

自動車を用いるリクリエーション交通の時間的分布に与える渋滞の効果

EFFECT OF TRAFFIC CONGESTION ON TEMPORAL DISTRIBUTION OF RECREATIONAL TRIPS BY PRIVATE CARS

一ノ瀬 修*・角 知憲**・相川 明***

By Osamu ICHINOSE, Tomonori SUMI, Akira AIKAWA

This paper describes an attempt to find a model to predict temporal distributions of one-day recreational travels by private cars responding to traffic congestion. The model assumes disutility due to traffic congestion as a function of reciprocal of travel speed. The model was applied to car users to a National Government Park in Fukuoka. It was revealed that the model provided reasonable distributions of leaving times.

Keywords: recreational travel, temporal distribution, private cars, traffic congestion.

1. はじめに

リクリエーション交通では、旅客が目的地や、そこに到着する時刻、滞在する時間、あるいは交通を行なうか否かをも自由に決定できるにもかかわらず、季節的な集中あるいは週末への集中と並んで、1日のうちの特定の時間帯に旅客が集中し^{1), 2), 3)}、交通施設をはじめとするサービス施設の計画、運営に問題を生じることがあるのは周知のとおりである。このようなリクリエーション交通の時間的集中現象を取り扱うためのモデルをすでに提案し、自家用車を利用するリクリエーション旅客の行動、さらにそ

れを拡張して公共交通機関を利用する旅客の行動を記述できることは報告した^{4), 5)}。モデルは旅客は滞在時間を大きくしたいという動機と、出発時刻は遅く、帰宅時刻は早くしたいという動機とのトレードオフ関係に基づいて行動を決定するものと考えた。しかし、自動車を利用する旅客は帰路の交通渋滞が帰宅時刻を早くするという動機よりも支配的であると仮定した。自動車利用の旅客の行動モデルおよび公共交通機関利用の旅客の行動モデルはともに、従来の研究により再現することは可能になった。

そこで本論文では、自動車利用の旅客に帰宅時刻が遅いことの非効用を適用し、これと実際に観測された行動とを比較することによって、渋滞の非効用を交通速度と関係づけて定量化しようとするものである。

2. 公共交通機関を利用する旅客の

入園・退園行動のモデル化

(1) 非効用の仮定^{4), 5)}

リクリエーション交通の場合は、人の得る効用は

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

目的地に滞在する時間の長さで表わすことができるが、いま目的地に十分な時間だけ滞在した場合に人が得る満足を単位とし、滞在時間が十分とれないための満足の損失分を非効用として取り扱うことにすれば、上記の仮定は非効用最小化の仮定に置き換えることができる。この場合考慮すべき主な非効用には次のようなものが挙げられる。

- D_1 : 自宅を出発する時刻が早いための非効用
- D_2 : 往路の交通抵抗
- D_3 : 目的地滞在時間が短いための非効用
- D_4 : 復路の交通抵抗
- D_5 : 帰宅時刻が遅いための非効用

ある人の目的地と交通手段が与えられれば、非効用を最小にするために決定可能な変数は、自宅の出発時刻と滞在時間（復路の出発時刻）の2つである。上記の5つの非効用の中には、外部的な条件によってはこの2つの変数に無関係なものがあり得る。公共交通機関を利用する旅客の行動モデルは、上記の非効用のうち D_2 と D_4 を括り出したものである⁵⁾。このとき、限界効用逓減の法則と観測された人の行動を考慮しながら、次のような効用関数を用いた。

1) 出発時刻の非効用 (D_1)

出発が早いほど非効用は大きいと考えられるため、 t_d を往路の出発時刻、 b 、 γ を正のパラメータとして、次のような指数関数を仮定した。

$$D_1(t_d) = b e^{-\gamma t_d} \quad \dots(1)$$

2) 滞在時間が短いための非効用 (D_3)

滞在時間 t_s が十分に長い時の効用を1として、滞在の

効用 U を、 $U(t_s) = 1 - e^{-\alpha t_s}$ とする。ここに、 t_s は滞在時間、 α は正のパラメータである。したがって非効用 D_3 は次式となる。

$$D_3(t_s) = e^{-\alpha t_s} \quad \dots(2)$$

3) 帰宅時刻の非効用 (D_5)

