

# 周回方向制限による対面時間の削減効果について

川口寿裕<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 関西大学 社会安全学部 安全マネジメント学科

## 概要

COVID-19 の感染拡大に鑑み、スーパーマーケット等における周回方向を一方通行に制限することによる、歩行者同士の対面時間の削減効果について数値シミュレーションを実施する。歩行者挙動は仮想バネモデルと反モーメントモデルを導入した離散要素法で表現した。歩行者同士が近距離で対面する時間の累積値で感染症拡大リスクを評価する。対向する歩行者の割合と累積対面時間の関係から、周回方向制限の効果と、ルール遵守の必要性について示す。

## Reduction of Facing Duration by Restricting Circling Direction

Toshihiro Kawaguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Safety Management, Faculty of Safety Science, Kansai University

### Abstract

Considering the spreading of COVID-19, a numerical simulation was performed to evaluate the effect of the restriction of the circling direction on the facing duration between pedestrians in supermarkets and so on. The behavior of pedestrians was expressed by the Discrete Element Method introducing the virtual spring model and the reactive torque model. The spread risk of infection was evaluated by the cumulative value of the duration in which pedestrian in a short distance face each other. The relation between the ratio of opposite circling and the cumulative facing duration shows the effect of the restriction of the circling direction and the necessity of observance of the regulation.

## 1 はじめに

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) が世界的な感染拡大を続け、日本でも多くの感染者を出している。日本ではクラスター対策を主眼とし、密を避けるという方向性で COVID-19 への対策を進めている。不要不急の外出を控えることも対策の 1 つとして要請されてきたが、食品や日用品の買い物には定期的に出かける必要がある。その際、スーパーマーケット等で密が発生することで感染拡大に繋がる可能性がある。

厚生労働省が配布している新型コロナウイルス接触確認アプリ (COCOA) では、ウイルス保有者の「1 メートル以内に 15 分以上」滞在した場合を「接触」と判定している[1]。さらに、互いに正対している状態にあるときに感染リスクが高まることは容易に想像できる。

スーパーマーケット等の周回通路を逆方向に周回する人が混在すると、人同士の対面時間が長くなると考え

られる。周回方向を制限し、一方通行にすることで対面時間の削減に繋がると期待できる。ただし、スーパーマーケット等で一方通行のルールを厳格に遵守させることは難しいとも考えられる。

本研究では、簡単な周回通路を想定し、周回方向を制限することにより、歩行者同士の対面時間がどれだけ削減されるかについて、数値シミュレーションで評価することを試みる。歩行者の挙動は仮想バネモデルおよび反モーメントモデル[2]を組み込んだ離散要素法[3]でモデル化する。周回方向制限の効果を定量的に評価するとともに、一方通行のルールを守らずに逆方向に周回する人が混在したときの対面時間の変化についても調べる。

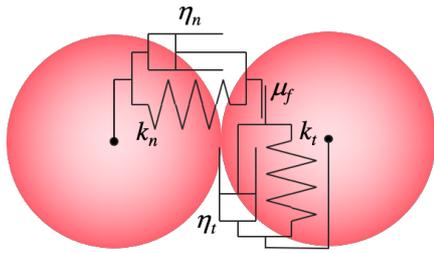


図 1: DEM 接触力モデル

## 2 計算手法

### 2.1 離散要素法

離散要素法(Discrete Element Method : DEM)は相互作用を及ぼしながら移動する個々の粒子挙動を解析する手法である。土木工学[4]、粉体工学[5]、粒子系混相流[6]などの分野で用いられてきたが、近年は歩行者流[7]にも適用されている。

離散要素法では互いに接触した粒子同士の相互作用力をバネ、ダッシュポット、スライダで表現する(図 1)。バネは弾性反発力を表し、ダッシュポットは非弾性衝突を表現するための粘性減衰力を意味する。スライダはすべり摩擦(動摩擦)を表す。

離散要素法における法線方向および接線方向の接触力は次式で与えられる。

$$\vec{f}_{C_n} = (-k_n \delta_n - \eta_n \vec{V}_{ij} \cdot \vec{n}) \vec{n} \quad (1)$$

$$\vec{f}_{C_t} = \min[-k_t \delta_t - \eta_t \vec{V}_{ij}, -\mu_f |\vec{f}_{C_n}|] \vec{t} \quad (2)$$

