

歩行路における歩行者挙動に関する研究

PEDESTRIAN MOVEMENTS ON FOOTWAYS

毛利正光*・塚口博司**

By Masamitsu MŌRI and Hiroshi TSUKAGUCHI

1. ま え が き

都市交通に対する多様な要求に応えるためには、基幹となる交通手段に対する計画ばかりでなく、よりきめ細かな計画をも立案することが必要であり、歩行者に関する交通計画の重要性も高まっている。歩行者交通は公共交通に付随した端末徒歩や乗り換え時の徒歩、および主として居住地での交通手段である徒歩を含んでいて、歩行者交通としてまとまったシステムをもつことが必要である。また、そのシステムが都市全体の総合交通システムの一環として位置付けられなければならない。

しかし、歩行者交通は非常に柔軟性に富んでおり、歩行者はかなりの悪環境にも適応してきたので、交通事故等のように、その柔軟性をもってしても適応できないものを除くと、交通計画において充分な配慮が払われていなかったと考えられる。

このようなことを反映して、歩行者交通、特に歩行者流動に関する研究は欧米ではかなり行われているものの、わが国においては、建築物に付随した問題として扱われた通路幅の諸元を決定するための研究等を除くと、あまり行われていない状態である。しかしながら、歩行者交通が柔軟性に富んでいるといっても、多くの場合、歩行者が我慢するという形で、矛盾が吸収されてきたにすぎないように思われる。したがって、歩行者を主体的にとらえた計画を立案するためには、歩行者の諸元にあった設計基準が必要であり、そのためには、歩行者交通に関する特性を広範にかつ詳細に分析していくことがまず必要となってくる。

2. 従来の研究と本研究のねらい

歩行者流動に関する研究は、建築物内の通路や階段についての諸元を決めるという要求から始められ、1937年に木村ら¹⁾の研究がみられる。また、駅構内の設計のための研究^{2)~4)}も長期間続けられている。このように歩行者の流れについての研究は、わが国においても、かなり以前に遡ることができるが、屋外の歩行者を対象としたものはあまり見あたらないようである。もっとも、混合交通における歩行者の影響については早くから取り上げられ⁵⁾、また近年、歩行者重視の立場から、細街路での歩行者の挙動が研究されている⁶⁾。そこで、歩道等における歩行者の挙動についての諸外国の研究について述べると、これらの研究においてよく取り上げられているのは、歩行速度の特性についてであり、それが外的な条件によってどのように変化するかが論じられている。これらはおおむね自動車交通流の考え方を拡張したものであって、歩行者密度との関係について特に詳しく分析されている。

1958年にHankinとWright⁷⁾は歩行速度と歩行者交通量とを実測し、速度と密度、密度と交通量の関係を示している。1968年にはOlder⁸⁾が商店街の歩道でカメラを用いた実測から、速度・密度・交通量の関係を求めている。また、1969年にはNavinとWheeler⁹⁾が大学のキャンパス内で調査を行い、上記の關係の他に通行帯についても述べている。1972年にはO'flahertyとParkinson¹⁰⁾が商店街の歩道において、直接移動に使われていない面積を除いて歩道幅員を修正し、速度と密度等の関係を求めている。このように歩行速度・歩行者密度・歩行者交通量の關係の概略については述べられているが、対象とした歩行者の属性等の問題もあり、必ずしも明確には示されていないようである。また、1963年にはOeding¹¹⁾が、1971年にはFruin¹²⁾が歩行者空間のサービス水準についての研究を行っており、それ以降のサービス水準についての研究^{13), 14)}の基礎となっている。Fruinは歩行速度の変化と、側方から流入する歩行

* 正会員 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科

** 学生会員 工修 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

者が流れを乱さずに横断できる確率等から、歩行路のサービス水準を設定している。

その他の速度特性については、Hoel¹⁵⁾は性別、気温、一日のうちの時間帯による差について、Henderson^{16)~18)}は性別による速度分布形の差等について詳細に述べている。

さて、歩行空間の整備をはかるためには、歩行者流動の特性を十分に考慮した合理的な設計基準を設定することが必要となってくる。その場合、歩行者の流れにおいては交通量が最大となるのは、非常に混雑した状態のときであるから、「どれだけの歩行者が通れるか」といった容量に関する検討だけでなく、「歩きやすさ」といった質的な問題についても検討することが重要である。そこで、歩行者を一括して「流れ」としてとらえる立場と、それぞれの歩行者を「一人一人独立したもの」としてとらえる立場の両方から取り組むのが望ましいと思われる。

このような観点から、本稿では、歩行者の流れを巨視的にとらえて歩行速度・歩行者密度・歩行者交通量の関係について詳細に分析するとともに、微視的にとらえた歩行者の追越し現象や歩行者の到着状態についても分析し、歩行者流動の諸特性について言及した。さらに、それらを総合して、歩行路のサービス水準についても若干の考察を行って、歩行者空間、特に歩道の設計に関する基礎資料とするものである。

3. 歩行者流動の実測調査

(1) 調査の概要

歩道および地下道における歩行者の挙動を明らかにするために、大阪市都心部の6地点(梅田2地点、淀屋橋2地点、本町、天満橋)で通勤時の歩行者を対象として実測調査を実施した。歩道では特に通勤時の歩行者を対象とした場合、歩行者密度が非常に高い状態は局所的にしか生じなかったために、高密度のデータは地下道における測定から取得することにした。調査は昭和50年6月から12月にかけて行い、調査時間帯は出勤時の約1時間とした。調査地点は障害物のない平坦で見通しのよい真直ぐな地点を選定した。幅員は歩道では2.2m、4.35m、4.45m、5.5m、地下道では1.2m、3.5mであった。歩行速度・歩行者密度・歩行者交通量をそれぞれ独自に求め、合わせて追越し現象について解析する必要上から、歩行者の流れを鳥瞰できる位置に設置した8ミリカメラを用いて、毎秒1コマのコマ落とし撮影を行った。ただし、地下道では撮影上の制約から8ミリカメラは使用しにくいので、文献7)で採用されている方

