通路における歩行者の流動特性について

京都大学工学部　正員　天野光三
京都大学工学部　正員　青山吉隆
京都大学大学院　学生員　○　安井常二

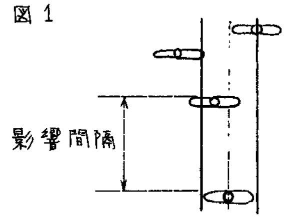
1　まえがき

自動車流に対しては，その特性を示す車頭間隔の分布，速度および速度分布などの現象を数学的にモデル化して，理論解析に用いようとする試みがなされている。しかし，歩行者流に対しては，十分になされているとはいい難い。そこで，一つの試みとして，歩行者の流動時における分布状態をモデル化することを試みる。

2　影響間隔の定義とその分布

歩行者流において，車頭間隔に相当する量を影響間隔と名づけて，図1に示すように，ある歩行者の前方に，歩行に必要な最小限の幅をもった領域を考え，影響間隔をその領域内に存在する別の歩行者に到る最小距離と定義する。

図1



車頭間隔の分布は，交通量が少なく，各車が独立して走行していると仮定し，指数分布で置き換えることが行なわれているが，一般的には，交通量の多い場合をも含めたモデルとしてアーラン分布が考えられる。歩行者の流動は，通常平面的に広がっており，また相当混雑している場合のモデル化が重要であると考えられ，さらに，実際の流動には種々の性質を有する流れが混成されていることを考えれば，それぞれの性質に対応するアーラン分布に重みを加えて合成した複合アーラン分布で，影響間隔の分布を表わすことが最適と思われる。この分布は，式(1)で与えられ，実際の分布への適合のため式(2)(3)で示す制約条件を満足せねばならない。

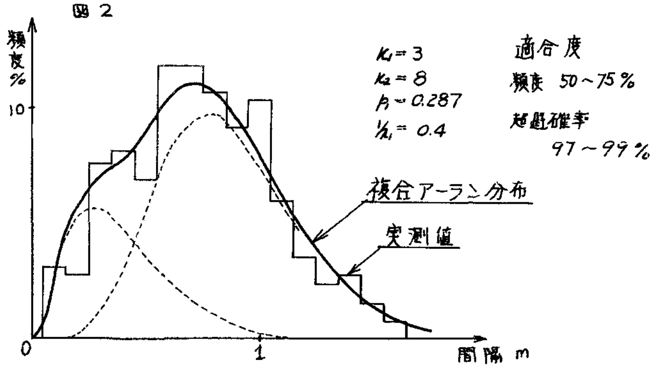
$$E_k = \sum_{n=1}^{N} p_n \frac{(k_n \lambda_n)^{k_n} \tau^{k_n-1}}{(k_n-1)!} e^{-k_n \lambda_n \tau} \qquad (1)$$

k_n：位相　λ_n・平均値の逆数　p_n・重み

$$\sum_{n=1}^{N} p_n = 1 \qquad (2) \qquad\qquad \sum_{n=1}^{N} 1/\lambda_n \cdot p_n = 1/\lambda \qquad (3)$$

式(1)において自由に定め得るパラメータは3N－2個であって，その値を変えることにより非常に適合度の高い分布形を見い出すことができる。Nが大であれば適合度は高くなるが，実際に数値を決定することは困難である。このため最も簡単な複合アーラン分布であるN=2の場合に実際分布をあてはめることを試みよう。一つの性質

図2



が明らかになっておれば，λ_1, p_1は決定でき，条件式からλ_2, p_2は定まり，k_1, k_2の値を動かすことにより最適な分布形を容易に見出すことができる。いま，性質として，流動の平均的な流れにしたがって歩行する場合と前方の歩行者の影響を強く受けつつ歩行する場合とを考え，後者の場合の数値として，$1/\lambda_1 = 04^m$; $p_1 = P(\tau > 0.6)$ と仮定する。この場合の一例として幅員4^mの実測値にあてはめた結果を図２に示す。測定の誤差を減少させるために，超過確率で考えれば適合度は非常に高いものといえる。

3. 通路幅員方向の密度分布

通路幅員と交通容量は比例すると考えられているが，これは，分布速度と分布密度の積が一様な場合に限られる。一般には，速度・密度の分布は幅員方向で異なり，その関数を $V(x)$ m/s　$K(x)$ 人/m²とおけば　単位幅当り交通量は式(4)で，総交通量は式(5)で，平均密度は式(6)で表わすことができる。

$$q(x) = V(x) \cdot K(x) \quad (4) \qquad Q(B) = \int_0^B q(x)\,dx \quad (5) \qquad \bar{k} = \frac{1}{B}\int_0^B K(x)\,dx \quad (6)$$

流動時において，側壁の近傍では，歩行者が物理的に存在しにくく，かつ　意識的に避けて歩行するため　密度は減少している。しかし通路幅員がある値(B_0)以上あるときの中央部では，歩行者の意識が無限幅員の通路の場合と同じと考えてよいといえる。したがって　$K(x) = f(x) \cdot g(x)$　とおき，$f(x)$を意志に基づく分布，$g(x)$を物理的な制約による分布と考え，$0 \leq x \leq B/2$において次のように定義する。

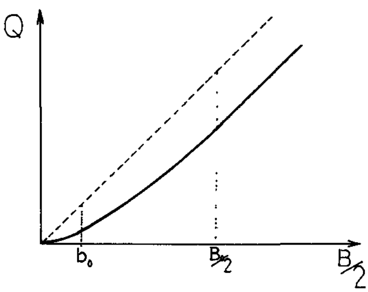
$$f(x) = \begin{cases} a(x - B_0/2)^2 + k_m & (0 \leq x \leq B_0/2) \\ k_m & (B_0/2 < x) \end{cases} \quad (7)$$

$$g(x) = \begin{cases} 1/b_0 \cdot x & (0 \leq x \leq b_0) \\ 1 & (b_0 \leq x) \end{cases} \quad (8)$$

a：負の定数
k_m：無限幅員通路における密度
b_0：人間の幅

速度の分布は実測から，側壁近傍で高い値を示すがその差はわずかであり，一定とみなすことができる。式(4)(5)(7)(8)を用いて，幅員と交通量の関係を図示すれば　図３のようになる。これは，一定の歩行条件として，V，k_mを与えた場合の幅員と交通量の関係を示している。

図３



測定の際に，通路を幅員方向に幅b_0で帯状に区切りある長さに落ちる個数から密度を計算し，側壁に沿う部分の密度を２倍にすれば，実測値は式(7)の値を与える。係数a，k_mは密度に関係し，これを適当な関数と仮定し，回帰計算から求めればよい。

4　あとがき

流動時における歩行者の分布状態のモデル化を示したが，歩行者の流動特性は，自動車流とは異なり，二次元的な広がりをもち，さらに　流体に近似させることが容易だと考えられ，今後　この方面からの研究が必要であると思われる。