帰宅時刻が遅いほど非効用は増大すると考えられるので、 t_h を帰宅時刻、 a 、 β を正のパラメータとして、次の指数関数を仮定する。

$$D_5(t_h) = a e^{\beta t_h} \quad \dots(3)$$

(2) 行動モデル

本論文では、目的地への到着時刻（以下、入園時刻と呼び、 t_{in} で表わす。）を条件として復路の出発時刻（以下、退園時刻と呼び、 t_o で表わす。）を決定する段階と、その段階での行動様式を考慮しながら往路の出発時刻を決定する段階とに分けて、人の決定行動を取り扱う。

まず、入園時刻を条件とする退園時刻の決定問題において、考慮すべき非効用 D_3 、 D_5 は加算可能なものとする。図-1は、横軸を退園時刻にとり、 D_3 、 D_5 、および t_{in} を条件として t_o の関数となる両者の和 $D_{35}(t_o | t_{in})$ を示している。ここで D_5 は、どんな退園時刻 t_o を選ぼうとも、帰宅時刻は t_o 以後最初に運行される公共交通機関の運行時刻 t_1^k によって決まる離散的な値をとることから、図のように階段状になることを注意しておく。ここに、上添字 k は公共交通機関の第 k 便であることを表わす。

$D_{35}(t_o | t_{in})$ は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} D_{35}(t_o | t_{in}) &= D_3 + D_5 \\ &= e^{-\alpha(t_o - t_{in})} + a e^{\beta(t_1^k + t_{in})} \\ &\quad (t_1^{k-1} < t_o \leq t_1^k) \quad \dots(4) \end{aligned}$$

ここに t_n は乗車後帰宅までの所要時間である。図から明らかなように、区間 $(t_1^{k-1} < t_o \leq t_1^k)$ では $t_o = t_1^k$ が最小の非効用 $D_{35}(t_1^k | t_{in})$ を与える。したがって、退園時刻 t_{om} はすべての運行便のうち D_{35} を最小とする便の発車時刻 t_1^{km} として次式から得られる。

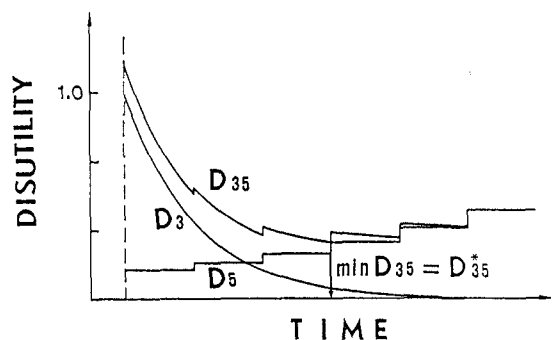


図-1 非効用と退園時刻決定

$$t_{om} = t_1^{km} \quad \dots(5)$$

$$D_{35}(t_1^{km} | t_{in}) = \min_k (D_{35}(t_1^k | t_{in})) \quad \dots(6)$$

結果的に、(5)式は退園時刻をパラメータ a , α , β および入園時刻 t_{in} と所要時間 t_n の関数として与える。この関数を次のように表わしておく。

$$t_{om} = f_1(a, \alpha, \beta, t_{in}, t_n) \quad \dots(6')$$

次に、(6')式を所与として自宅を出発する時刻を決定する行動を考える。出発時刻 t_d は連続的に変えることができるが、公共交通機関の運行時刻は離散的であるので、入園時刻もそれに対応して離散的に与えられる。図-2の第一象限は横軸を t_d 、縦軸を t_{in} としてこの関係を表したものである。出発時刻 t_d によって乗車できる最も早い便、第 n 便を用いた時の到着時刻が t_a^n である。また、第四象限は横軸 t_d に対して非効用 D_1 を表わしている。一方、第二象限は縦軸 t_{in} に対して、パラメータ a , α , β が与えられた場合の D_{35} の最小値、 $D_{35m}(t_{in}) = D_{35}(t_1^{km} | t_{in})$ を横軸にとって、(6')式を示している。