法を用い、現地で歩行者交通量と平均歩行速度を測定した。すなわち、2人の測定者A、Bが測定区間 l の両端に立ち、Aが歩行者の流れによって区間 l を歩く時間を測定する。一方、Bはその間に眼前を通りすぎる人数を測定するというものである。

なお、ここで通勤時の歩行者を対象としたのは、歩行者の挙動は目的によって異なると思われる、流れの特性について考える場合には交通目的を限定すべきであること、および通勤時の挙動には歩くこと以外の目的が少なく、スムーズで安定した流れを解析するのに適していると考えられるからである。

(2) データ処理

a) 歩道で撮影したデータ

各地点で撮影した約1時間分のフィルムから歩行者の流れがほぼ一様であると見せる箇所を1分間分(60コマ)とり、これを1標本とした。歩行者交通量は1分間交通量で表わし、歩行速度の平均値および標準偏差の変動を考慮して、任意抽出した50人の歩行者について20mの測定区間での歩行速度を測定した。なお、対向者が存在しない箇所を選択するようにしたが、広幅員(5.5m)の歩道では一方だけのデータを取得できなかったため、後述する方法で、対象とした向きの歩行者が占有する幅員を決定した。

b) 地下道で撮影したデータ

測定区間 l mを t 秒かかって測定者Aが通行する間に、測定者Bが数えた人数を q 人とし、

$$V=l/t, \quad Q=q \times 60/t$$

として求めたデータを一標本とした。なお、 l は現地の状況によって5~10mとした。

(3) 有効幅員について

対向する歩行者がある場合、それぞれの向きの歩行者が集団化する場合と集団化しない場合とがある。前者は「避過する」、後者は「透過する」と呼ばれている²⁰⁾。「避過する」場合には、それぞれの向きの歩行者によって歩道がどのような割合で分割されているかを示すことができる。歩行者密度が高くなると、ほとんどの場合「避過する」ことが観察されるから、低密度の場合にも「避過する」データだけを採用すれば、次のようにして対向者が存在する場合の占有幅員を決定できる。

全歩道幅員($D=5.5$ m)、対向歩行者が占有する幅員(d [m])、全交通量(Q [人/分])、対向交通量(q [人/分])を用いると、

$$\text{対向歩行者の歩道占有率: } y = d/D$$

$$\text{対向交通量の全交通量に対する比: } x_1 = q/Q$$

となる。 y と x_1 には関数関係があると思われる、それを

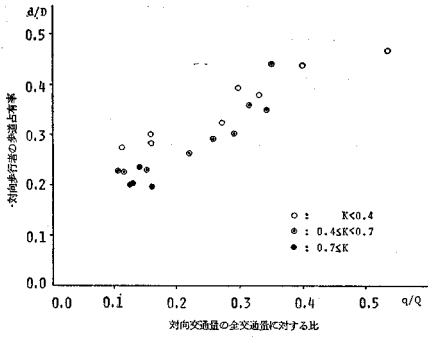


図-1 対向する歩行者の歩道占有率

表-1 相関係数表

重相関係数	偏相関係数	単相関係数
$R_{y,x_1,x_2}=0.959$	$R_{x_1y,x_2}=0.919$	$R_{x_1,y}=0.918$
	$R_{x_2y,x_1}=-0.699$	$R_{x_2,y}=-0.698$
		$R_{x_1,x_2}=-0.498$

示すと 図-1 のようになる。各データを密度をパラメータとして3段階に分けてみると、密度が高くなると y の値が減少する傾向が見られる。そこで、

$$\text{測定区間内の歩行者密度: } x_2 = P/Dl$$

ここで、 l : 測定区間長 (20 m)

P : 区間内に存在する平均歩行者数

も説明変数に加えると、

$$y = 0.551 x_1 - 0.127 x_2 + 0.232 \dots\dots\dots (1)$$

という回帰式が得られ、相関係数は表-1 に示すようになる。この重回帰式の有意性および x_2 を説明変数に加えたことの有意性をそれぞれ F 検定、 t 検定で検定すると、

$$F = 103 > F(2, 18; 0.01) = 6.01$$

$$t = 4.81 > t(18; 0.01) = 2.88$$

のようになり、この回帰式を使用してもよいと考えられる。そこで式 (1) を用いて占有幅員を求め、4章以下の分析に使用した。この結果、5.5 m の歩道の占有幅員が 3.5~4.5 m となったので、最終的に歩道では、幅員別にみて 3.5~4.5 m および約 2 m の2種類のデータが得られたことになる。

