

2.2 渋谷スクランブル交差点

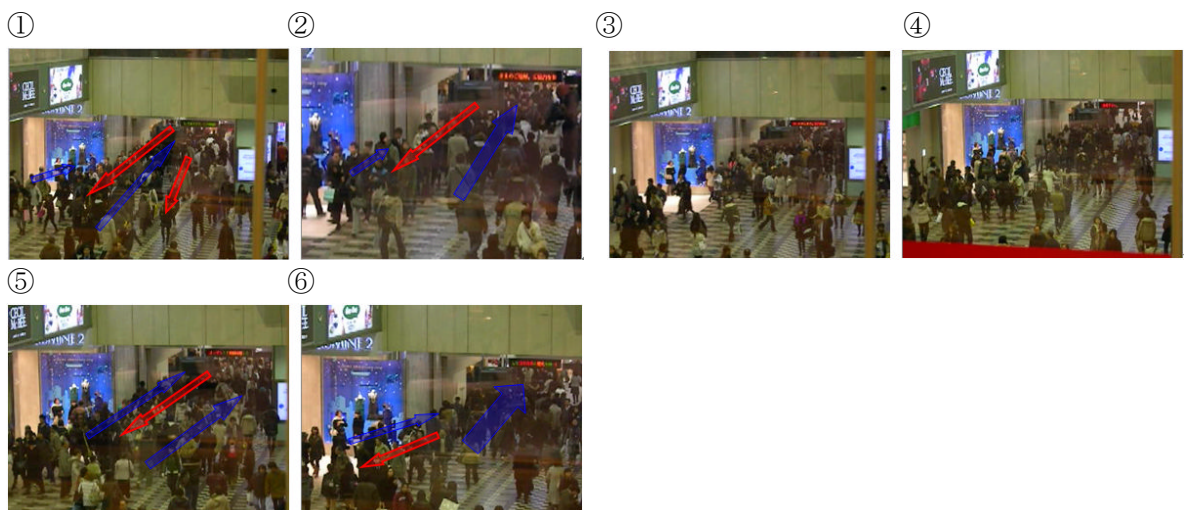
渋谷駅のスクランブル交差点の人の流れを撮影した。時間帯は 16:00~17:00 の間で行った。レーン形成という現象を撮影することができたので紹介する。



最初レーン形成は見られないが、正面衝突する少し前辺りから徐々に流れが形成している様子が分かる (③)。その後衝突するとレーン形成をはっきりと見ることができ、時間が経つにつれて流れの方向は微妙に変化するが、レーンが崩れることはなかった。人が少なくなるにつれてレーン形成も消滅していく様子も見られた。これは前の人について行った方が効率よくスムーズに目的地に到着することが出来るためであり、群集の行動の特徴の一つである。

2.3 大宮駅

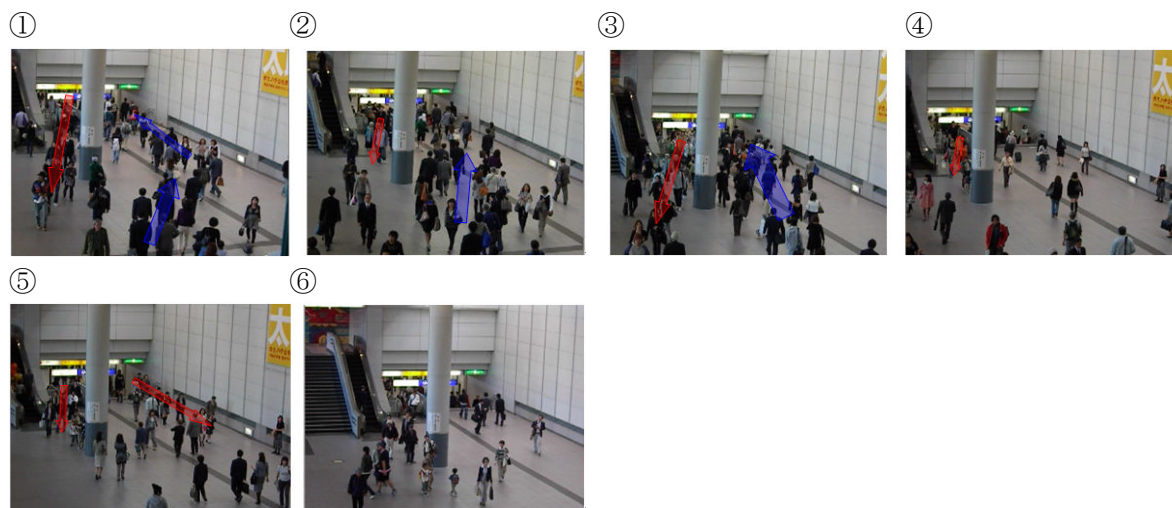
大宮駅の豆の木前で撮影を行った。時間帯は人の多い 18:00~19:00 の間で行った。



写真を見ても分かるように大宮駅は常に混雑している様子が見て取れる。しかしそれと同時に常に同一方向のレーンが形成されている様子も見る事ができる。この結果からも人は混んでくると前の人の後を追うという傾向があることが分かる。さらに写真では分からないが、大宮駅などの狭い通路で群集同士がぶつかるとうちろかが譲り、流れが一旦止まるという現象や、人の密度が高くなるほど(混雑するほど)、歩行速度も下がるという現象を見る事ができた。

