

## 1 研究の要約

「荷物は体の前側に抱えてください」というポスターを電車内でよく見かける。この考えは「人々は自分の背中を見ることができない」ことに基づいているようである。そこで本研究では、背中を見ることができる場合でも、荷物を前に持つ方が後ろに持つよりも良いかどうかを明らかにすることを目的とし、衝突回避ゲームによる実験とロードウォーカーモデルによるシミュレーションを行った。衝突回避ゲームの実験では、衝突回避の観点から、360度の視界で荷物を前に持つ方が後ろに持つよりも優れていることが明らかになった。また、ロードウォーカーモデルによるシミュレーションでは、荷物を前に持つときと後ろに持つときの衝突の仕方が異なり、その違いが優位性の原因であることが示された。

## 2 研究動機と目的

電車やバスなどの身近な公共交通機関において、「荷物は体の前側に抱えてください」という内容のポスターや車内放送がされる。日本民営鉄道協会が行った電車内での迷惑行為に関するアンケート<sup>[1]</sup>で「荷物の持ち方・置き方」が1位になっていることから、電車内における荷物の持ち方が非常に大きな問題であることが分かる。私たちは、荷物を体の前側に抱えることが自分の持つ荷物と他人との衝突を避けることにおいて本当に効果的なのか疑問を抱いた為、この課題を設定した。本研究では、混雑した電車内での移動を仮定し、荷物の持ち方が荷物と人との衝突にどのように影響するのかをシミュレーションによって明らかにし、混雑した電車内でより多くの人が快適に過ごせるような方法を見つけることを目的とする。

## 3 仮説と研究方法

「電車内では荷物を前に持った方が良い」という考えは、「人は自分の背中を見ることができない」ことに基づいているようである。そこで、「360度見えるときでもこの考えが当てはまるのだろうか」と考えた。まず、「視界情報に関わらず、前に荷物を持つ方が後ろに持つよりも衝突しにくい」という仮説を立て、この仮説を検証するために、以下の2つの仮定を設定した。

- (1) 360度見える、すなわち、視界が全方位にある場合、混雑した電車内では前に持つ方が後ろに持つよりも衝突しにくい。
- (2) 現実世界と同様に視界を前方のみに制限した場合、混雑した電車内では前に持つ方が後ろに持つよりも衝突しにくい。

これらの仮定に対して、荷物の前後により衝突にどのような差があるのかを数値化して調べるために、衝突をモデル化しシミュレーションを作成した。このシミュレーションではProcessingというプログラミング言語を用いた<sup>[2]</sup>。Processingを用いてコンピュータ上でシミュレーションを行うことで、手軽に実験が行えるだけでなく、実際に電車に乗る実験ではできない複数の状況(経路、視界比較、対象物の認知距離の数値、歩行を阻害する物理的障害物など)を自由に設定できる。また、衝突時間などのデータを正確に取得できる、シミュレーション結果の視覚化により結果や問題点を説明しやすいなどの利点もある。

## 4 結果と考察

### 1) 衝突回避ゲームによる衝突実験

現実世界において、荷物も何も持っていないときは、ぶつからずに移動しようと思えばほぼぶつからずに移動できる。一方で、荷物を持っていることによって、荷物という自分の意思では完全に操作しきれないものができる。すなわち、自身が拡張されたとき、ぶつからずに移動しようと思ってもぶつかってしまうという現象が起きる。なぜなら、荷物によって拡張された空間がどう動くかは、自分自身が想定しきれないからである。

そこで、「荷物の持ち方によって、自分が想定していない挙動をどれだけ行うのか」ということに着目し、それを調べるために「衝突回避ゲーム」を作成し実験を行った。

この衝突回避ゲームでは、プレイヤーは荷物を運ぶ人を上から俯瞰的に眺めながら、障害物を避けゴールを目指す。視点を俯瞰的に眺めたものにする事で、視界が全方位であると仮定し、視界が衝突に与える影響をなくすることができる考えた。

衝突回避ゲームは、以下のような操作ルールを設定した。

- (1) キーボードを押すことで前または左右に進む。
- (2) 制限時間を設ける。
- (3) 人、荷物、障害物はそれぞれ円で表現する。
- (4) ゲームのフィールドは直線状の壁で区切る。
- (5) 障害物や壁に衝突している(触れている)間の時間(衝突時間)を計測する。
- (6) 壁や障害物への衝突時には通り抜けるようにする。