4. 歩行者の流れの特性

本章では歩行者の流れを巨視的にとらえて、歩行者の速度 (V)、密度 (K)、交通量 (Q) の関係について検討する。

(1) 歩行速度、歩行者密度、歩行者交通量の関係

歩行者の流れは、時間的にも空間的にも変化するが、

ここでは平均値的な取り扱いにより、その概略について述べる。

速度と密度の関係は 図-2 に示すとおりである。これによると、自由歩行速度は毎秒約 1.5 m であるが、密度が増加するとともに直線的に徐々に低下して、 $K = 1.5 \text{ 人/m}^2$ では毎秒 1.1 m 前後となる。密度が 1.5 人/m^2 以上になると、速度はいったん急激に低下するが、その後また緩やかに低下していくことがわかる。速度と密度の関係を表わす回帰式を求めると、 $K < 1.5 \text{ 人/m}^2$ の場合には式 (2)、 $K > 1.5 \text{ 人/m}^2$ の場合には式 (3) が適している。

$$V = -0.204 K + 1.48 \dots\dots\dots (2)$$

$$V = 1.32 \log \frac{9.16}{K} \dots\dots\dots (3)$$

式 (2) および式 (3) の相関係数はそれぞれ -0.864 ,

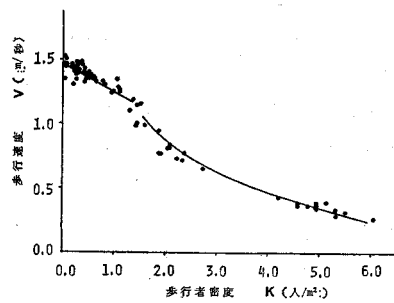


図-2 歩行速度と歩行者密度

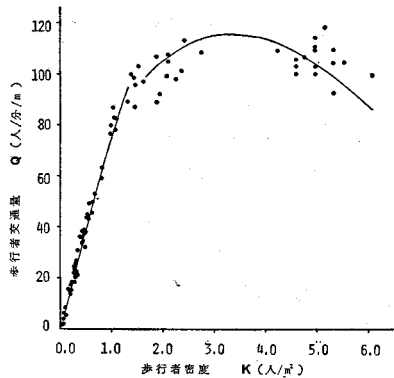


図-3 歩行者交通量と歩行者密度

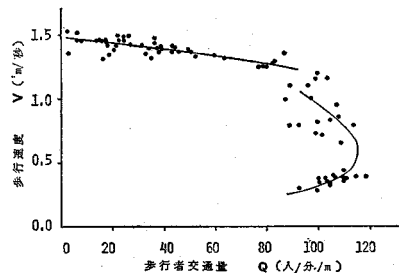


図-4 歩行速度と歩行者交通量

-0.985 である。密度と交通量，速度と交通量の関係はそれぞれ 図-3, 4 に示すとおりである。最大交通量が生じるのは密度が 3~4 人/m² のときであると思われ，そのときの速度は約 0.5 m/秒 に低下しており，非常に混雑した状態であることがわかる。

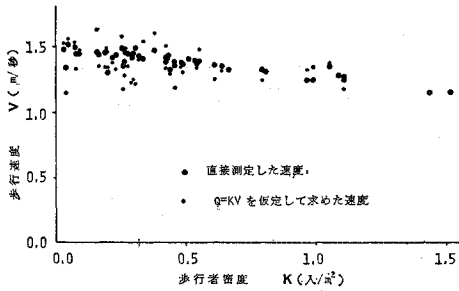
さて，従来，歩行者の流れについても，速度・密度・交通量の間に

$$Q = KV \dots\dots\dots(4)$$

なる関係が成立すると報告されているが，必ずしも明確に示されているわけではないように思われる。図-3, 4 に，式 (2) および式 (3) を式 (4) に代入して求めた曲線を描いてみると，この曲線と実測値とはかなりよく適合していることがわかる。これについて歩道で測定した 1.5 人/m² 以下のデータを用いて，定量的に検証してみた。図-5 に直接測定した速度 (V) と密度，および式 (4) が成立つと仮定して求めた速度 (V') と密度の関係を示している。V と V' について密度を補助因子として共分散分析を行うと，表-2 のように F 値は

$$F = 2.7 < F(1, 97, 0.05) = 3.9$$

となり，V と V' とは同じ集団に属しているとしてよ



注：●が○に包含される場合は●のみ記入した

図-5 歩行速度と歩行者密度

表-2 分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	棄却領域
級間	Sa=0.0193	1	Va=0.0193	F=2.7	F(1,97,0.05)=3.9
級内	Se=0.692	97	Ve=0.00714		

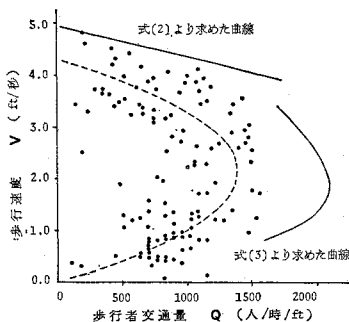


図-6 歩行速度と歩行者交通量 (文献 8) より作成

いと考えられる。したがって，密度が 1.5 人/m² 以上の範囲については厳密には示せないが，少なくとも 1.5 人/m² 以下の範囲においては式 (4) が成立すると考えてよいと思われる。

本稿では通勤時の歩行者を対象としているが，これまでも商店街等での実測に基づいて速度と交通量の関係が示されているので，これらのデータとの比較を行ってみた。図-6 は Older⁸⁾ がロンドンの商店街での実測から描いたものであるが，かなりの変動が見られる。この図に本稿の回帰式 (2), (3) より求めた曲線を挿入すると，この曲線がほぼ包絡線になることがわかる。

通勤時のように，歩行者が比較的急いでいる場合を除くと，低密度のときでもかなりゆっくり歩く歩行者がいるわけであるから，種々の交通目的の歩行者について速度と交通量の関係を図示すると，図-6 のように通勤時の歩行者についての曲線を包絡線として，その内部に他の目的のデータが散らばるものと思われる。

(2) 歩行者密度からみた歩行速度特性

前節では速度・密度・交通量の関係の概略について述べたが，ここでは 1.5 人/m² 以下の比較的低密度の場合における速度の特性について述べることにしたい。

a) 歩行速度の変動

個々の歩行者の速度のちらばりを見るために，速度の標準偏差と密度の関係を 図-7 に示す。速度と密度が直線関係にあると考えられる $K < 1.5$ 人/m² の範囲に