2.4 渋谷井の頭線連絡口

渋谷の井の頭線と JR の間の連絡口で撮影を行った。時間帯は 16:00~17:00 の間で行った。



ここでもまたレーン形成している様子が見て取れる。この井の頭線連絡口の面白いところは、写真中央左の柱を境に見事に流れが分断しているところである。写真手前から奥に向かう人は柱の右を行き、写真奥から手前に向かう人は柱の左を歩いているのが分かる。奥に上りのエスカレーターがあるため、奥から手前に来る人が柱の左に集中しているためだと思うが、非常に良い位置に柱が設置されているのが分かる。設計者がこれを意図して設計したのかは分からないが、興味深い結果が見られたと思う。

3. 個体間のシミュレーション

3.1 シミュレーション方法

エージェントにある命令を与え、そのエージェントが障害物に当たった時にどのような行動をとるのか分析した。

エージェントはエージェント 1 (青) とエージェント 2 (赤) の 2 種類であり、エージェント 1 は画面左から直進し、エージェント 2 は静止している。そしてエージェント 1 の視野範囲内にエージェント 2 がいる時、エージェント 1 はランダムに空いているスペースに移動するように設定してある。エージェント 1 がエージェント 2 を避けたときに Position1~Position5 のどこへ向かうのかを実験した。さらに、エージェント 1 の出発点を変えて同様に実験を行った。エージェント 1 の視野範囲 (黄色いマス) と各出発点を図 1 に示し、各場所でエージェント 1 はどのような行動をとるのかを表した図を図 2 に示す。また、Position1~Position5 のどこへ向かったかを表すグラフを図 3~図 5 に示す。グラフの横軸は Position1~Position5 のどこへ向かったかを表し、縦軸はその場所へ向かったエージェントの数を表している。実験はステップ数 1000 で行った。

