時間の測定では把握できないものもある。本論文で述べた区間速度の観測と、それに基づく所要時間の推定が十分なものであるか否か、軌道システム利用者の行動と対比するうえで、問題になる可能性がある。

③ 想定速度の分化

図—10によれば、ある経験頻度のクラスの想定速度を、経験頻度の十分大きいクラスのそれと一致する部分集団と、それより小さい想定速度の部分集団に分けて考える可能性がある。実際、 $N=0$ のクラスについて、前者の集団を全体の45%、残りの集団の想定速度の平均4.97 m/s、標準偏差1.05 m/sとすれば、同図にみられる2つのピークをよく表現できる。現在のところ、検証のためのデータが十分でなく、想定速度を単一の対数正規分布で与えても特に問題がないが、将来、データが蓄積されれば、検討の余地を生ずるのである。

いずれにせよ、前述の諸点は、軌道システム利用者の行動との比較、あるいは実質消費時間に基づく選択行動の考察を進める中で、明らかになってゆくものである。

6. 結 論

本論文は、空港へ自動車を利用してアクセスする旅客の行動に、一般化出発時刻という概念を適用し、それに基づいて、アクセス行動の経験依存性を考察したものである。本論文によって得られた結論は次のとおりである。

(1) 航空機利用経験の頻度が、年間6回以上の旅客の行動に対し、一般化出発時刻の数値的表現が得られた。

(2) 経験頻度が小さいほど、旅客が時間的余裕を見込んで行動する傾向が強まる。これを、所要時間の主観的割り増し、もしくは交通速度の割り引きとみなし、想定所要時間、想定速度という概念を構成することにより、よく表現することができる。

(3) 一般化出発時刻、想定速度の数値的表現には、いまだ検討の余地があるが、これは今後、軌道システム利用者の行動との比較、あるいは選択行動の考察の過程で明らかになると考えられる。

謝 辞：本論文に示した調査・観測に際して、長岡技術科学大学建設系 松本昌二助教授、同大学大学院学

生諸氏，運輸省航空局 越智信夫技官（当時・運輸経済研究センター調査役），および新潟空港の関係各位には，さまざまのご助言，ご支援を受けた。また，本論文の作成にあたり九州大学工学部 壇 和喜技官には多大なご協力を得た。深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 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，pp. 177～183，1983.
- 2) 角 知憲・宮本康幸・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，pp. 95～104，1984.

- 3) 角 知憲・白川賢志・出口近上・沼田 實：公共交通機関を利用する通勤者の行動特性の地域間比較の試み，九州大学工学集報，Vol. 58，No. 4，pp. 485～492，1985.
- 4) 角 知憲・村尾光弘・宮本康幸・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/IV-1，pp. 135～144，1984.
- 5) 梅津八三ほか編：心理学事典，平凡社，p. 202，1957.
- 6) H. B. アッシャー（広瀬弘忠訳）：因果分析法，朝倉書店，p. 7，1980.

(1985. 5. 16・受付)