それぞれの操作ルールについて、(1)は人の複雑な動きをシンプルな要素にするため、(2)は衝突が少なくてもあまりにも長時間かかるような動きは現実的でないと思われたために設定した。(3)は衝突の計算を簡単に行うために、(4)はゴールまでの経路を制限するために設定した。(5)、(6)は、「壁の中の障害物以外のスペースを利用しながらゴールを目指すときに、それ以外の領域に意図せず侵入してしまう」ということがどれだけ起こるかを定量化するために設定した。ここで、壁や障害物にぶつかったときに、跳ね返ったり滑ったりといった挙動をしないようにしたのは、衝突の程度(どれだけ大きな衝突だったか)まで含めて定量化するためであり、また、跳ね返ったり滑ったりする挙動を考慮すると、どのような衝突でも衝突するのは瞬間的になり、衝突の度合いを計測できないからである。

この衝突回避ゲームにおいて、障害物の密度が、荷物を前後に持つ場合の衝突の差にどのような影響を及ぼすのかを調べるために、衝突回避ゲームを用いた予備実験を重ねた。その結果、この実験では障害物の縦の間隔を揃え、横の間隔をランダムにした配置マップを5種類用意し、各マップについて30回ずつ実験した。なお、図1は実験で使ったマップであり、例えば、「 $v80 \times h[140 \times \text{rand}]$ 」とは、障害物の間隔が、縦方向は80で固定し、横方向は140に0.8~1.1の乱数を乗じた値を間隔にして配置していることを表している。

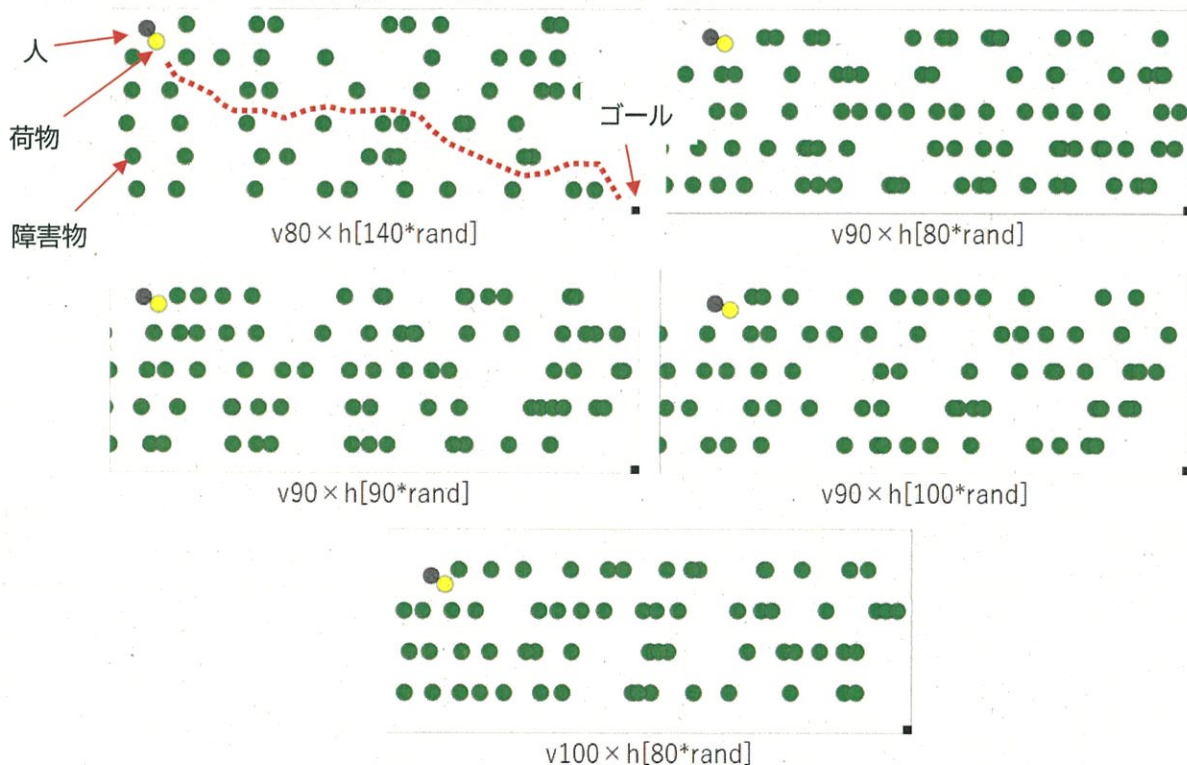


図1 実験で使ったマップ

表1において、「front」は荷物を前に持ったとき、「back」は荷物を後ろに持ったときの衝突時間を表している。ここでの「衝突時間」とは、人が障害物、壁と衝突している時間の合計を実験の試行回数で割ったものである。また、「障害物密度」はフィールド内の障害物の割合(%)を表す。なお、実験は研究グループのメンバーが行った。実験後、荷物を前に持つときと後ろに持つときで衝突時間に差があるかについて、Welch の t 検定を行った。有意差は\*を  $P<0.05$ , \*\*を  $P<0.01$  とする。図2は、各マップでの荷物の持ち位置と衝突時間をエラーバー付き棒グラフで表したものである。