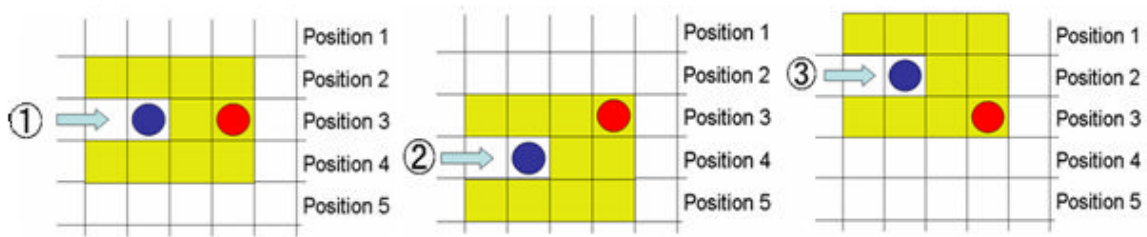


図 1. エージェント 1 の視野範囲（黄色いマス）と各出発点

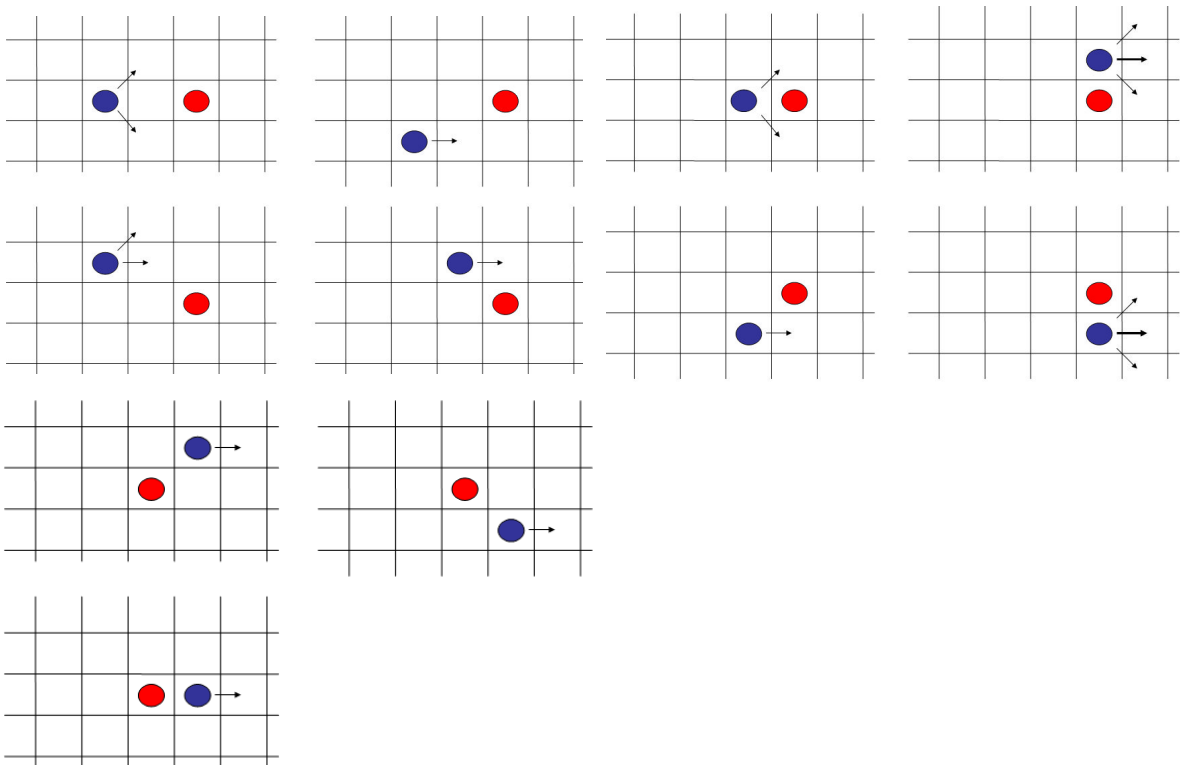


図 2. 各場所でのエージェントの行動

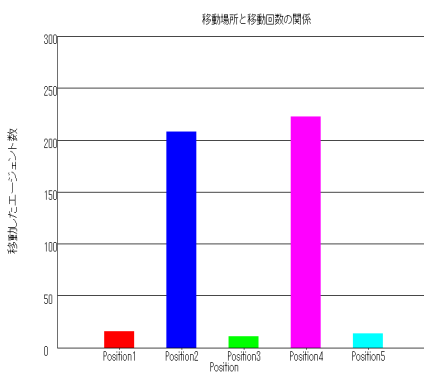


図 3. ①から出発した時

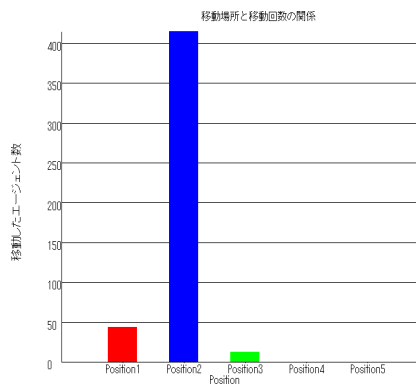


図 4. ②から出発した時

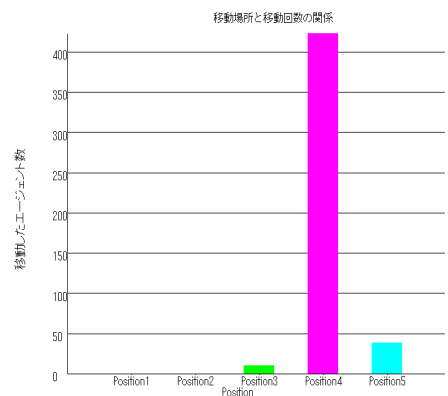


図 5. ③から出発した時

図3～図5より、①から出発させたエージェントは Position2 と Position4 に集中し、他の Position にはあまり移動しなかった。また②、③から出発させたエージェントはそれぞれ偏っている方向に多く移動することが分かり、反対側の Position には移動しないことが分かった。これは実際の人々の行動において、目の前に障害物があればどちらかへ避けるし、なければ敢えて避けることもないということを表している。また、避けるときは必要最低限の動きで済むように、大きく移動することはないということも表している。

3.2 3対1のシミュレーション実験

今度は図6のように画面左から出現するエージェント1を3人に増やして実験を行った。エージェントが増えることにより、避けるパターンも多くなる。エージェント1が避けるプログラムの全通りを図7に示し、シミュレーションの結果を図8に示す。今後この障害物を避けるルールを「障害物回避ルール」と呼ぶ。

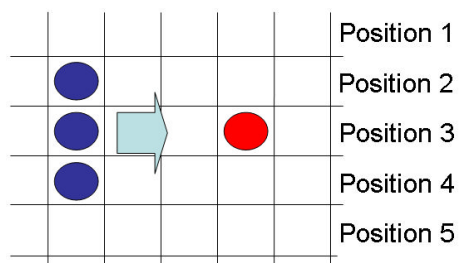
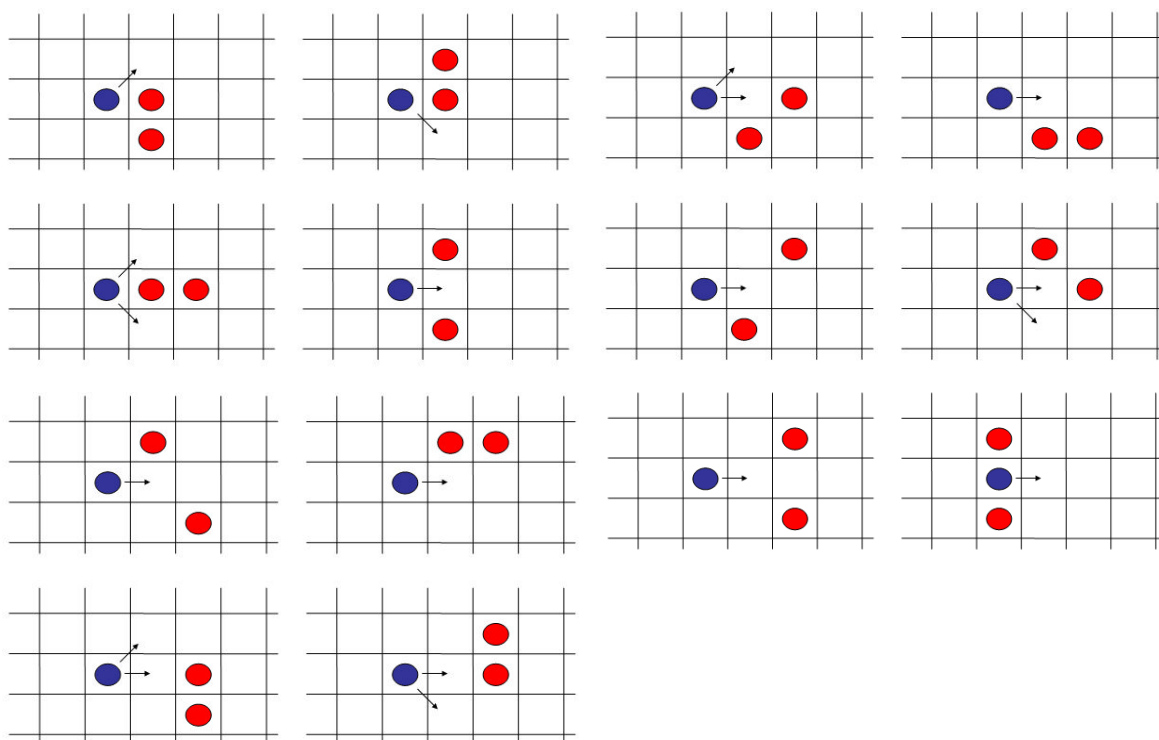


