

電車内における人の立ち位置モデルとシミュレーション

02502350 東京工業大学 *藤田 陽子 FUJITA Yoko

01302440 東京工業大学 高橋 幸雄 TAKAHASHI Yukio

1. はじめに

本報告は、電車内での人々の立ち位置を数学的にモデル化し、計算機を用いたシミュレーションを行った結果の紹介である。これは、満員電車での人の動きをモデル化する研究の前段階である。

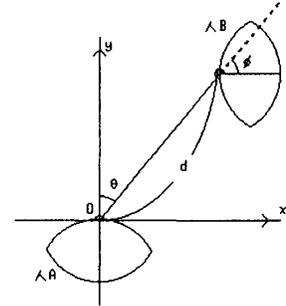
2. 立ち位置の数学モデルの説明

人の形について

半径 R の円を描き、更に円周上の1点を中心とする半径 R の円を描く。この2つの円の内部の重なった部分を人を真上から見た形とし、片方の円の中心を「鼻」、もう一方の円の中心を「背中心」とする。

人を中心とする座標系

ある平面上に固定されている人Aについて、人Aの鼻を原点 O とし、右図のように x 軸および y 軸をとる。このとき、人Aに対する人Bの位置および向きは、右図のように、2つの角度 θ ($-\pi < \theta \leq \pi$)、 ϕ ($-\pi < \phi \leq \pi$) と鼻と鼻との距離 d ($d > 0$) を用いて一意に表すことができる。



人のポテンシャル

ある人が、他の人々の位置を固定したときに感じる居心地の良し悪しをポテンシャル関数で表すことにする。 N 人のひとがいる場合、上で考えた人Aを i 、人Bを j とし、 θ, ϕ, d をそれぞれ $\theta_{ij}, \phi_{ij}, d_{ij}$ とおく。 $f_{ij}(\theta_{ij}, \phi_{ij}, d_{ij})$ を i が j から受ける影響として、 i が他のすべての人から受ける居心地の良し悪しを表すポテンシャルを

$$F_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N f_{ij}(\theta_{ij}, \phi_{ij}, d_{ij})$$

とする。

3. 他の人からの影響を表す関数

他の人からの影響をモデル化するにあたって、「周囲の人から向けられる視線」と、電車が揺れたときに体が触れることによる不快感を意識した「周囲の人との距離」が重要だと考えられる。そこで、 j から向けられる視線によって i が受ける影響を $\tilde{f}_1(\theta_{ij}, \phi_{ij}, d_{ij})$ 、 j との距離によって i が受ける影響を $\tilde{f}_2(\theta_{ij}, \phi_{ij}, d_{ij})$ で表すことにし、この2つを用いて、 j による i への影響を

$$f_{ij}(\theta_{ij}, \phi_{ij}, d_{ij}) = \tilde{f}_1(\theta_{ij}, \phi_{ij}, d_{ij}) + \tilde{f}_2(\theta_{ij}, \phi_{ij}, d_{ij})$$

とする。これらの関数は、他人同士・友人同士・恋人同士の3通りについてそれぞれ別個に与える。

視線による影響

互いの顔が見えない場合は、その人から受ける視線による影響を0としたい。そのための工夫として、 θ, ϕ, d それぞれについて残りの2つの変数を固定した時の視線による影響を表す関数を $f_p(\theta), f_a(\phi), f_d(d)$ とおき、

$$\tilde{f}_1(\theta, \phi, d) = C_1 \times f_p(\theta) \times f_a(\phi) \times f_d(d)$$

とする。ここで、 C_1 は正の定数であり、 $f_p(\theta), f_a(\phi)$ は、 $\theta \geq \frac{\pi}{2}, \theta \leq -\frac{\pi}{2}$ のとき $f_p(\theta) = 0$ 、 $\phi \geq \frac{\pi}{2}, \phi \leq -\frac{\pi}{2}$ のとき $f_a(\phi) = 0$ を満たすような関数である。

視線による影響は、他人か友人・恋人かによって大きく異なる。 $f_d(d)$ を変えることで、このことを表す。他人の場合は、近くから見られているほど居心地が悪い。つまり、 $f_d(d)$ は d が0に近い程傾きが急になる単調減少関数と考えられる。友人同士の場合は、互いの顔が見えるときに居心地が良いが、あまり近くから見られても、あまり遠くにいても、居心地が悪い。よって、 $f_d(d)$ は下に凸な関数が適当である。恋人同士は、向