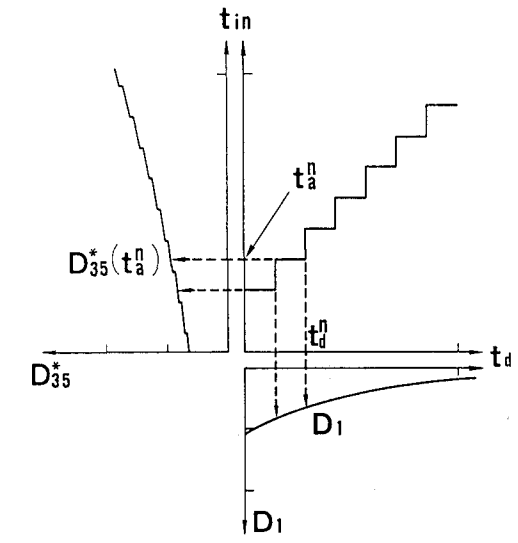


図-2 全非効用と入園時刻決定

全非効用が D_1 と $D_{35}^*(t_{in})$ の和 D_{135} で与えられるものとすれば、次式が得られる。

$$D_{135}(t_d) = b e^{-\gamma t_d} + D_{35}^*(t_a^n) \quad \dots(7)$$

乗車駅 s における公共交通機関の第 n 便の発車時刻を t_g^n 、出発地から乗車駅までの所要時間（アクセス時間）を t_{ao} とする。(7)式において、 $t_g^{n-1} < t_d + t_{ao} \leq t_g^n$ となる範囲では、いつ出発しようとも到着時刻は同じであるから、 $t_d + t_{ao} = t_g^n$ が最小の D_1 を与えることは明らかである。この時の非効用の値は、図中の矢印で示される二点の値の和で与えられる。旅客の最適な出発時刻 t_{dm} は、(7)式に $t_d = t_g^n - t_{ao}$, ($n=1, 2, 3, \dots$) において得られる出発時刻 t_d^n のうち、非効用 $D_{135}(t_d^n)$ を最小とする t_{dm} である。すなわち、その運行便の発車時刻を t_g^{nm} とすると、

$$t_{dm} = t_g^{nm} - t_{ao} \quad \dots(8)$$

$$D_{135}^*(t_{dm}) = \min_n (D_{135}(t_g^n - t_{ao}))$$

である。結果的に、(8)式は出発時刻をパラメータ a , α , β , γ および乗車駅 s とアクセス時間 t_{ao} の関数として与える。この関数を次式で表わしておく。

$$t_{dm} = f_2(a, \alpha, \beta, \gamma, s, t_{ao}) \quad \dots(8')$$

人の行動にみられる個人差・場合差を式(1), (1)の、 $\alpha=1$ と仮定したうえ、 β, γ の変動で表わすことにし、次章で述べる海浜公園の旅客の行動を説明するよう

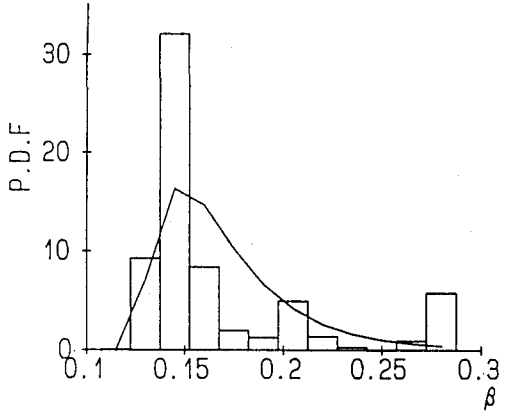


図-3 β の分布

にパラメータ推定を行ったところ、以下のような β の分布および γ の分布が得られている。 β の分布を図-7の棒グラフで示す。さらに、対数正規分布で

近似してみた。同図中の実線がこの対数正規分布である。

この対数正規分布は次式で与えられる⁵⁾。

$$\phi_{\beta}(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1\beta} \exp\left[-\frac{(\ln(\beta - \beta_0) - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] \quad \dots(9)$$

ここに、 $\beta_0 = 0.1075$, $\mu_1 = -3.027$, $\sigma_1 = 0.587$ である。

γ の分布を図-9の棒グラフで示す。これをベータ分布で近似してみた。図-9中の実線がこのベータ分布を表わす。このベータ分布は次式で与えられる⁵⁾。

$$\phi_{\gamma}(\gamma) = \frac{1}{(0.36)^{p+q-1} B(p, q)} (\gamma - 0.07)^{p-1} (0.43 - \gamma)^{q-1} \quad (0.07 < \gamma < 0.43) \quad \dots(10)$$

ここに、 $p = 6.712$, $q = 3.612$, $B(p, q)$ はベータ関数である。この γ の分布は、自動車旅客に対して別個に計算されたものと大差がない^{4), 5)}。