図6. 3対1のシミュレーション



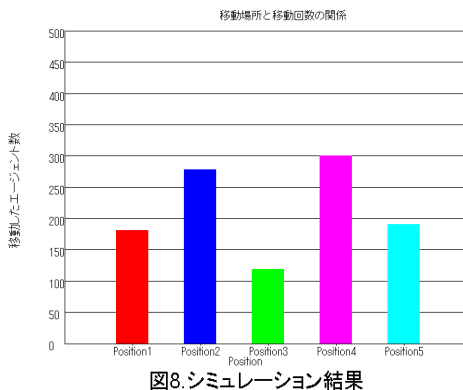


図8.シミュレーション結果

Position2 と Position4 に行く確率が高く、次に Position1、Position5、一番行く確率が低いのは Position3 という結果になった。先ほどの1対1のシミュレーションの結果と比べて Position1 と Position5 の両端に行く確率が上がっているのが分かる。これはエージェント 1 を 3 人に増やしたことによって、一人が動くとその周りの 2 人のエージェントも連動して動くためである。真ん中のエージェントが上に動けばもともと上にいたエージェントはその動きを認識して上に行くし、その逆も考えられる。これは実際の人行動においても周りの人の動きに影響を受けながら進んでいくのは当然のことであるので、妥当な結果が出たと思う。

3.3 個体間のシミュレーションまとめ

「障害物回避ルール」のみによって現実の人の行動に近いものを表現することができた。人は最小限の動きで障害物を避け、周りに人がいればその人の動きに影響を受けて行動するということが分かった。

4. 群集のシミュレーション

4.1 シミュレーション方法

個体間のシミュレーションをもとにして、今度はエージェント同士が群集でぶつかった時にどのような行動をとるのか分析した。エージェントはエージェント 1 (青) とエージェント 2 (赤)、壁エージェントの 3 種類である。

4.2 群集のシミュレーション検証 (正面衝突)

エージェント 1 は画面左からランダムに出現し、エージェント 2 は画面右からランダムに出現する。壁エージェントは静止しているエージェントである。まずエージェント 1 とエージェント 2 を正面衝突させどのような行動をとるのか実験した。シミュレーションモデルを図 9 に示し、実際のシミュレーションの様子を図 10 に示す。各エージェントの発生率は 0%~100%の間で設定可能である。

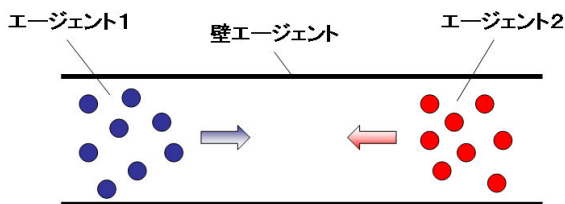


図 9.シミュレーションモデル

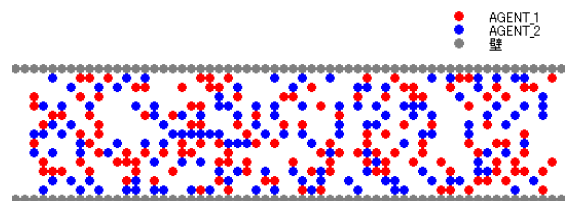


図 10.シミュレーション様子

図 9 より、エージェント 1 とエージェント 2 が入り乱れている様子が見て取れる。しかし実際の人流れとして、右に歩く集団と左に歩く集団が一つの通路に入ってきたら、フィールドワークでも説明したとおり、レーンというものが形成されることが分かっている。そこで「障害物回避ルール」だけではレーン形成されないの、フィールドワークを基にして「足跡ルール」という新たなルールを導入した。

4.3 足跡ルール、足跡ルール発動条件

エージェント 1、エージェント 2、それぞれが通った後に足跡を残すように設定し、足跡の多い方向にエージェントが移動するように設定した。エージェント 1 はエージェント 1 の足跡を認識し、エージェント 2 はエージェント 2 の足跡を認識する。また、常に足跡を認識すると現実の行動と離れてしまうため、各エージェントの前方の任意の範囲に自分以外のエージェントがいる場合のみ「足跡ルール」が発動するようにしてある。これは実際の人々の行動と同じであり、前方から向かってくる人がいないのに足跡を追うような人はいないはずである。「足跡ルール」の簡略図を図 11 に示し、「足跡ルール」発動条件を図 12 に示す。