かい合っていると居心地が良く、遠ければ遠いほど居心地が悪い。よって、 $f_d(d)$ は d が大きい程傾きが急になる単調増加関数と考えられる。

シミュレーション実験で用いた $f_p(\theta), f_a(\phi), f_d(d)$ は、

$$f_p(\theta) = \begin{cases} 1 + \cos(2\theta) & -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & o.w. \end{cases} \quad f_a(\phi) = \begin{cases} 1 + \cos(2\phi) & -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & o.w. \end{cases}$$

$$\text{他人: } f_d(d) = \frac{1}{d} \quad \text{友人: } f_d(d) = \begin{cases} -1 + \frac{2}{C_1'}(d - C_1')^2 & d \leq C_1' \\ -1 + \frac{1}{(C_1'' - C_1')^2}(d - C_1')^2 & d > C_1' \end{cases} \quad \text{恋人: } f_d(d) = -1 + \frac{1}{C_1'''^2}d^2$$

である (C_1', C_1'', C_1''' は定数)。

距離による影響

「人 A と人 B との距離」として、人 A の鼻から人 B の体への最短距離を用いる。また、人は横や後方よりも前方に敏感であるので、縦長の楕円の等高線でその影響を評価する。具体的には、人 A の体の中心を下焦点として持ち、短径：長径 = 1 : α ($\alpha > 1$) の楕円形の等高線を考える。人 B の最近点を通る楕円の短径を r とし、この r の関数 $g(r)$ で人 B が人 A に与える影響を表す。今回のシミュレーションでは、 $g(r)$ として以下の関数を用いる。

$$\tilde{f}_2(\theta, \phi, d) = g(r) = \frac{C_2}{(r - r_0)^2}$$

ここで、 r_0 は人 A の鼻を通るような楕円の短径、 C_2 は正の定数である。

係数 C_2 の値は、人と人との関係によって異なる。他人同士の場合は、他人が自分の近くにいるほど居心地は悪い。友人同士の場合は、同じ距離離れていたなら、他人よりは居心地が良い。つまり、 C_2 の値は (他人) > (友人) とする。恋人同士の場合は、 $C_2 \leq 0$ とする。

4. 電車型空間におけるシミュレーション実験

以上のモデルに「窓による影響」を加え、電車内における人々の立ち位置のシミュレーション実験を行った。

窓による影響

外の景色が見えるため、窓の方を向いていると居心地が良いとする。

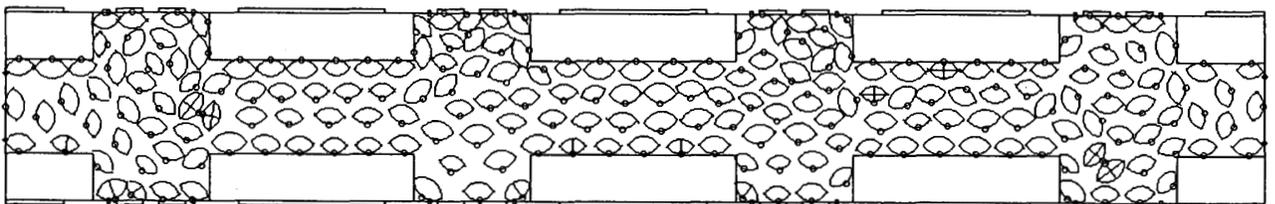
実験の状況設定

1 車両に、3 人の友人グループが 1 組、2 人の友人グループが 2 組、カップルが 4 組を含む 200 人が乗る場合を考える。このとき、乗車率は約 200% である。

下図は、 $R = 21.0 \sim 31.0$ 、 $C_1 = 800$ (他人)、 $C_1 = -40$ (友人)、 $C_1 = -120$ (恋人)、 $C_1' = 1.8R$ 、 $C_1'' = 6R$ 、 $C_1''' = 2R$ 、 $\alpha = 1.01$ 、 $C_2 = 4000$ (他人)、 $C_2 = 800$ (友人)、 $C_2 = 0$ (恋人) としてシミュレーション実験を行った結果である。

5. 今後の課題

シミュレーション実験での立ち位置には、まだかなりの不自然さが残っている。つり革や壁に寄りかかれる影響など他の要因を含めて、さらに検討を進める必要がある。そして、目標である「人の動き」を考えるために、人が人を押すということを表現できるモデルへと発展させたい。



電車型空間での実験