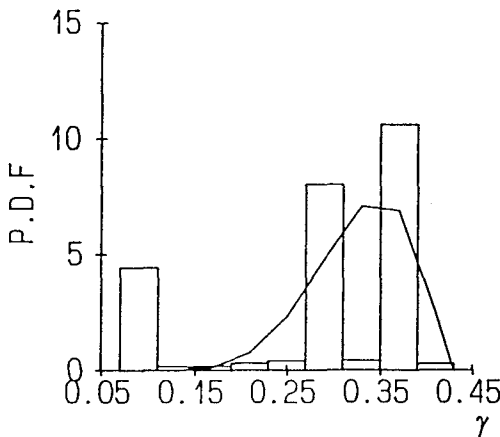


図-4 γ の分布

3. 退園時刻決定行動に基づく

渋滞の非効用の定量化

まず、前章で述べた公共交通機関を利用する旅客

の行動モデルを用いて自家用車を利用する旅客の退園時刻決定行動を取り扱う。

考慮すべき非効用は、 D_3, D_5 であり、これらは、交通渋滞に関わらないので公共交通機関利用者と自動車利用者と共通と考えることができる、これらの非効用は前と同様に図-5に示すように加算可能なものとし、両者の和 D_{35} は、以下のように与えられる。

$$D_{35} = D_3 + D_5 \quad \dots(11)$$

$$D_{35}(t_o | t_{in}) = D_3 + D_5 = \exp\{-\alpha(t_o - t_{in})\} + a \exp\{\beta(t_o + t_{in})\} \quad \dots(12)$$

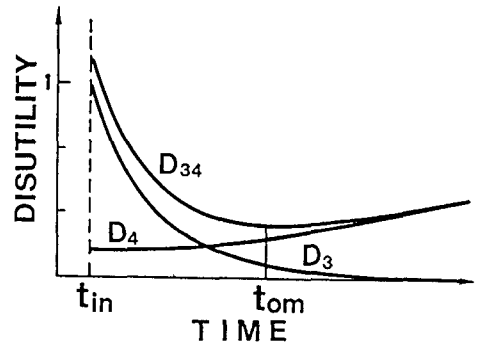


図-5 非効用と退園時刻決定

したがって、 D_{35} を最小とする退園時刻 t_{om} は、次式から得られる。

$$\left. \frac{dD_{35}}{dt_o} \right|_{t_o=t_{om}} = -\alpha \exp\{-\alpha(t_o - t_{in})\} + a\beta \exp\{\beta(t_o + t_{in})\} = 0 \quad \dots(13)$$

いま、(13)式を t_{om} について解くと次式が得られる。

$$t_{om} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} t_{in} - \frac{\beta}{\alpha + \beta} t_{in} - \frac{\ln(a\beta/\alpha)}{\alpha + \beta} \quad \dots(14)$$

ここに t_{in} は退園後帰宅までの所要時間である。そこで、この所要時間に渋滞による時間の延長を加えてやればよい。この渋滞による時間のロス退園時刻の関数として、 $f(t_o)$ とおく。前述の非効用 D_5 は次

のとおりである

$$D_5 = a \exp \{ \beta (t_0 + t_n + f(t_0)) \} \quad \dots (15)$$

さらに、人が渋滞の不愉快自体にตอบสนองすることを考慮するため、速度低下の関数としてもう一つの非効用 D_6 を仮定する。 D_6 は、速度 V で単位距離走行することの非効用である。これを(16)式で与える。

$$D_6 = cL \left(\frac{1}{V} \right)^\delta \quad \dots (16)$$

ただし、
 c, δ : 定数, L : 公園-測点2間の距離

非効用 D_6 は、前に示した非効用 D_3, D_5 と同様に、加算可能なものとし、これらの和 D_{356} は、(12)式、(15)式、(16)式より以下のように与えられる。

$$D_{356} = \exp \{ -\alpha (t_0 - t_n) \} + a \exp \{ \beta (t_0 + t_n + f(t_0)) \} + cL(1/V)^\delta \quad \dots (17)$$