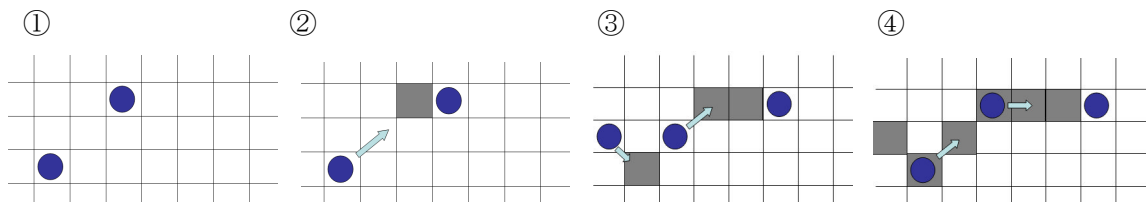


図 11. 「足跡ルール」簡略図

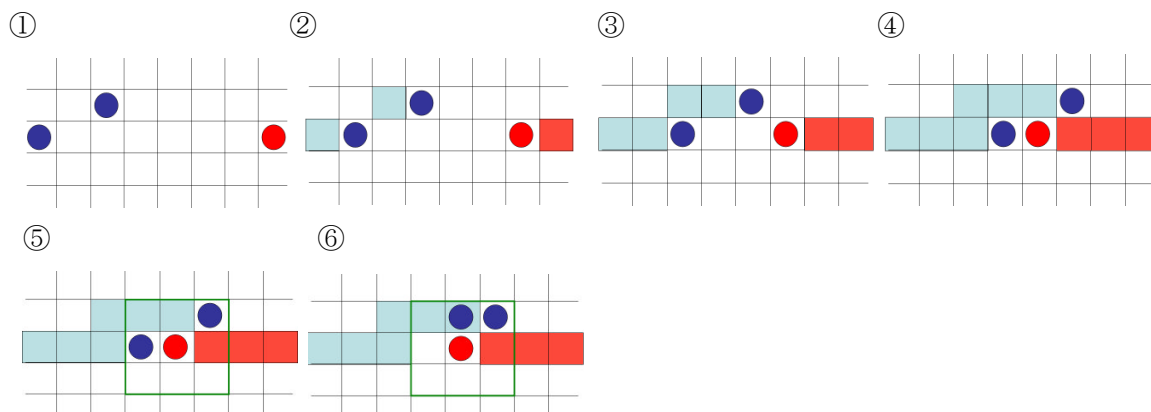


図 12. 「足跡ルール」発動条件

エージェント 1 が画面左から、エージェント 2 が画面右から向かってくる (①)。エージェントはそれぞれ足跡をつけて移動する (②、③、④)。前方の範囲 (緑色の枠内) に自分以外のエージェントが入ったとき「足跡ルール」が発動する (⑤)。「足跡ルール」が発動すると自分の周りの足跡を認識し、足跡が多い方向へ移動する (⑥)。「足跡ルール」発動条件の簡略図を図 4 に示す。また、足跡は一定期間たつと消えるようにしてあり、その期間を足跡残存ステップ数とする。足跡残存ステップ数は 1~50 の間で設定可能である。

4.4 レーン形成のシミュレーション

「足跡ルール」を導入して群集のシミュレーションを行った。各エージェントの発生率は 80% とし足跡残存ステップ数は 20 とした。シミュレーションの様子を図 13 に示す。

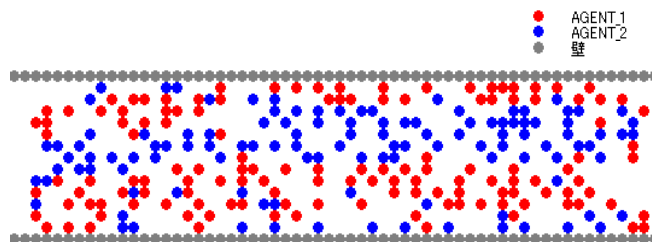


図 13. レーン形成

図 13 よりレーン形成をしている様子が分かる。上のレーンから順にエージェント 1、エージェント 2、エージェント 1、エージェント 2 のレーンが出来ている。「障害物回避ルール」と「足跡ルール」の二つのルールのみで現実にかかるレーン形成を再現することに成功した。

また、人が少ない場合レーン形成はしないということが知られているが、これもシミュレーションで再現してみた。各エージェントの発生率を 20% とし、足跡残存ステップ数は 20 とした。シミュレーションの様子を図 14 に示す。

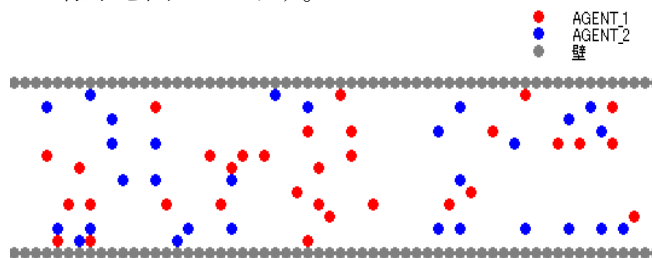


図 14. 少人数の正面衝突

図 14 より、各エージェントの発生率を低くすればレーン形成はしない様子が見てとれる。図 13、図 14 の結果から、「足跡ルール」を導入したことにより、正面衝突時での人の流れを再現することができたとと言える。