ここで、 $k$  はバネ定数、 $\delta$ は変形量、 $\eta$ は粘性減衰係数を表し、添字  $n, t$  はそれぞれ、法線方向、接線方向を意味する。 $\mu_f$ は摩擦係数、 $V_{ij}$ は粒子  $i$ と粒子  $j$ の相対速度、 $V_{ij}$ は粒子  $i$ と粒子  $j$ の接触点における接線方向相対表面速度である。 $\vec{n}$ は法線方向単位ベクトル、 $\vec{t}$ は接線方向単位ベクトルである。式(2)の記号  $\min[A, B]$ は  $A, B$  のうち絶対値の小さい方をとることを意味する。すなわち、接線方向接触力が小さいときには静止摩擦が作用し、しきい値を超えると動摩擦に切り替わることを表現している。

### 2.2 自己駆動性

離散要素法は岩石や粉体粒子などの挙動を表現するために用いられてきたものであり、歩行者の挙動に適用するには自己駆動性を付与する必要がある。本モデルでは静的フロアフィールド[8]を用いて歩行者の移動目的方向を与えた。

本計算では、ノイマン近傍を用い、移動目的方向は

上下左右の4方向のみで、斜め方向は選択しないものとした。離散要素法における粒子は連続空間上を移動するのにに対し、静的フロアフィールドは離散空間上で与えられる。つまり、静的フロアフィールドのグリッドを跨ぐ際に粒子の移動目的方向が離散的に変化することになる。ただし、離散要素法における歩行者粒子には慣性があるため、粒子は静的フロアフィールドで選択された方向に向かってただちに移動するわけではなく、連続的に移動方向を変えることになる。

### 2.3 仮想バネモデル

通常、前方に別の人がいることに気付くと、歩行者は速度を緩めるか方向を変えることで衝突を避けようとする。このことを表現するために、仮想バネモデル[2]を導入する。

図 2 に示すように、歩行者が前方に別の歩行者を認識した場合、両者の距離に比例した弾性力を作用させる。このことで、速度を緩める動作と前方の歩行者を回り込む動作の両方を表現できることになる。他の歩行者の影響を受けて仮想バネを作用させるのは、

- (i) 自分から一定の距離内にいる
- (ii) 一定の視野の範囲内にいる

の両条件を満たしたときのみとする。具体的には、図 2 の歩行者 A は歩行者 B を認識して仮想バネによる力を受けるが、歩行者 C や D は一定の距離外にいるため影響を受けず、歩行者 E や F は視野外にいるため影響を受けない。また、歩行者 B から見ると歩行者 A は視野外にいるため影響を受けない。つまり、仮想バネによる力については作用・反作用の法則は必ずしも成り立たない。

### 2.4 反モーメントモデル

離散要素法では接線方向の力により回転運動が生じるが、回転に対する抵抗力は働かない。また、歩行者は基本的に目標方向に正対しながら歩行する。本計算では、反モーメントモデル[2]を導入することで粒子の回転に対する抵抗を与え、歩行者が目標方向に正

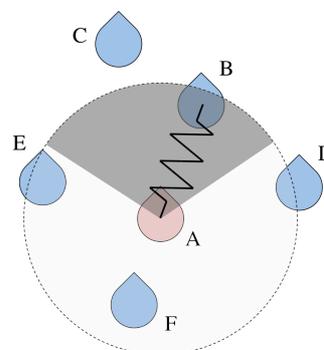


図 2: 仮想バネモデル

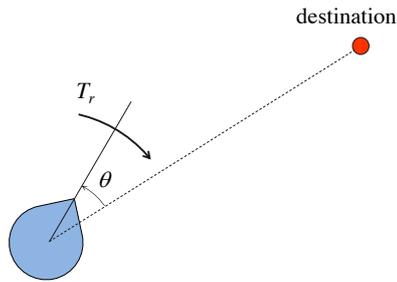


図 3: 反モーメントモデル

対しながら歩行する行動を表現する。

図 3 に示すように、歩行者の向きが目標方向からずれた場合、ずれを修正する方向にトルクを作用させる。本計算では、反モーメント  $T_r$  をずれ角  $\theta$  に比例するように与えた。ただし、ずれ角に比例するトルクだけでは回転の振動が生じるため、図 1 におけるダッシュポットと同様に角速度に比例する減衰項も加えた。したがって、反モーメント  $T_r$  は次式で与えられる。