よって、 D_{356} を最小とする退園時刻 t_{om} は、次式から得られる。

$$\left. \frac{dD_{356}}{dt_0} \right|_{t_0=t_{om}} = 0 \quad \dots (18)$$

なお、(18)式は超越代数方程式であり、この解はレギュラ・ファルシ法により求めた。

4. 広域公園への適用

(1) 利用データおよび道路交通状況

本論文では図-6 に示す福岡市の郊外の海の中道海浜公園の利用者を対象とした。データは建設省が昭和61年10月19日(日)に実施したアンケート調査資料もとに、自家用車で来園し、かつその他の場所に寄り道せず帰宅する334人から得たものである。図-7、図-8 に調査から得たこれら入園者の入園時刻分布および所要時間(往路)の分布を示す。

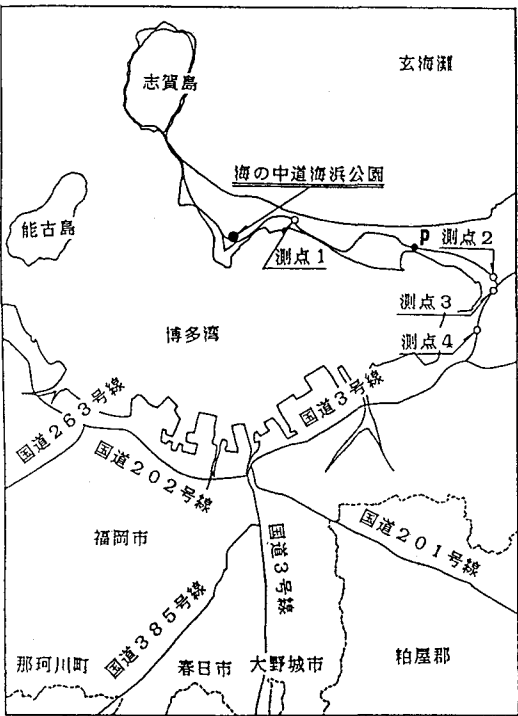


図-6 海の中道海浜公園周辺図

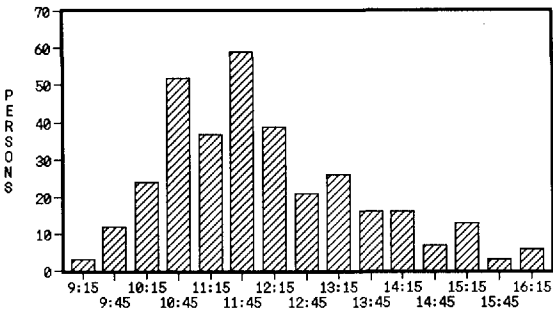


図-7 入園時刻分布

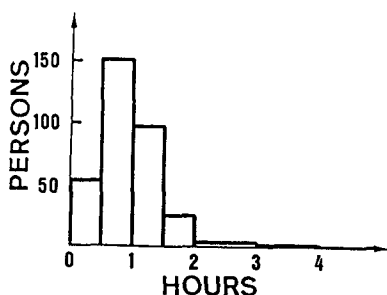


図-8 所要時間の分布

図-9 に昭和61年11月2日(日)に測定した海の中道海浜公園へ至る道路の交通状態を示す。調査の都合で別の日となったが、この日もアンケート実施日と同じく秋の週末の行楽日で、交通の状態も大差ないと考えられる。図は、測点1-2間(白丸)、測点3-4間(黒丸)で求めた測点間通過平均速度の変化を示している。午後、すなわちイグレス方向は15時すぎから、図-6中の地点P付近を起点とするバンパー・トゥ・バンパーの渋滞が発生し、渋滞列が海浜公園まで延びようになる。この速度変化

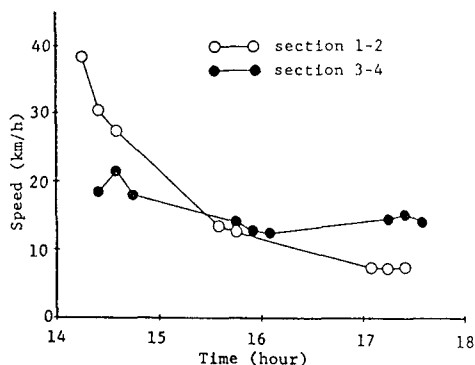


図-9 測点間平均速度(復路)

