

群衆行動における脱出パニックにシミュレーション

日大生産工 ○佐藤駿太 野々村真規子

1 まえがき

人が大勢いる状態で起こる悲惨な事態の一つに、災害などで脱出するときに起こる出口での混雑・殺到が挙げられる。このとき、人は極度のパニック状態に陥って、我先に逃げることにしか考えておらず、通常より脱出に時間がかかってしまうことが知られている。文献[1]では、出口に向かって移動する人を円で表し、人と人、人と壁の摩擦と反発を考慮した数理モデルを提案し、室内から逃げる人のスピードと逃げ切る時間との関係などを明らかにしている。

本研究では、文献[1]のモデルをもとに改良した数理モデルを用いて数値計算を行った。出口の配置、壁の形状、障害物の有無などによって、逃げ切る時間がどのように変わるのかに焦点を当てた。

2 数理モデル

まず、文献[1]のモデルについて説明する。i 番目の歩行者の質量を m_i 、半径を r_i とする。円の中心の位置 $\vec{r}_i(t)$ によって、速度 $\vec{v}_{i(t)} = d\vec{r}/dt$ は求められる。速度 $\vec{v}_{i(t)}$ の時間変化は、次の運動方程式によって与えられる。

$$m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)\vec{e}_i^0(t) - \vec{v}_{i(t)}}{T_i} + \sum_{j(\neq i)} \vec{f}_{ij} + \sum_W \vec{f}_{iw} \quad (1)$$

右辺第一項は、目標方向 $\vec{e}_i^0(t)$ に向かって、速度 v_i^0 で動こうとすることを表している。 T_i は定数である。右辺第二項の $\vec{f}_{ij}$ は、i 番目と j 番目の歩行者間の相互作用を、右辺第三項の $\vec{f}_{iw}$ は、人と壁との相互作用を表している。

人と人との相互作用 $\vec{f}_{ij}$ は次のように与えられる。

$$\vec{f}_{ij} = \left\{ A_i \exp \left[\frac{(r_{ij} - d_{ij})}{B_i} \right] + k \cdot g(r_{ij} - d_{ij}) \right\} \vec{n}_{ij} + K \cdot g(r_{ij} - d_{ij}) \Delta V_{ji}^t \vec{t}_{ij} \quad (2)$$

ここで、 $\vec{n}_{ij} = (n_{ij}^1, n_{ij}^2) = (\vec{r}_i - \vec{r}_j)/d_{ij}$ は歩行者 j

から歩行者 i に向かう単位ベクトル、 $\vec{n}_{ij}$ に垂直なベクトルを $\vec{t}_{ij} = (-n_{ij}^2, n_{ij}^1)$ とする。(図 1) $d_{ij} = \|\vec{r}_i - \vec{r}_j\|$ は、i 番目と j 番目の中心間距離、 $r_{ij} = (r_i + r_j)$ は i 番目と j 番目の歩行者の半径の和である。関数 $g(x)$ は、 $x > 0$ 場合 $g(x)=0$ 、 $x < 0$ 場合 $g(x)=x$ という関数である。したがって歩行者が互いに触れない場合($d_{ij} > r_{ij}$)は、式(2)の右辺第 2 項と第 3 項は 0 になる。式(2)の右辺第 2 項は、人と人の反発を表している。右辺第 3 項の $\Delta V_{ji}^t = (\vec{v}_j - \vec{v}_i) \cdot \vec{t}_{ij}$ は、接線速度の差であり i 番目と j 番目の歩行者の間の摩擦を表している。文献[1] では、長方形の壁を配置して、壁と人の相互作用 $\vec{f}_{iw}$ を次のように計算している。

$$\vec{f}_{iw} = \left\{ A_i \exp \left[\frac{(r_{ij} - d_{iw})}{B_i} \right] + k \cdot g(r_{ij} - d_{iw}) \right\} \vec{n}_{iw} + K \cdot g(r_{ij} - d_{iw}) (\vec{v}_i \cdot \vec{t}_{iw}) \vec{t}_{iw} \quad (3)$$

そのため、壁の配置や、出口の配置を変えるたびにプログラムを大幅に修正しなければならない。

本研究では、動かない円を並べることで壁を表し、式(2)と同じ式で相互作用を表すことにした。つまり、式(2)では動いている i 番目と j 番目の円の相互作用だったものを、i 番目の動く円と W 番目の動かない円との相互作用することで人と壁の相互作用を表した。これにより、簡単に出口の配置、壁の形状、障害物の有無を表すことができるようになった。