4.4 レーン形成するメリット (混雑の指標)

図 13 よりレーン形成をすることが分かった。では、レーン形成する場合としない場合とでは人の流れにどのような違いがあるのか検証してみた。今回は人の流れを「混雑」という指標によって比べることにする。

ここで「混雑」とは、「渋滞にはまった人の累積値」と定義することにする。渋滞にはまった人とは、入り口を通過し、到達できるはずのステップ数以内に出口に到達できなかった人のことである。逆に渋滞にはまっていない人とは、入り口を通過し決められたステップ数以内で出口に到達できた人のことである。

今回はレーン形成する場合としない場合とでどのくらい「混雑」に違いがでるのかを実験してみた。レーン形成する場合のグラフを図 15 に、レーン形成しない場合のグラフを図 16 に示す。ともにエージェントの発生率は 80%、ステップ数は 300 でシミュレーションを行う。グラフの縦軸が「混雑」であり、横軸はステップ数となっている。また、青い線はエージェント 1 の「混雑」を表しており、赤い線はエージェント 2 の「混雑」を表している。

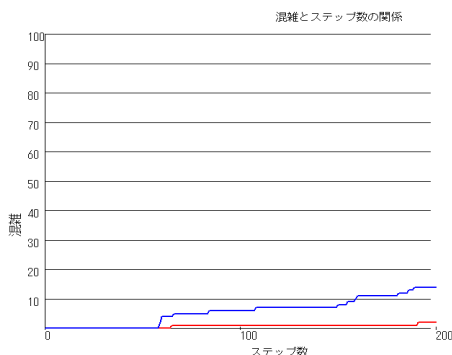


図 15. レーン形成する場合

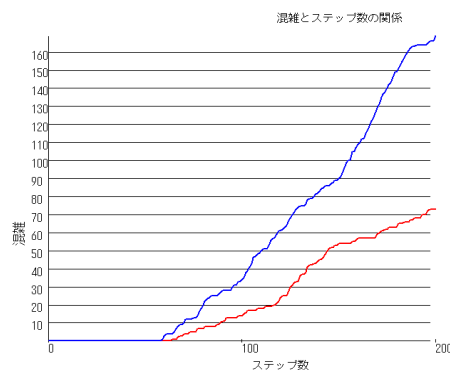


図 16. レーン形成しない場合

図 15、図 16 より、レーン形成をしない場合の方がする場合と比べて圧倒的に混雑が大きいのが見て取れる。このレーン形成は実際に起こる現象である。つまり実際の人は無意識のうちに、自分が混雑しないためにレーンを形成しているということがこのシミュレーションから言うことができる。逆にもしレーン形成しなかったとしたら、予想以上に混雑することがこのグラフから見て取れるはずである。

4.5 速度による混雑の違い

同一方向に進んでいるときも混雑は生じる。例えば、前の人が遅く歩いていればその後ろを歩いている人は、ある目的地に到達できるはずの時間内に到達することができなくなるだろう。周りに人がいなければ避けて通ればいいが、周りに人が多くなるとそうはいかなくなる。ここでは、同一方向にエージェントが進む場合を考え、そのエージェントの速度を変えてシミュレーションを行った。エージェントの速度は、fast、normal、slow、の3種類である。今回も「混雑」の指標を用いてシミュレーション結果を比べる。

4.6 シミュレーション条件・結果

画面左から速度の違うエージェントを出現させ、「混雑」の違いを比べる。シミュレーションは (I) fast と normal (II) fast と slow (III) normal と slow (IV) 3種類すべての4通りで行った。ステップ数は300、各エージェントの発生率は60%でシミュレーションを行った。速度は青が fast、水色が normal、ピンクを slow とした。結果を図 17~図 24 に示す。グラフの折れ線の色は各エージェントの色と対応している。