表1 マップ毎の荷物の位置による衝突時間の差

|                 | 障害物密度  | front    | back     | 有意差 |
|-----------------|--------|----------|----------|-----|
| v80×h[140*rand] | 9.428  | 9.240003 | 8.986671 |     |
| v90×h[80*rand]  | 13.411 | 9.736672 | 14.66002 | **  |
| v90×h[90*rand]  | 11.829 | 5.506667 | 9.423343 | *   |
| v90×h[100*rand] | 11.487 | 3.926666 | 10.74334 | **  |
| v100×h[80*rand] | 10.494 | 1.056667 | 3.28     | **  |

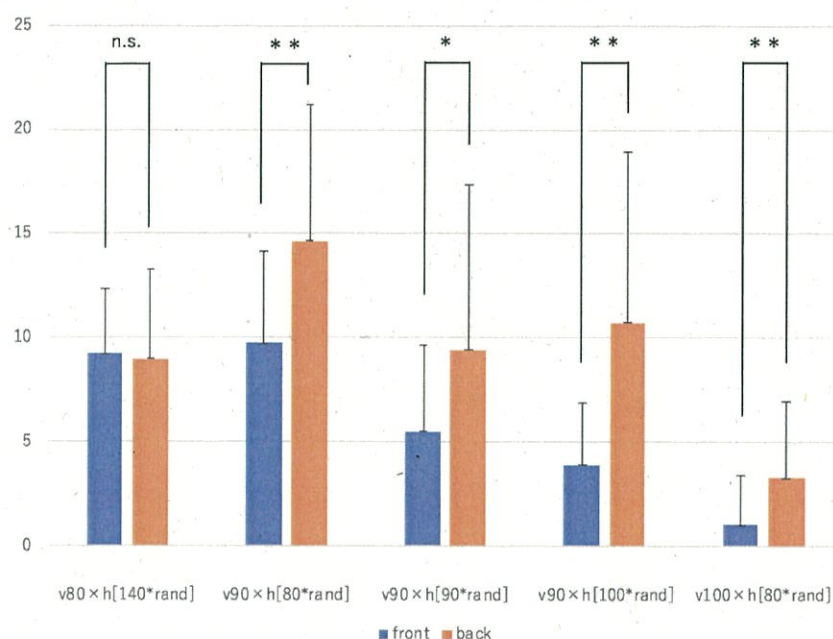


図2 各マップでの荷物の持ち位置と衝突時間の比較

表1, 図2より, 視覚を全方位に仮定した場合でも, ある程度密度が高くなると荷物を前に持つ方が, 後ろに持つよりも衝突を少なくすることができることが分かった。また, 密度が低いマップでは, 前に持ったときと後ろに持ったときで衝突時間に有意差がないものがあることも分かり, 全てのマップにおいて前に持つ方が後ろに持つよりも衝突時間が小さいとはいえなかった。

一般的に衝突時間の大小には視覚が大きな因子であると思われるが, ではなぜ視覚の条件を同じにしても前に持つ方の衝突が少ないのだろうか。今回, 障害物は固定されているため, 衝突を起こすのは人または荷物が動いたときである。この実験で人または荷物が動くのは, 回転したとき, 前進したとき, の2通りである。したがって, 衝突は図3のように4パターンに分類される(以下, 「前・前進」/「後・前進」/「前・回転」/「後・回転」というように表す)。

このパターンの中で, それぞれがどのくらい起きるかについて考えてみると, まず後・前進のパターンは, 人と障害物の衝突であるのに対して, 他は全て荷物と障害物の衝突である。したがって, 後・前進の衝突が一番起きにくいと思われる。

図3から分かるように, 前・回転は, 人の目の前のスペースに障害物があるため, このタイプの衝突は障害物がある方向にわざわざ曲がろうとしない限り起きない。また, 前・前進の衝突も, 障害物があるのにわざわざ進もうとしな

い限り起こらない。一方で、後・回転はこれらのパターンと異なり、人の前方のスペースに何も無いが、後ろにある荷物の行動の仕方を配慮出来ないで衝突が起こる。これと前に荷物を持つときの方の衝突時間が短いというデータと合わせて考えると、衝突の頻度は、「後・回転 >> 前・回転, 前・前進 > 後・前進」というようになっており、それによって前に持つときの衝突が少なくなると考えられる。つまり、前進による衝突は前に持っても後ろに持っても関係なく少ないのに対して、回転による衝突は前に持つ方が少なくなるために、全体として前に持つ方の衝突が少なくなったと考えられる。