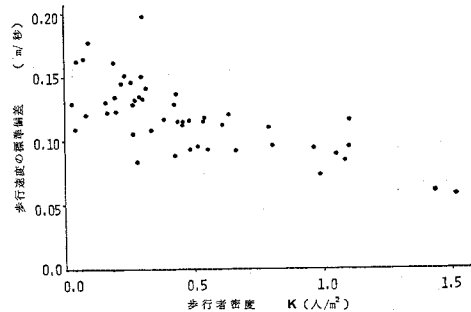


図-7 歩行速度の標準偏差と歩行者密度

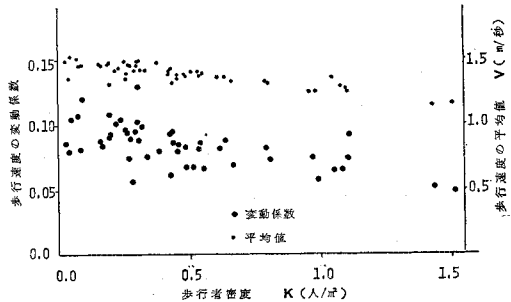


図-8 歩行速度の変動係数と歩行者密度

においても標準偏差に大きな変動が現われ、密度 $0 \text{ 人}/\text{m}^2$ の近傍の自由歩行のできる状態では約 $0.15 \text{ m}/\text{秒}$ であったものが、密度が $1.5 \text{ 人}/\text{m}^2$ になれば約 $0.05 \text{ m}/\text{秒}$ と $1/3$ に減少していることがわかる。一般に平均値が小さくなれば標準偏差も減少するから、平均値のまわりの変動の状態を調べるためには、変動係数で表わした方がよい。速度の変動係数と密度の関係は 図-8 に示すとおりである。密度の増加に伴い変動係数が減少しているから、密度が増加していくと、速度の平均値は徐々に小さくなるが、平均値のまわりの変動は平均値の低下の度合よりも急激に小さくなることがわかる。

また歩行速度の変動について別の観点から考察してみた。速度の最大値・最小値と密度の関係を 図-9 に示す。最小値は密度が増加しても $1.5 \text{ 人}/\text{m}^2$ 以下ではあまり変化しないが、最大値の方はかなり減少していることがわかる。したがって、この間の平均速度の低下は、主として速度が大きい歩行者の速度低下によるものと考えられる。また、速度の範囲 (=最大歩行速度-最小歩行速度) と密度の関係は 図-10 に示すとおりである。速度の範囲は低密度では $0.25 \sim 0.80 \text{ m}/\text{秒}$ とかなりの幅をもっているが、 $1.5 \text{ 人}/\text{m}^2$ 程度の密度では約 $0.25 \text{ m}/\text{秒}$ となっており、変動幅は密度の増加にともなって減少していくことがわかる。

b) 歩行速度分布

歩行者密度がほぼ等しいデータを統合し、それらを正

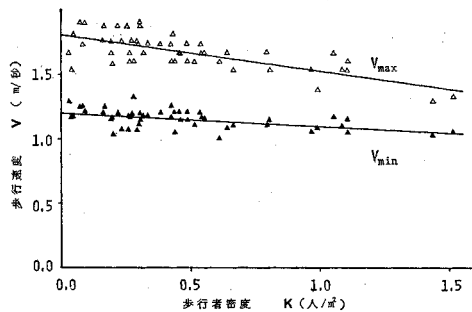


図-9 最大歩行速度および最小歩行速度と歩行者密度

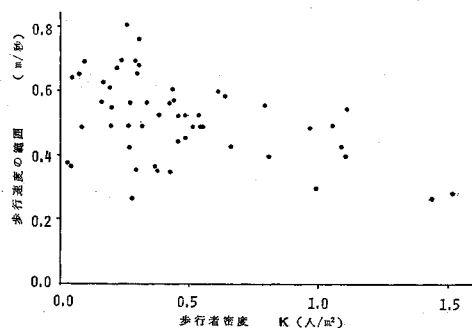


図-10 歩行速度の範囲と歩行者密度

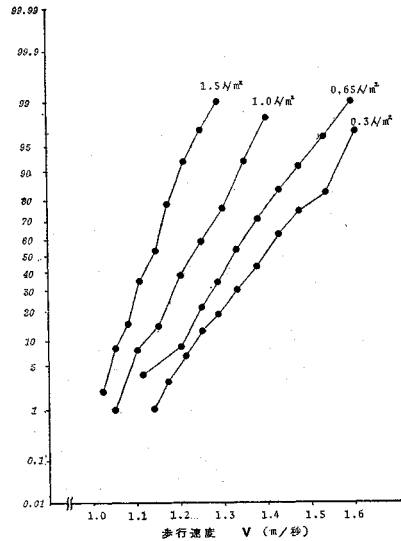


図-11 歩行速度分布

規確率紙上にプロットしたものが 図-11 である。低密度においては多少の変動があるものの、おおむね直線と見なせるから、歩行速度はそれぞれの密度で近似的に正規分布で表わされると考えられる。

5. 歩行者の到着分布特性

本章および次章は、歩行者を巨視的に「流れ」としてとらえるのではなく、微視的な視点からその動きを検討したものである。

(1) 到着分布について

前章では、ある断面を1分間に通過する歩行者数を歩行者交通量として分析したが、ここでは、1秒間に通過する人数を対象として到着分布の特性について述べることにしたい。

ある窓口への客の到着状態には、ランダム型の場合、規則型の場合、および中間型の場合があり、それぞれの型に対応する確率密度は指数分布、単位分布、アーラン分布となる。到着分布は到着間隔分布および到着人数分布のいずれでも表わせるが、両者は相互に変換可能であるから、実測しやすい到着人数分布について考えてみることにする。一般に1秒間当りの到着人数分布は

$$U_n = e^{-l\lambda} \sum_{i=0}^{n-1} \left[\left(1 - \frac{i}{l}\right) \frac{(l\lambda)^{nl-i}}{(nl-i)!} + \left(1 - \frac{i+1}{l}\right) \frac{(l\lambda)^{nl+i+1}}{(nl+i+1)!} \right] \dots \dots \dots (5)$$