$$T_r = -k_r \theta - \eta_r \omega \quad (3)$$

ここで、 $k_r$ 、 $\eta_r$  は比例定数であり、 $\omega$  は粒子の回転角速度である。

### 3 結果と考察

#### 3.1 計算条件

主な計算条件を表 1 にまとめる。歩行者は直径 0.4m の円形粒子で模擬する。仮想半径を 1.0m、視野角を左右 60 度ずつの 120 度とした。静的フロアフィールド (SFF) は 0.1m×0.1m の正方形グリッドとした。

図 4 に示すように、20m×20m の矩形領域内の外周部に幅 4m の通路を設定した。下部中央の幅 10m の出入口から歩行者が流入・流出する。領域内の歩行者の最大人数は 40 人とした。

歩行者質量	60	kg
粒子直径	0.4	m
歩行者粒子数	40	個
物理バネ定数	$1.0 \times 10^5$	N/m
仮想バネ定数	$2.0 \times 10^4$	N/m
仮想半径	1.0	m
粘性減衰係数	350	Ns/m
視野角	120	deg
反モーメント係数	50	Nm
モーメント減衰係数	100	Nms
SFF グリッドサイズ	0.1	m

表 1: 主な計算条件

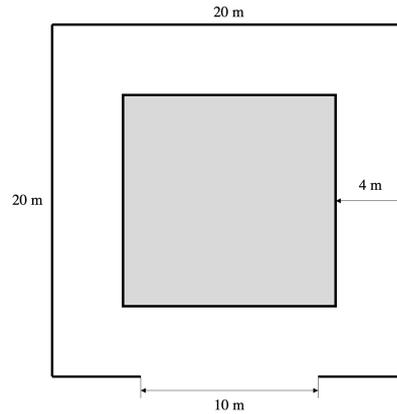


図 4: 計算領域

#### 3.2 計算結果

時計回り (赤色) と反時計回り (青色) の歩行者が 20 人ずつの場合 (対向割合 0.5) の計算結果の一例を図 5 に示す。両方向の歩行者ともコーナーの内側を通る確率が高くなるように静的フロアフィールドを設定しているため、各コーナーで歩行者同士が滞留する様子が見られた。これは朝霧歩道橋事故の数値シミュレーションで Tsuji[9] が指摘したものと同様である。

次に全歩行者の周回方向を時計回りに限定した場合 (対向割合 0.0) の計算結果の一例を図 6 示す。この場合には歩行者の滞留はほとんど見られず、スムーズな周回行動となった。

ウイルスの感染拡大を考えたとき、人同士が近距離で対面する時間の長さが鍵となる。ここでは、歩行者同士の距離が 1m 以内で、かつ両者の顔の向きが正対から ±10 度以内であるときを「対面している」と定義し、全歩行者の累積対面時間を求めた。本計算において、歩行者の流入タイミングや位置はランダムであるため、対向割合 0.5 の場合について 20 回計算を行い、累積対面時間の平均値を求めたところ、34.5 秒であった。

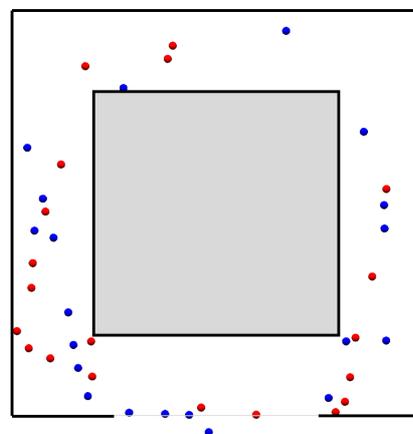


図 5: 計算結果例 (対向割合 0.5)