この違いが、後・回転の衝突時間が最も長くなる原因だと考えられる。したがって、人の目の前のスペースに荷物を持つことがぶつかりにくくなる方法であると言える。

言い換えると、荷物を前に持つ場合は、荷物の移動方向が人の進行方向と一致するために、衝突が回避されやすかったのではないかと考えられる。

実験結果から、マップによって前後で有意に差が認められるときと、認められないときがあることもわかったが、先述したような「荷物の前後で衝突の仕方が異なる」ということを加味すると、有意差が認められたマップでは回転の回数が多かったのに対して、認められないマップでは回転の数が少なかった可能性がある。

また、障害物の密度と衝突時間の関係を見てみると、有意差が認められたマップでは、密度と衝突時間の間に関係があるように思われた。しかし、調べたマップの数が少ないことや、衝突を起こす障害物はゴールまでの経路上のものだけであり、経路にない障害物はどれだけあっても衝突に影響しないこと（障害物の分布が不均一なときは、出来るだけ障害物の少ないところを通るため、障害物の多くは衝突に影響しない）から、密度との関係を明らかにするにはさらなる実験が必要と考えられる。

## 2) ロードウォーカーモデルによるシミュレーション

衝突回避ゲームの結果から、視界が全方位にある場合でも荷物を前に持つ方が衝突しにくいことが分かった。その違いの原因としては、衝突の仕方が重要であると考えられた。また、障害物の密度と衝突時間の間に関係性があるようにも考えられた。しかし、衝突回避ゲームでは手動による実験のため、様々な条件を検討することはできなかった。そこで、衝突回避ゲームをモデル化し、荷物の位置の違いが衝突回数の差を生み出す仕組みと、障害物の密度と衝突回数の関係性を明らかにすることを目指した。

このモデルは、衝突回避ゲームをさらに単純化して作成した。まずマップを格子状に区切り（それぞれのマスを「セル」と呼ぶ）、空間を離散的に扱うことにした。そして、それぞれセルと同じサイズの荷物と人（ロードウォーカー）が、回転と前進を繰り返しながらゴールを最短距離で目指し、その時の衝突回数を測定することにした。

最短経路を計算するためルールは Cellular Automaton に基づいて実装した。最短経路は以下のように計算した。まず、ゴールの位置（図4の赤い四角）から水を流し、それぞれのセルに水が到達するまでにかかった時間を計測する。この時間はそのセルからゴールまでの距離を反映する。この方法によって距離を計測し、ゴールまでの距離が遠い程濃い青色になるように描画したものが図4である。

荷物を持った人（ロードウォーカー）の動きは Agent-based model に基づいて実装した。ロードウォーカー（図4の黄色の四角、ピンク色の円が荷物）は左右と前から最適なセルを選び、回転と前進を繰り返してゴールに向かう。また、障害物同士の距離はセルに対して十分に大きく設定されており、ロードウ

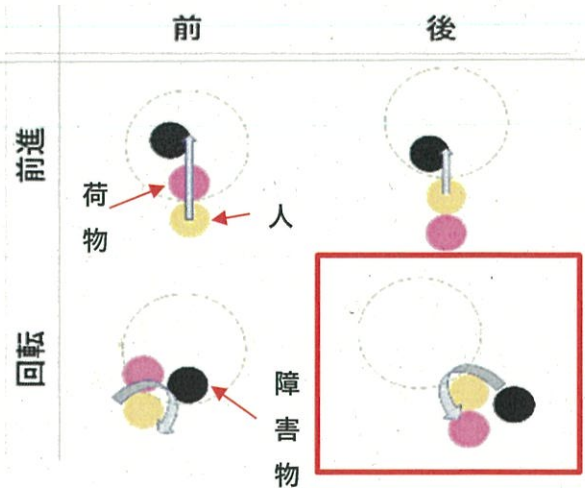


図3 衝突のパターン

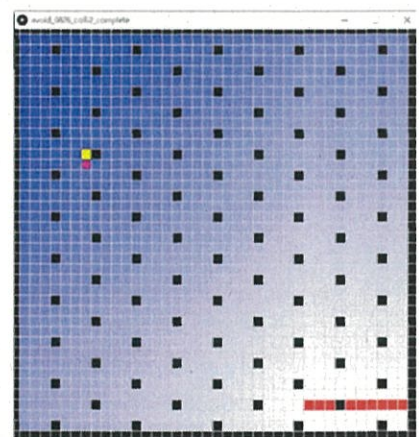


図4 プログラムの画面

オーカーは障害物を避けて進むことができる。この設定のもとで、配置された障害物(図4の黒色の四角)と荷物の衝突について調べた。

衝突判定に関しては、次のように設定した。まず、衝突回避ゲームの分析より、衝突は、直進してぶつかるものと回転してぶつかるものの2種類に分類できる。衝突回避ゲームでは障害物と荷物や人が重なっている時間を計算し、衝突時間を計測したが、このモデルでは actual\_collision と near\_collision という2種類の衝突判定の方法を設定した(図5)。