を退園時刻の関数形で近似してみる。

$$V = \frac{t_0 - 13}{40} \quad \dots (17)$$

これを用いると、問題の区間の距離8kmをVで割って、渋滞による遅れは次のように表わされる。

$$f(t_0) = \frac{8(t_0 - 13)}{40} - 0.2 \quad \dots (18)$$

ここで、定数0.2は渋滞しない場合の走行時間である。

(2) 数値計算

図-3の β の分布を用いて計算される退園時刻分布を測定されたそれと比較したのが、図-10である。図-10の□印は昭和61年秋の観測値、+印は往路と同じ所要時間を用いて得られた計算値、◇印は図-5の地図上の帰路の渋滞による所要時間の延長を考慮して得られた計算値である。観測された退園時刻

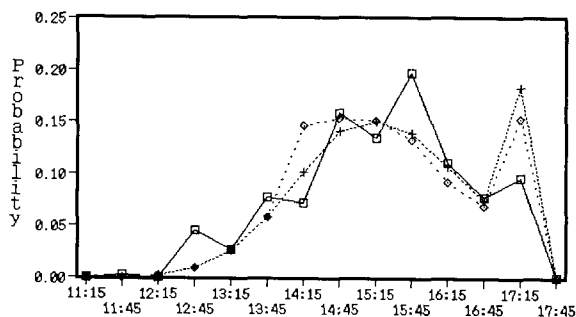


図-10 退園時刻分布(その1)

刻分布と比較して、渋滞に対する人の応答がどの程度かを検討してみると、退園が遅い領域で、差が大きいことがわかる。この差が渋滞の非効用の効果である。

さらに、式(16)の渋滞の非効用を取り入れて、得られた計算値が図-11であり、△印で示す。なお、式(16)のパラメータ $\delta = 4.2$ 、 $c = 18$ を与えた。

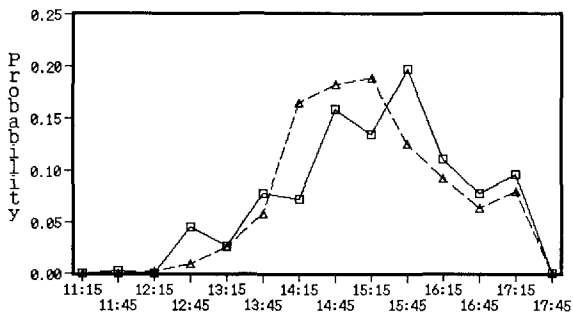


図-11 退園時刻分布 (その2)

4. 考察

明らかに、自動車旅客は帰宅時刻だけを考慮して退園時刻を決定する場合より早く退園しているといえる。渋滞の非効用を取り入れることによってよく説明することができた。

海の中道海浜公園では、交通渋滞はボトルネックで発生するものが最も支配的だから本論文ではそれだけを考慮した。しかし、いくつかの区間で渋滞が起こる場合には、各々の区間の D_0 を加算すればよい。だが、支配的な区間以外、例えば都心の渋滞を全く考慮していないとはいえないから、求めたパラメータ自体は後日再検討の余地があるものである。

5. 結論

本論文は、自家用車を用いるレクリエーション旅客の退園時刻決定行動に渋滞の影響を考慮する方法を示し、合わせて、その効果を定量化しようとした

ものである。本論文から次のように言うことができる。

①公共交通機関を利用する旅客の行動モデルを自家用車を利用する旅客に適用することによって、自家用車を利用する旅客の退園時刻決定行動は、渋滞によるところが大きいといえる。

②提案したモデルは自家用車を利用する旅客の退園時刻の決定行動をうまく説明できた。

③非効用には走行速度 V の逆数の関数を与えた。ただし、数値的な結果は再検討の余地がある

謝 辞：本研究にあたり、建設省九州地方建設局海の中道海浜公園工事事務所の関係者の方々には、データの収集を快く御許可いただき、親切なご援助をいただいた。ここに記して深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 鈴木忠義：Recreation Area における人々の集合離散に関する研究(I)，造園雑誌20巻2号，1956。
- 2) 鈴木忠義：Recreation Area における人々の集合離散に関する研究(II)，造園雑誌22巻2号，1958。
- 3) 鈴木忠義：Recreation Area における人々の集合離散に関する研究(III)，造園雑誌24巻4号，1961。
- 4) 角 知憲・北岡大記・出口近士・一ノ瀬修：時間的拘束を受けない日帰り交通の行動モデルの作成とそのレクリエーション交通への適用，土木学会論文集，投稿中。
- 5) 角 知憲・今和泉和人・出口近士・相川 明：公共交通機関を用いるレクリエーション交通の時間的分布の予測モデル，土木学会論文集，投稿中。