Simulation of escape panic
Shunta SATO Makiko NONOMURA

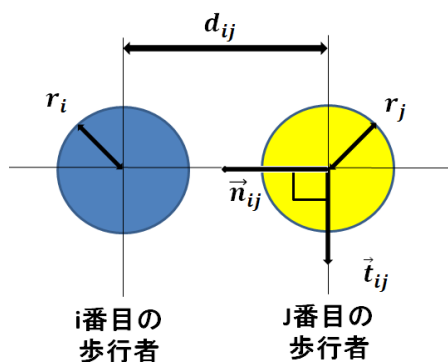


図1 i番目とj番目の歩行者

3 結果

出口の前に障害物を設置して脱出時間の変化を比較した。図2は障害物がない場合で、黒い実線が壁を、隙間が出口を表す。図3は障害物がある場合である。壁と平行に直線上に障害物を配置した。今回の数値計算では人の半径をすべて7としている。

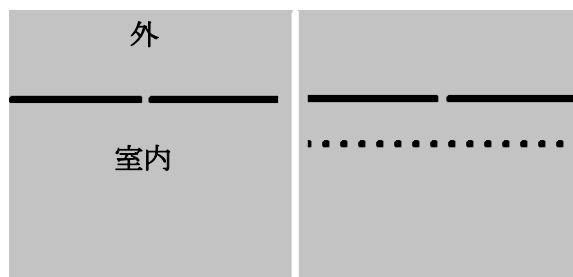


図2：障害物がない場合 図3：障害物がある場合

図4の3本の線は、障害物と壁の距離を25、50、75と変えたものである。いずれの場合も始めに室内にいる人数が多い方が全員脱出するまでに時間がかかっていることが分かる。障害物と壁との距離が一番近い25の時が一番早く全員脱出することができている。これは、障害物によって人がばらけたことによるものと考えられる。50と75では時間に違いがみられなかった。出口と障害物の距離が遠くなると、せっかくばらけた人がまた出口近くで集まってしまう、障害物を置くことの効果がでにくくなっていることがわかる。

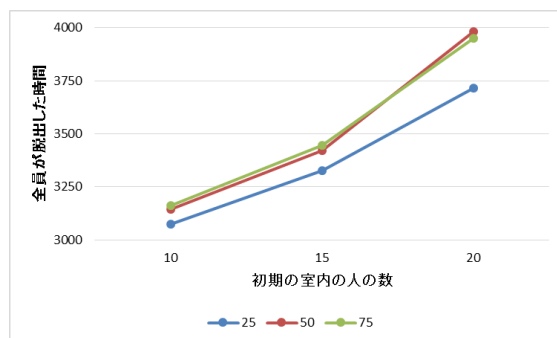


図4 障害物の位置

障害物の間隔を変えた結果を図5にまとめた。障害物の間隔を15～90まで変えて脱出時間を調べた。幅55付近でもっとも脱出時間が短くなることがわかった。障害物の間隔が狭すぎると、障害物で詰まりが生じてしまっておそくなり、間隔を広くしすぎると障害物の効果がなくなってしまっていて出口付近での詰まりが生じて脱出時間がかかってしまう。

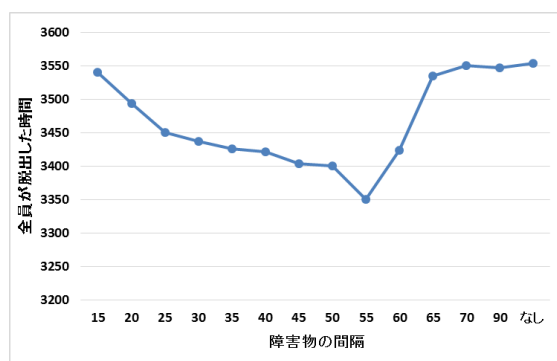


図5 障害物の間隔

4 まとめ

以上のことより出口の前に障害物を置くことが脱出時間に影響を与えることが分かった。またその障害物の位置や間隔を変化させることにより、何も障害物を置かない時よりも脱出時間を短くすることができた。障害物の設置のしかたを間違えてしまうと何もしない場合よりも脱出時間がかかってしまう。ポスターでは、障害物の影響だけでなく、出口の配置や、壁の形状による脱出時間の違いも報告する。

5 参考文献

[1] Dirk Helbing, Illes Farkas, and Tamas Vicsek, “Simulating dynamical features of escape panic.”, Nature, Vol.407, 2000.