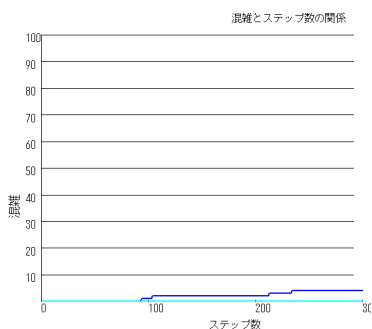


図 17. (I) fast と normal

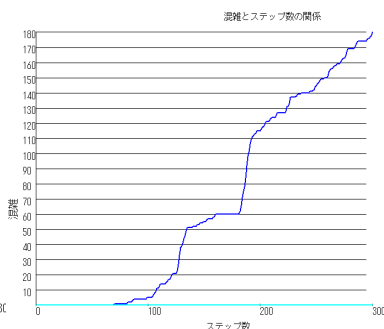


図 18. (II) fast と slow

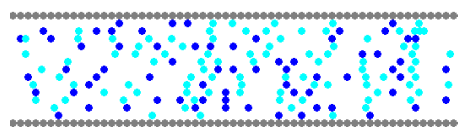


図 19. (I) シミュレーション様子

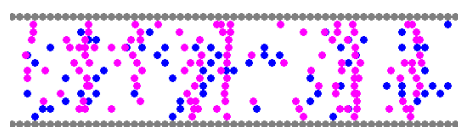


図 20. (II) シミュレーション様子

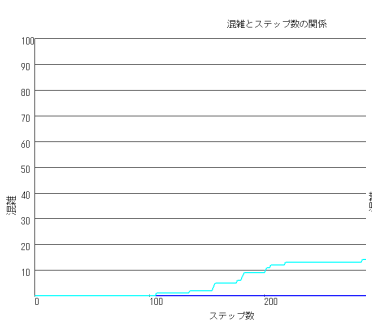


図 21. (III) normal と slow

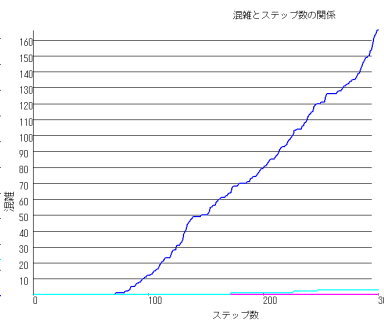


図 22. (IV) 3種類すべて

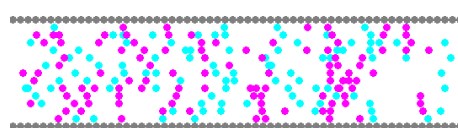


図 23. (III) シミュレーション様子

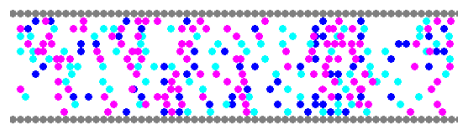


図 24. (IV) シミュレーション様子

グラフを見ても分かるように、スピードの速いエージェントの方が常に混雑しているのが分かる。これは前方に遅いエージェントがいると詰まってしまうためであり、実際もよく起こることである。当たり前現象ではあるが、シミュレーションで再現することができた。

5. 社会システムへの応用

5.1 障害物の有無による歩行者流の変化

障害物の有無によって人の行動がどのように変化するかシミュレーションしてみた。今回は正面衝突する場合を考え、行動が分かりやすいように一定間隔でエージェントを発生させた。

5.2 シミュレーション条件・結果

画面左からエージェント 1、画面右からエージェント 2 を出現させる。各エージェントを一定間隔 (2 ステップごと) で出現させ、障害物がある時と無い時とで歩行者流がどのように変化するか調べた。足跡残存ステップ数は 20 でシミュレーションを行った。障害物が無い時のシミュレーションの様子を図 25 に、障害物がある時のシミュレーションの様子を図 26 に示す。

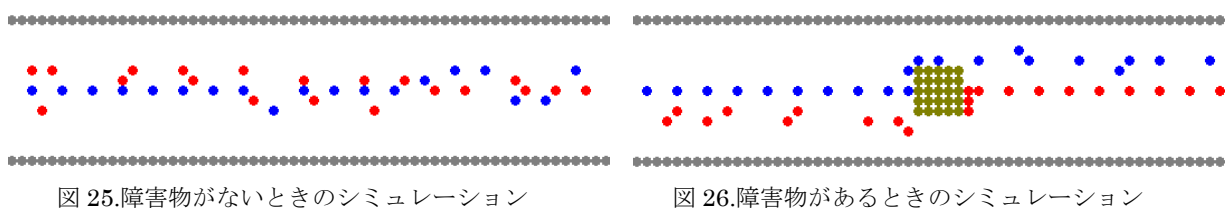


図 25、図 26 より、障害物が無いときエージェントは統一感のない動きをしているが、障害物があるとエージェントは同一方向の流れを形成しているのが分かる。この結果より、必ずしも駅などで障害物 (柱) が無いほうが良いという分けではなく、障害物 (柱) などの設置場所を工夫すれば、人の流れを分断することができ歩行者流を操作できる可能性があるということを示している。

5.3 井の頭線連絡口モデル

実際に渋谷の井の頭線連絡口のモデルを作成しシミュレーションを行った。井の頭線連絡口の画像を図 27 に示し、MAS のフィールドを図 28 に示す。



図 27. 井の頭線連絡口

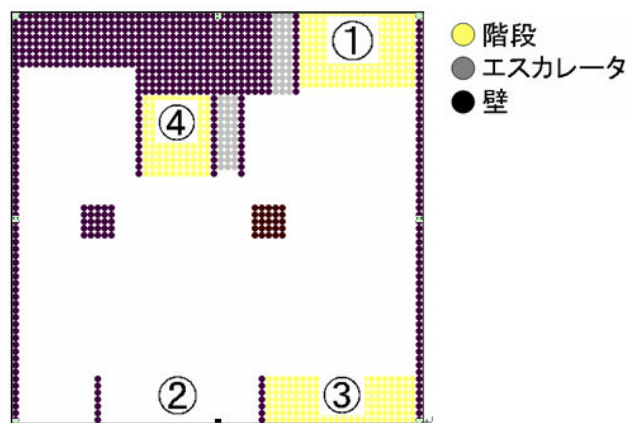


図 28. MAS のフィールド

画面上側 (①) からエージェント 1、画面下側 (②) からエージェント 2 をランダムに出現させる。エージェント 1 は②、③側を目的地とし、エージェント 2 は①、④側を目的地としており、それぞれ②、①側に多く向かうようにしてある。これは実際のフィールドワークの映像を基に設定した。また、各エージェントともにスピードを 3 種類(**fast**、**normal**、**slow**)設定してある。各エージェントは「障害物回避ルール」、「足跡ルール」のみで動いている。