図5で示すように、actual\_collision は障害物と荷物が重なっているときに衝突したと判定され、near\_collision は障害物と荷物が隣り合っていて、荷物の進行方向や回転方向、回転途中に障害物があったときに判定される。人は障害物とぶつかることはほぼないと考えられるため、人と障害物の間では near\_collision は判定されない。

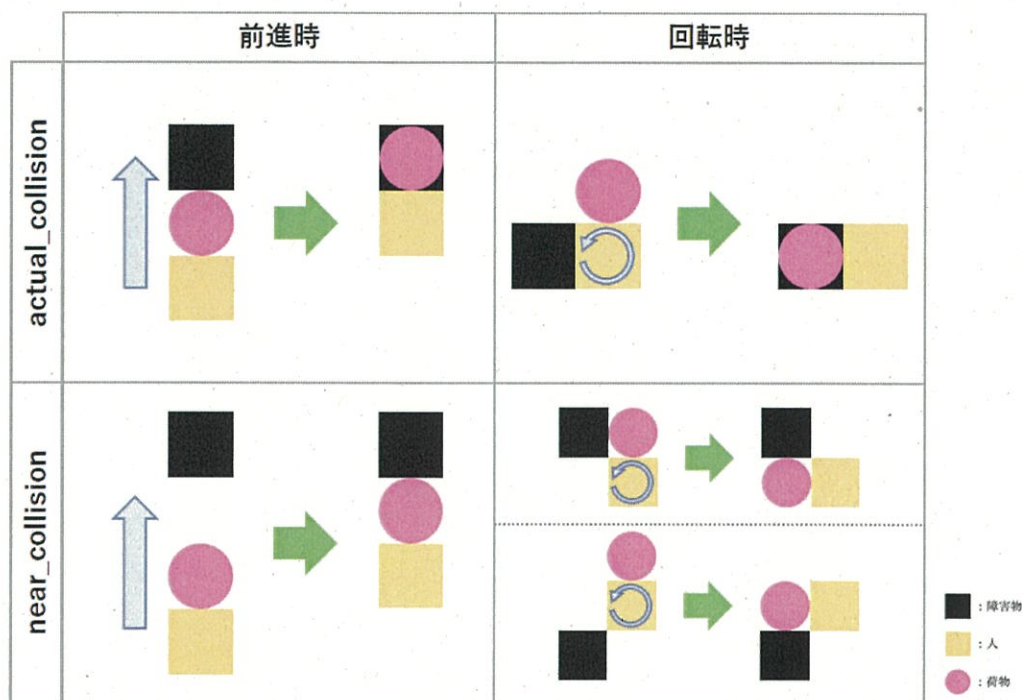


図5 ロードウォーカーモデルにおける衝突判定

また、衝突回避ゲームにおけるプレイヤーの行動をモデル化するため、ロードウォーカーの行動を決定するルールについて、以下の blindfold, avoid1, avoid2 という3種類のルールを考えた。

- blindfold : 前に障害物があるかは行動に影響しない。目隠しのような状態。
- avoid1 : 前に障害物があると強制的に曲がる。
- avoid2 : avoid1 と同様だが、曲がるときに周りに障害物がない方向に曲がる、または曲がらずに直進する。

例：人が前に荷物を持っているとき

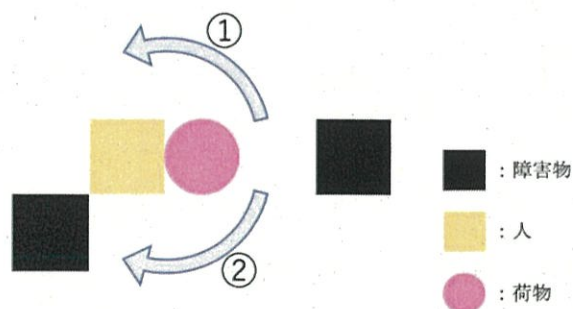


図6 avoid2 における動き

例えば、前に障害物があって曲がるときに、図6の②の方向に曲がればぶつかってしまうが、①の方向に曲がれば衝突は起きにくい。avoid1 では①、②どちらにも曲がりうるが、avoid2 では①の方向に曲がる。