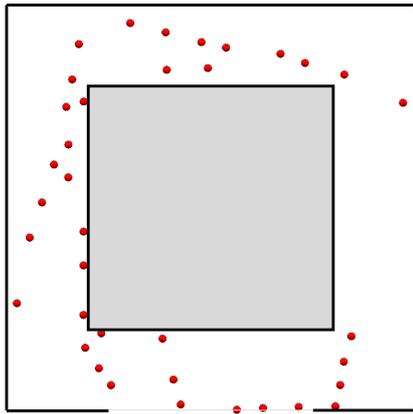


図 6: 計算結果例(対向割合 0.0)

一方、対向割合が 0.0 の場合には累積対面時間の平均値は 0.98 秒であった。つまり、周回方向を制限することで対面時間が 35 分の 1 程度に短縮されている。このことから、周回方向を制限して対面通行を避け、一方通行の流れを作ることで、歩行者同士が近距離で対面する機会を大きく減らせることがわかる。

しかし、スーパーマーケット等では一方通行のルールを全員に遵守させることは難しいかも知れない。図 7 に対向割合を変化させたときの累積対面時間の変化を示す。両者の関係が上に凸のグラフを描いていることから、一方通行のルールを守らない歩行者が少数混在するだけで、歩行者同士が近距離で対面する機会が大きく増加することを示唆している。例えば、対向割合が 0.1 のとき、累積対面時間は 14.3 秒である。つまり、40 人のうち 4 人が逆方向に周回するだけで、全員が同じ方向に周回しているときに比べて、対面時間が 15 倍近くまで増大している。

以上のことから、周回方向を制限することは歩行者同士が近距離で対面する機会の大幅な減少に繋がる

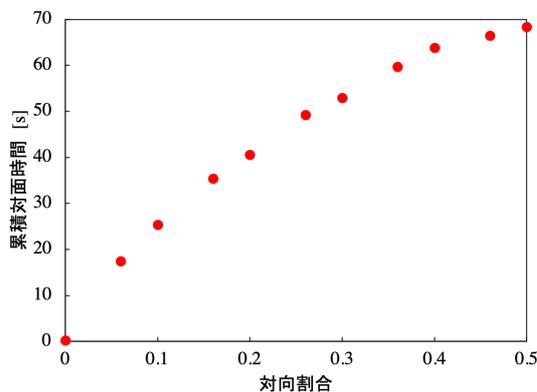


図 7: 対向割合と累積対面時間の関係

可能性が高いものの、ルール遵守を徹底しなければ、その効果は希薄になってしまうと言える。

## 4 まとめ

仮想バネモデルおよび反モーメントモデルを組み込んだ離散要素法を用いて、簡単な周回通路における歩行者挙動の数値シミュレーションを行った。歩行者同士の対面時間を定義し、逆方向に周回する歩行者の割合との関係を調べた。

その結果、周回方向が完全にランダムな場合に比べて、全員が一方通行になった場合には対面時間が 35 分の 1 程度になることを示した。ただし、1 割の人が一方通行のルールに従わないだけで、全員がルールを遵守する場合に比べて対面時間は 15 倍程度に増加した。このことから、対面時間を効果的に減少させるためにはルールを厳格に遵守させる工夫が必要であることが示唆された。

## 謝辞

本研究は JSPS 科学研究費補助金基盤研究(C) (課題番号:19K04936)の支援を受けた。記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省ホームページ, 新型コロナウイルス接触確認アプリ,  
[https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/co\\_coa\\_00138.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/co_coa_00138.html) (2020 年 11 月 3 日確認).
- [2] 川口寿裕, 第 20 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集 (2014) 83.
- [3] P.A.Cundall, O.D.L.Strack, *Geotechnique* **29-1** (1979) 47.
- [4] 木山英郎, 藤村尚, 土木学会論文報告集 **333** (1983) 137.
- [5] 日高重助, 金星直彦, 三輪茂雄, 粉体工学会誌 **26-2** (1989) 77.
- [6] 川口寿裕, 田中敏嗣, 辻裕, 日本機械学会論文集(B編) **58-551** (1992) 2119.
- [7] 清野純史, 三浦房紀, 瀧本浩一, 土木学会論文集 **537** (1996) 233.
- [8] Burstedde, C. et al., *Physica A* 295 (2001) 507-525.
- [9] Y.Tsuji, *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2003* (2003) 27.