と表わされる²¹⁾。ここで、

λ : 平均到着人数 (人/秒)

l : 位相

である。なお、 $l=1$ のとき式 (5) は

$$U_n = e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!} \dots\dots\dots (5)'$$

となりポアソン分布となる。また、 $l=\infty$ のときは単位分布となる。

(2) 歩行者の到着人数分布

歩行者密度と歩道幅員とによって、歩行者の到着分布がどのように変化するかを検討してみた。歩行者密度がほぼ等しいデータを統合し、各密度ごとに式 (5) との適合度を χ^2 検定で検定し、 χ^2 値が最小となる位相 l を求めた。この位相と密度の関係は 図-12 に示すとおりである。幅員が 3.5~4.5 m の場合には 0.6 人/m² 程度までは $l=1$ のアーラン型の分布、すなわちポアソン分布に適合し、 $K=1$ 人/m² では $l=2$ 、 $K=1.5$ 人/m² では $l=3$ のアーラン型の分布に適合することがわかる。0.8 人/m² 付近では $l=1$ 、 $l=2$ との適合度がほぼ等しくなっている。一方、幅員が約 2 m の場合には、0.3 人/m² 以下においても $l=2$ になっている。したがって、位相は歩行者密度と歩道幅員によって変化すると考えられる。

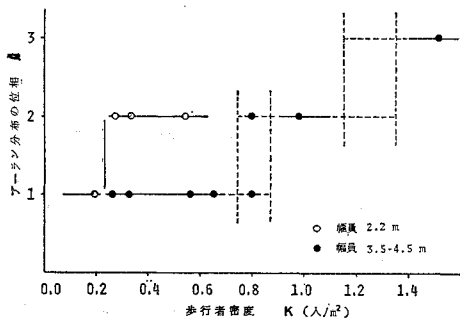


図-12 歩行者の到着分布

この位相は、待ち行列理論においては客の「到着調整機関²¹⁾」を表わすとされているが、歩行者流動の場合における意味を考えてみることにする。歩行者の密度が増加するにつれて、歩行者 1 人当たりが使用できる面積が減少していくから、歩行の自由性が失われていく。一方、幅員が狭くなると、横断方向に並べる人数が減り、通行する位置が限定されてくるから、歩行の自由性が低下していく。そこで、歩行の自由性が低下すると、位相が大きくなるわけで、位相によって混雑の程度、いい換えると、歩行者が相互に影響を及ぼし行動を拘束しあっている状態の程度が表わされていると考えられる。特に、位相が 1 から 2 に変化する点は、歩行者の到着がランダムな状態でなくなることを表わしており、歩行の自由性について考察する際に 1 つの指標となると思われる。

6. 歩行者の追越し現象

本章では前章で述べたような到着分布形状が生じる背景となると考えられる歩行者の追越し現象について述べることにする。

(1) 歩行者の追越し現象解析の意義

自動車交通においては、追越し挙動は交通現象の中でも他車に与える影響がもっとも大きく、しかも危険性の高い現象である。この挙動が拘束されると結局交通流全体としての速度低下を起し、混雑のもととなる²²⁾。そこで、自動車の追越し特性は交通流解析の主要なテーマの 1 つとなり、数多くの研究がなされている。しかし、追越し現象の観測は大がかりになるわりにデータの収集効率はよくないから、実測例は多くない。一方、歩行者交通はトリップ長が短く、各歩行者の歩行速度およびその差も小さく、追越しに危険を伴うこともない。しかし、追越し挙動が制限されてくると、歩きにくい状態となるから、追越しの困難が巨視的な視点でとらえた歩行者の流れに、どのような影響を与えるかを解明するとともに、以下に述べるように、やや低密度の状態において「歩きやすさ」といった観点から分析することは、興味深いものと思われる。

(2) 追越しの定義

歩行者の追越し現象の実測は、測定区間長がそれほど長くなくてもよいから、歩行者の流れを鳥瞰できる位置から撮影したフィルムを用いて行うことができる。このフィルムを解析するにあたり、追越しを次のように定義した。

ある歩行者に対して、その人よりも測定区間(区間長: 20 m)に早く到着し、しかも、測定区間を出るのがその人よりも遅い歩行者が存在する場合に、その歩行者は追越しをしたとする。

(3) 歩行者密度からみた追越し挙動

a) 追越し人数と密度の関係

各データについて、それぞれの歩行者の追越しの有無を調べると、20 m の測定区間で追越しをした人数が求められる。ここで追越し率を次のように定義した。

$$\text{追越し率} [1/20 \text{ m}]^* = \frac{\text{追越しをした人数} [\text{人}/\text{分}/20 \text{ m}]}{\text{歩行者交通量} (\text{人}/\text{分})}$$