実際のロードウォーカーの回転, 前進の意思決定のフローチャートは, それぞれ図7, 図8のようになっている。

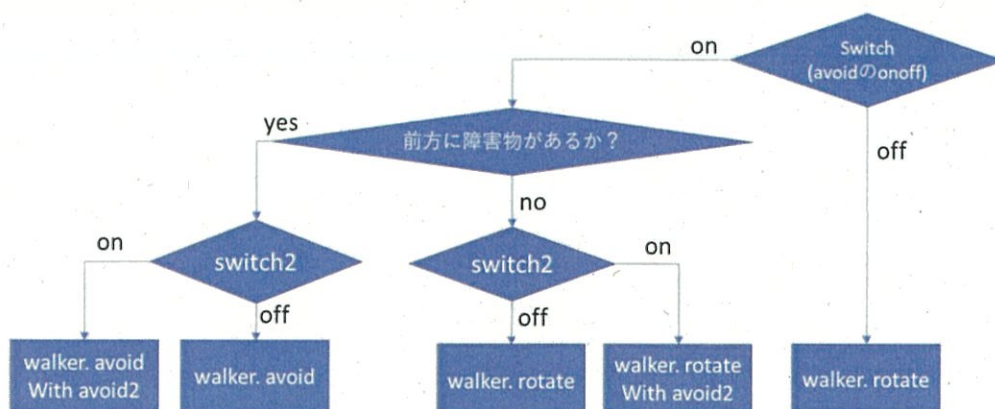


図7 回転のフローチャート

walker.avoid では強制的に回転し, walker.rotate では左右と前から距離が少ないセルを選ぶ。“With avoid2”があるときには, 周囲の障害物を考慮して移動するマスの選択を行う。前に障害物があるときはすぐに前進せずもう一度回転する。そして walker.walk で進む。

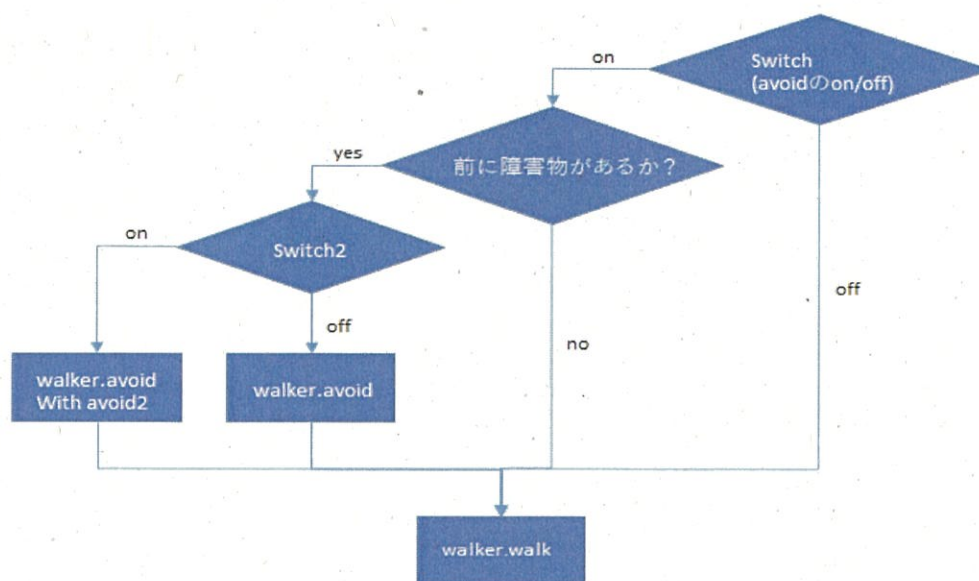


図8 前進のフローチャート

このモデルを用いた実験は, 図9に示すような障害物の密度の異なる2つのマップ(map5-5, map3-3)を用意して行った。それぞれのマップとパターンに対して100回ずつデータを取り, 分析を行った。以下, 「front」と「back」は荷物の位置を表す。

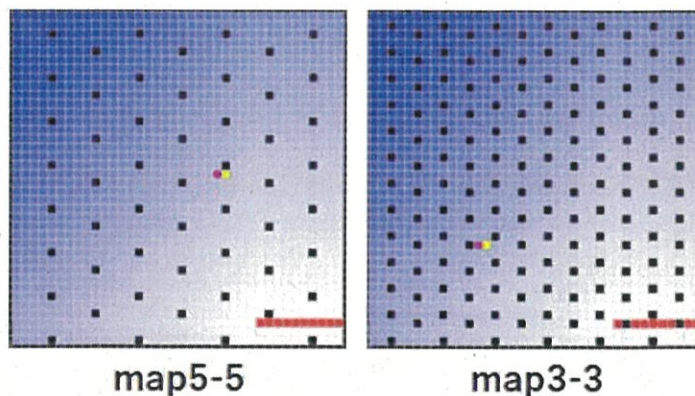


図9 実験を行ったマップ

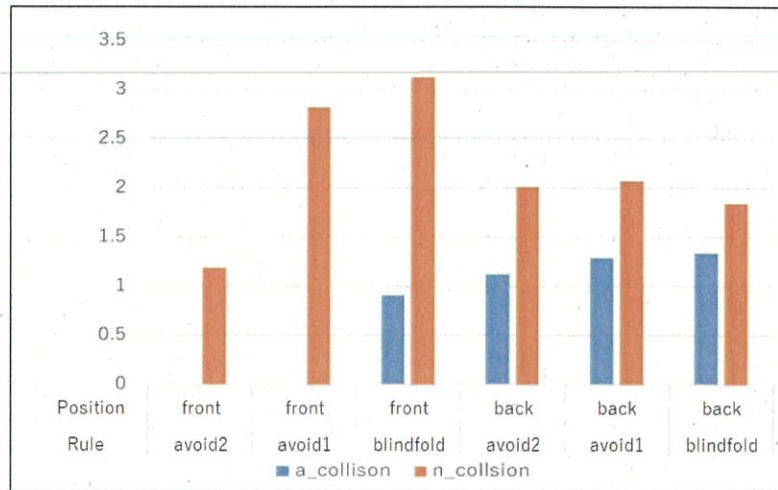


図10 map5-5の結果

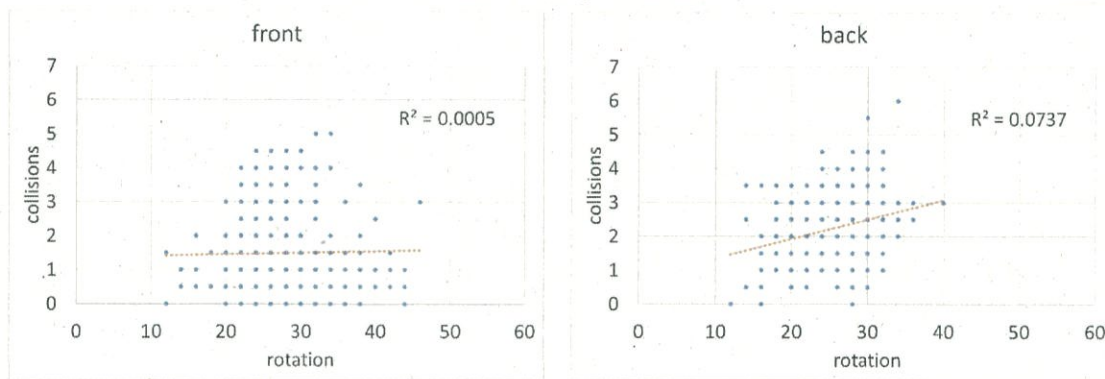


図11 map5-5における回転数(rotation)と衝突回数(collisions)の関係

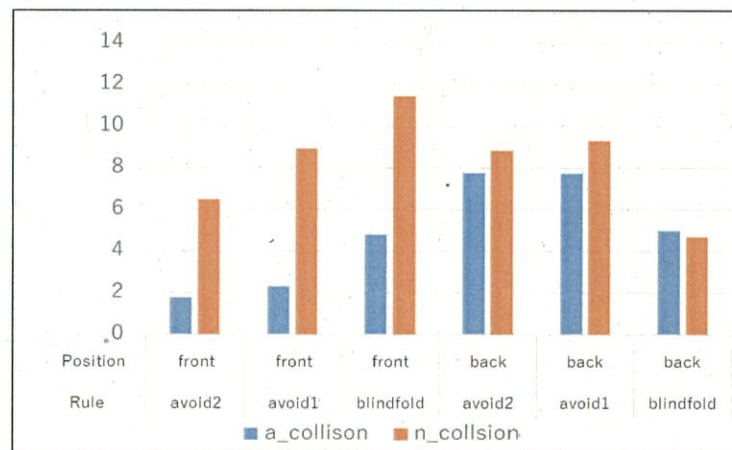


図12 map3-3の結果

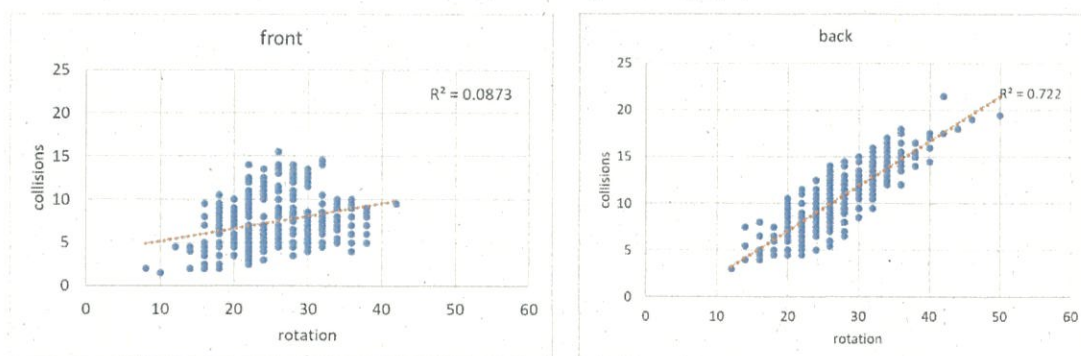


図13 map3-3における回転数(rotation)と衝突回数(collisions)の関係

図10, 図12の結果より, blindfold を適用すると, map5-5 の actual\_collision 以外の全てで front の衝突回数が大きくなり, avoid1, avoid2 を適用すると, front の actual\_collision が back よりも小さくなることが分かった。また, avoid1 と avoid2 を比較すると, back での衝突回数と front での actual\_collision ではほとんど差がないのに対して, front の near\_collision は avoid2 の方が小さかった。

また, 図11, 図13の相関図より, 回転数と衝突回数の関係について, back が front よりも回帰直線の傾きが大きく, 相関係数も大きいことが分かった。

この実験では, blindfold を適用すると front での衝突回数が多く, 衝突回避ゲームの結果とは異なっていた。一方で avoid1 と avoid2 を適用すると, actual\_collision に関してはどちらも front が back よりも衝突回数が少なくなった。このことから, 衝突回避ゲームの結果に近い avoid1 もしくは avoid2 が実際の人の動きに近いと考えられた。つまり, 衝突回避ゲームにおいてプレイヤーは「目の前の障害物との正面衝突を回避する」という単純なルールに基づいて操作していると考えられる。

ここまでの考察より, avoid1 と avoid2 のどちらでも front の actual\_collision が小さいことは, 「目の前の障害物との衝突を回避する」というルールだけで十分 front の衝突は避けられるということを示している。これは衝突回避ゲームで述べた衝突の仕方が異なる, という考えを支持する結果である。また回転数と衝突回数の関係からも, 荷物の持ち方で衝突の仕方が異なるということが分かる。