この追越し率と密度の関係を 2 種類の幅員の場合について示すと 図-13 のようになる。幅員が 3.5~4.5 m の

* 20 m の区間で追越しの有無を判定しているため、単位長さに当りに換算するのは妥当でない。

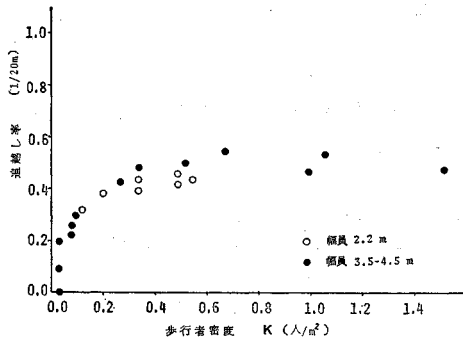


図-13 歩行者密度と追越し率

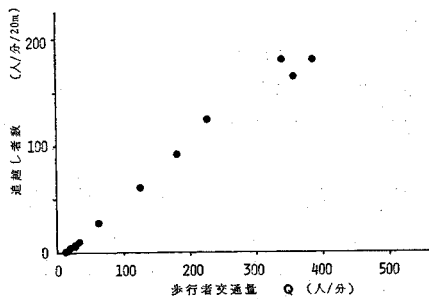


図-14 歩行者交通量と追越し者数

場合には、密度が 0.2 人/m² 程度までは追越し率は増加するが、それ以上は 1.5 人/m² までほぼ一定で約 0.5[1/20m] となる。幅員が 2m 程度の場合には 0.4~0.45[1/20m] でほぼ一定となっている。また、追越し者数と交通量の関係を示すと 図-14 のようになる (幅員 3.5~4.5 m の場合)。図-13 で追越し率が一定値に達するまでの範囲では追越し現象が急激に増加しているように思える。しかしながら、これらの各点の交通量は 40 人/分以下であり、図-14 より、この範囲では実際には追越しはほとんど行われていないことがわかる。

b) 追越し回数と密度の関係

自動車交通においては、高速車が低速車を自由に追越せる状態ならば、追越し回数 (N) と交通量 (Q) の間には、次式の関係が成立することが理論的にも、また実測からも求められている^{23), 24)}。

$$N \propto Q^2 \dots\dots\dots (6)$$

同じような関係が歩行者交通においても成立し、歩行者が相互に拘束されずに自由に歩行できる状態にあるならば、追越し回数 (N) と交通量 (Q) の間にはこの関係が成立するといえる。そこで、式 (6) が成立する範囲と成立しない範囲との境界を求めれば、その境界で「歩きやすさ」の状態が変化すると考えられる。

しかし實際上、フィルムを解析する場合に、追越し回数を肉眼で数えることは非常に困難である。そこで、シミュレーションモデルを作成し、追越し人数から追越し

回数への変換を行うことにした。ただし、追越しを行うときの歩行者の詳細な挙動については、必ずしも十分に把握されていないので、図-15 に示す簡易モデルを用いることとした。

すなわち、各歩行者はそれぞれの通行レーンを歩くものとし、歩行速度や到着人数については、各密度における実測から得られた分布形に従うものとした。このようにして 20m の区間における各歩行者の追越しの有無を判定し、追越し率と密度の関係でモデルの検証を行って追越し回数を求めた。

図-16 に実測値とシミュレーション値を示しているが、両者はかなりよく適合している。このようにして求めた追越し回数と交通量の関係は 図-17 に示すとおりである。ただし、1.5 人/m² までのデータが得られている幅員が 3.5~4.5 m の場合についてであり、式 (6) の関係を視覚的に見やすくするために、Q と \sqrt{N} の関係で示した。Q と \sqrt{N} が比例している範囲は交通量が 250 人/分程度までであり、その後は追越し回数の増加率は減少している。この交通量はおおよそ 0.8 人/m² の

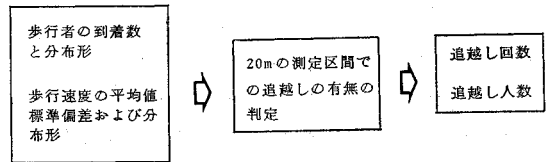


図-15 シミュレーションモデルの概要

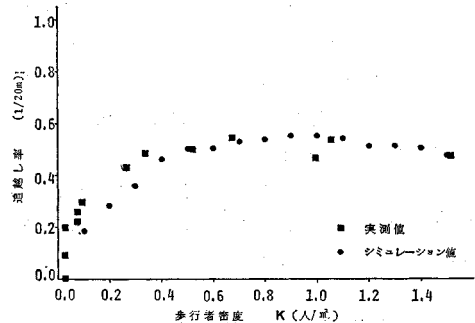


図-16 歩行者密度と追越し率

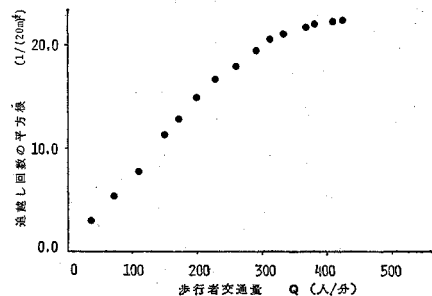


図-17 歩行者交通量と追越し回数

密度に相当しており、これは、歩行者の到着分布がポアソン分布から $l=2$ のアーラン型の分布に移行する密度にほぼ一致している。したがって、 $0.8 \text{ 人}/\text{m}^2$ 程度の密度で歩行の自由性が拘束されはじめると考えることができる。