また, avoid1 と avoid2 の比較から, 「周囲に障害物がないか」に注意を払えばさらに衝突を減らせる可能性があることも示唆される。

なお, blindfold で front の衝突回数が大きくなった理由としては, near\_collision と actual\_collision のどちらでも, 前進による衝突は front でしか判定されないためと考えられる(図5)。

## 5 結論と今後の課題

まず, 研究の前半では, 衝突回避ゲームを作成することで, 荷物の持ち方が衝突しやすさに実際に影響を与えること, そしてそれが必ずしも「荷物が見えること」に依っているわけではないことを示した。

後半では, 衝突回避ゲームを単純化したロードウォーカーモデルを作成し, 前に持つ方の衝突が少ない理由として「荷物を前に持つときは正面衝突が起きやすく, 後ろに持つときは回転衝突が起きやすいこと」と「正面衝突は起きにくいこと」が原因であることを示した。

従来, 荷物を前に持つメリットは「荷物が視界に入る」ことにあると考えられてきた。しかし今回の研究により, 「人が移動するときはほぼ確実に前方にスペースが空いているため, 前に荷物を持つ方が衝突を起こしにくい」という新しいメリットが明らかになった。

また, 混雑した電車内では, (電車の乗降時でなければ)人の運動の多くはその場での回転運動と考えられる。研究の前半で示したとおり, 回転運動で衝突を起こしやすいのは荷物を後ろに持っているときである。つまり, 混雑した電車内では, 移動していないときでも荷物を前に持つ方がよい可能性があるといえる。

今後は出口を複数にしてマップを電車内に近づけ, さらに, 障害物を動かすことで, 人間どうしがすれ違うときに荷物を前に持つことが, 衝突を避ける点においてどれくらい有効なのか調べたい。

全国の高校生が電車内で荷物を前に持つことで, 回転運動による不必要な衝突が減少し, その結果, 世界が少しだけ平和になるかもしれない。

## 参考文献

- [1]一般社団法人日本民営鉄道協会, 「平成 30(2018)年度 駅と電車内の迷惑行為ランキング」, <https://www.mintetsu.or.jp/activity/enquete/2018.html>(閲覧日:2019年9月10日)。
- [2] Daniel Shiffman, B スプラウト訳, 尼岡利崇監修, 『NATURE of CODEーProcessing ではじめる自然現象のシミュレーション』, ボーンデジタル(2012年)。