7. 歩行路のサービス水準について

(1) 歩行環境についての考え方

歩行環境について総合的に考える場合には、歩行の安全性、快適性、保健性、利便性といった視点から検討することが必要である。これらは相互に関連しているが、安全性はもっとも上位に位置付けられるべきであり、快適性以下は不安なく歩けるという状態のもとで検討されなければならない。環境の評価基準を作成するという立場からは、個々の計画において妥当なものが採用できるように、安全性とその他の3項目とのそれぞれについて考えておけばよいであろう。このような観点から、安全性が確保されたうえでの快適性に限定して述べることにする。さらに、快適性について考える場合には、対象となる空間の機能に留意する必要がある。移動空間としての性質が強い空間と、遊歩道のようにそこを歩くこと自体が目的であるような空間を、同じ評価基準で評価するのは無理があると思われるからである。前者で問題となるのは主として「歩きやすさ」であるが、後者では「歩きやすさ」に加えて、「景観」であるとか「雰囲気」であるといったより高度な快適性が要求されるであろう。ここでは、前章までに述べた事項からアプローチ可能な「歩きやすさ」という側面から、歩行路のサービス水準について検討することとしたい。

このような観点に立てば、おおむね自動車交通に関するサービス水準²⁵⁾と類似した考え方をを用いることができる。考慮されるべき要因は、

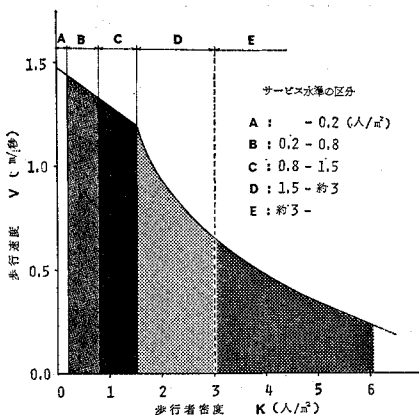


図-18 歩行路のサービス水準

a) 速度の維持

- 歩行速度の平均値が大幅には低下しないこと

b) 行動の自由さ

- 希望速度を維持するために他の歩行者を超越する必要がないこと
- 速度の遅い歩行者を超越すること

c) 横断の容易さ

- 歩行者の流れを乱れさせることなく横断できること

(2) サービス水準の設定

前章までに述べたことを整理すると、

a) 平均歩行速度は密度が $1.5 \text{ 人}/\text{m}^2$ を越えると急激に低下する。

b) $1.5 \text{ 人}/\text{m}^2$ 以下の範囲では、密度の増加に伴い、速度の平均値が徐々に低下するが、平均値のまわりの変動は平均値の低下の度合よりもさらに小さくなっていく。

c) 交通量が最大となるのは $3\sim4 \text{ 人}/\text{m}^2$ 付近であり、その後は完全な拘束歩行状態となる。

d) 歩行者の到着分布がランダムでなくなるのは、幅員 $3.5\sim4.5 \text{ m}$ の歩道では $0.8 \text{ 人}/\text{m}^2$ 程度、幅員約 2 m の歩道では $0.2\sim0.3 \text{ 人}/\text{m}^2$ の密度である。

e) 超越し回数と交通量の自乗とが比例するのは $0.8 \text{ 人}/\text{m}^2$ までであり、それ以上の密度では超越しの自由性が徐々に失われていく（幅員 $3.5\sim4.5 \text{ m}$ の場合）。

f) $0.2 \text{ 人}/\text{m}^2$ 以下では超越しをしなくてもほとんど速度維持に影響しないが、 $0.2 \text{ 人}/\text{m}^2$ 以上では速度を維持するためには、超越しが必要であると思われる（幅員 $3.5\sim4.5 \text{ m}$ の場合）。

サービス水準について考える場合には、歩道幅員を中心とした道路条件と、混雑度などの交通条件を考慮しなければならないが、ここでは比較的広い幅員の歩道でのサービス水準を、幅員 $3.5\sim4.5 \text{ m}$ の歩道のデータに基づいて、次のように設定した。

A : $0.2 \text{ 人}/\text{m}^2$ 以下 ほぼ自由歩行に近い状態

B : $0.2\sim0.8 \text{ 人}/\text{m}^2$ 超越しがかなり自由に行ける状態

C : $0.8\sim1.5 \text{ 人}/\text{m}^2$ 超越しがやや拘束された状態

D : $1.5\sim\text{約}3 \text{ 人}/\text{m}^2$ 速度低下が著しく、拘束された歩行状態

E : $\text{約}3 \text{ 人}/\text{m}^2$ 以上 完全に拘束された歩行状態

さて、本論では一貫して歩行者密度を基礎として分析してきたので、サービス水準も密度で表現してある。しかし、計画と関連づけるためには交通量で表現した方が便利であるから、交通量の概略値に換算して示すと次の

ようになる。

A : ~20 人/分/m

B : 20~60 人/分/m

C : 60~100 人/分/m

D : 100~115 人/分/m

E : (交通量はDレベル以下となる)

なお、 $K=1.5$ 人/m² に対する交通量は、式 (2)、式 (3) がそれぞれ 1.5 人/m² 以下およびそれ以上のデータについて別々に求められた回帰式であるから、若干異なるわけであるが、便宜上、両者の平均値とした。

このようなサービス水準を実際の計画に適用するためには、設計基準といったものを考えておく必要がある。D・E レベルは拘束の度合いが非常に強いから、設計に用いるレベルはA~Cと考えるべきであろう。A~Cレベルの選択に関しては、より高いレベルが望ましいのはいうまでもないが、Bレベルを一応の計画目標とし、ターミナル等の混雑する場所では局所的にCレベルとなるのを許容するといったところが、現実的にみて妥当ではないかと思われる。ただし、歩行者の交通量は短時間における変動も大きいから、それぞれの場所の変動特性を考慮する必要がある。

2章で述べたように、これまでも歩行路のサービス水準についての提案が行われている。Oeding¹¹⁾ と Fruin¹²⁾ は 15~18 ft²/人 から 35~36 ft²/人 (0.30~0.31 人/m² から 0.60~0.72 人/m²) あたりのレベルまでが許容できる範囲 (35~36 ft²/人以上はもっとも高いレベル) としており、これは本稿ではほぼBレベルに相当している。Pushkarev と Zupan¹⁴⁾ はこのレベルがまだかなり拘束された状態であるとし、40 ft²/人以上 (0.27 人/m² 以下) の範囲をさらに細分して高水準のサービスレベルを提案している。

本稿では通勤時の歩行者を対象としたから、その結果を商店街等の歩道の設計に直接利用するには無理があるかもしれない。また、歩道はいろいろな交通目的の歩行者が通行する空間であるから、たとえ、通勤時に混雑する歩道であっても、通勤時のデータに基づいて設計するのは必ずしも適切でないかもしれない。しかしながら、最低限確保すべき水準を求めるという意味で、通勤時の歩行者を対象とすることは重要であると考えられる。

8. む す び

本稿では、歩行者の挙動について巨視的および微視的な視点からその特性を把握するとともに、サービス水準についても若干の考察を行ってきた。前章において一応のまとめを行ったから、今後の課題について整理しておく。

(1) 歩行者流動については、速度低下が急激になる密度における流れの内部構造を明らかにする必要がある。

(2) 歩行環境を「歩きやすさ」という観点からとらえ、その際に追越し現象等の解析による客観的なデータを用いたが、それらが歩行者の主観的な意識とどのように対応するかを検討することが必要である。

(3) 幅員 3.5~4.5 m の歩道のデータを用いてサービス水準を設定したから、これらは比較的広い歩道の幅員決定に一つの方法を与えるものであるが、狭幅員の歩道については別に検討すべき課題となるであろう。

最後に、本研究を進めるにあたり有益なご助言をいただいた近畿大学三星昭宏講師、ならびに調査、分析に協力いただいた山本久夫氏 (元大阪大学学生、現森本組) に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 木村幸一郎、伊原貞敏：建築物内に於ける群集流動状態の観察、建築学会大会論文集、1937、pp. 307~316.
- 2) 伊藤 滋：省線電車駅における旅客施設の設計について、学位論文、1947.
- 3) 戸川喜久二：群集流の観測に基く避難施設の研究、建築研究報告、1955.
- 4) 宮田 一：列車運転になぞらえた歩行人間工学的考察、第6回鉄道OR論文集、1966、pp. 134~149.
- 5) 浅井新一郎：歩行者の通行位置に関する研究、第5回日本道路会議、1959、pp. 823~825.
- 6) 竹内伝史、岩本広久：細街路における歩行者挙動の分析、交通工学、Vol. 10, No. 4, 1975、pp. 3~14.
- 7) Hankin B.D., Wright R.A. : Passenger flow in subways, Operational research quarterly, Vol. 9, No. 2, 1958, pp. 81~88.
- 8) Older, S.J. : Movement of pedestrians on footways in shopping streets, Traffic engineering and control, Vol. 10, No. 4, 1968, pp. 160~163.
- 9) Navin F.P.D., Wheeler R.J. : Pedestrian flow characteristics, Traffic engineering, Vol. 39, No. 9, 1969, pp. 30~36.
- 10) O'flaherty C.A., Parkinson M.H. : Movement on a city centre footways, Traffic engineering and control, Vol. 13, No. 10, 1972, pp. 434~438.
- 11) Oeding D. : Verkehrsbelastung und Dimensionierung von Gehwegen und anderen Anlagen des Fussgaengerverkehrs, Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Nr. 22, 1963.
- 12) Fruin J.J. : Design for pedestrians; A level-of-service concept, Highway research record, No. 355, 1971, pp. 1~15.
- 13) Bovy Ph. H. : Espaces et réseaux piétonniers, Strasse und Verkehr, Nr. 7, 1974, pp. 371~378.
- 14) Pushkarev B., Zupan J.M. : Capacity of walkways, Transportation research record, No. 538, 1975, pp. 1~15.
- 15) Hoel L.A. : Pedestrian travel rate in central business districts, Traffic engineering, Vol. 38, No. 4, 1968, pp. 10~13.
- 16) Henderson L.F. : The statistics of crowd fluids, Nature, Vol. 229, 1971, pp. 381~383.

- 17) Henderson L.F., Lyons D.J. : Sexual differences in human crowd motion, *Nature*, Vol. 240, 1972, pp. 353~355.
- 18) Henderson L.F., Jenkins D.M. : Response of pedestrians to traffic challenge, *Transportation research*, Vol. 8, No. 1, 1974, pp. 71~74.
- 19) Henderson L.F. : On the fluid mechanics of human crowd motion, *Transportation research*, Vol. 8, No. 6, 1974, pp. 509~515.
- 20) 西坂秀博 : 歩道幅員に関する研究, *交通工学*, Vol. 10, No. 5, 1975, pp. 23~34.
- 21) 西田俊夫 : 待ち行列の理論と応用, 朝倉書店, 1971, p. 63.
- 22) 交通工学研究会 : 交通工学ハンドブック, 技報堂, 1973, p. 131.
- 23) Wardrop J.G. : Some theoretical aspects of road traffic research, Road paper 36, *Proc. of Institute of civil engineers*, 1952.
- 24) 高速道路調査会 : 6車線区間の運用に関する走行実態調査報告書, 1969.
- 25) 交通工学研究会 : 道路の交通容量, 技報堂, 1968.
- 26) 日本自動車工業会 : 歩行行動に関する研究報告書, 1975.
- 27) 毛利正光, 塚口博司, 山本久夫 : 歩道内の歩行者挙動に関する研究, 土木学会関西支部年次学術講演概要, 1976.
- 28) 塚口博司, 毛利正光 : 歩行者流の特性に関する研究, 土木学会第31回年次学術講演会講演概要集, 1976, pp. 171~172.

(1977.2.22・受付)