5.4 障害物の位置による混雑の違い

障害物 (柱) の位置を変化させて混雑の違いを調べる。シミュレーションは井の頭線連絡口モデルを使用し、画面上側からエージェント 1 (赤) を、画面下側からエージェント 2 (青) を出現させる。各エージェントはそれぞれ 3 種類の速度 (**fast**、**normal**、**slow**) を持っている。エージェントの発生率は 10%、足跡残存ステップ数は 20、ステップ数は 500 とする。シミュレーションは、

- (I) 障害物を中央に配置 (現実同様)
- (II) 障害物を上側に配置
- (III) 障害物を下側に配置
- (IV) 障害物を中央右側に配置
- (V) 障害物を中央に横に配置
- (VI) 障害物を中央に縦に配置

の 6 パターンで行った。今回も「混雑」の指標を用いて各シミュレーションを比較する。結果を図 29～図 40 に示す。

- (I) 障害物を中央に配置 (現実同様)

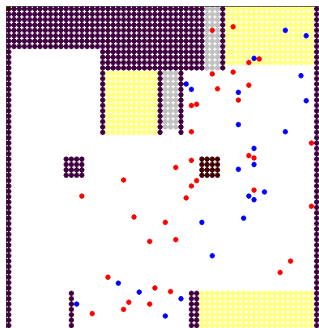


図 29.シミュレーション様子

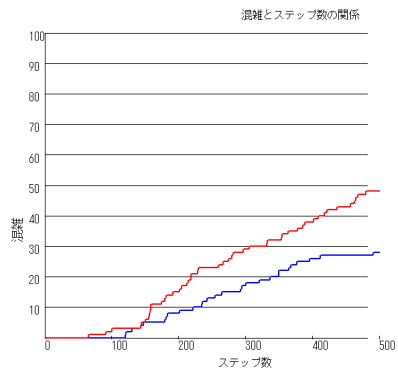


図 30 シミュレーショングラフ

- (II) 障害物を上側に配置

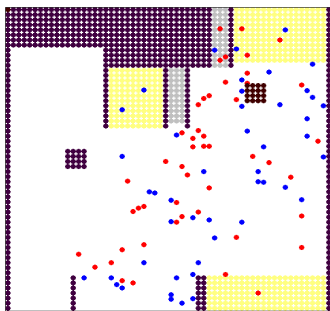


図 31.シミュレーション様子

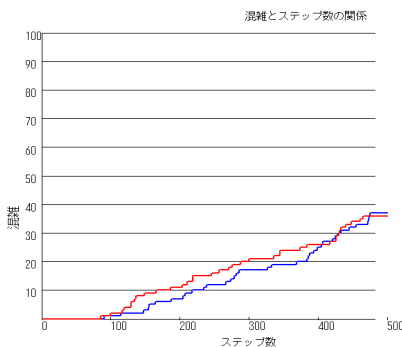


図 32.シミュレーショングラフ

(III) 障害物を下側に配置

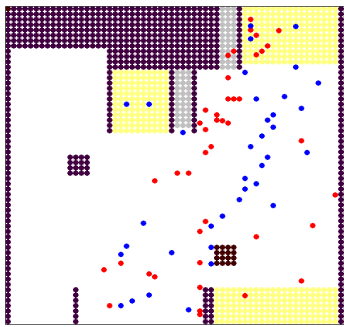


図 33.シミュレーション様子

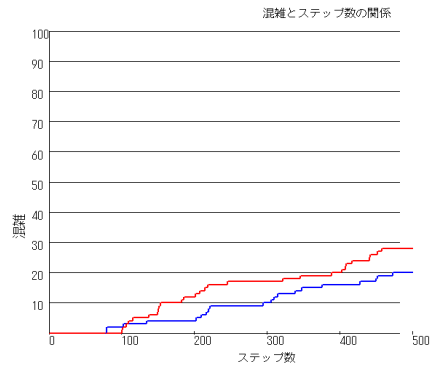


図 34.シミュレーショングラフ

(IV) 障害物を中央右側に配置

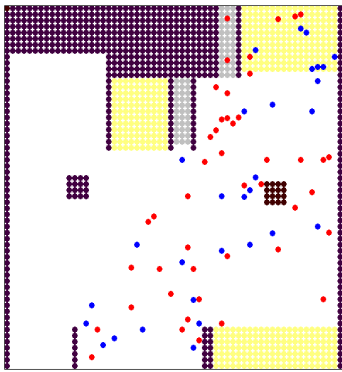


図 35.シミュレーション様子

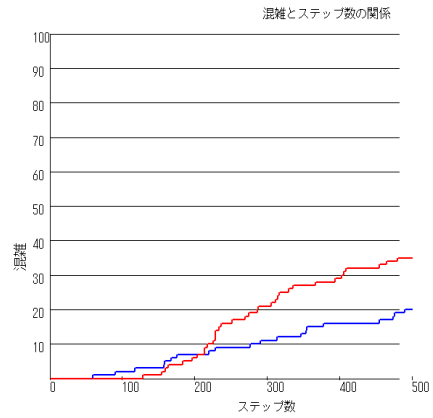


図 36 シミュレーショングラフ

(V) 障害物を中央に横に配置

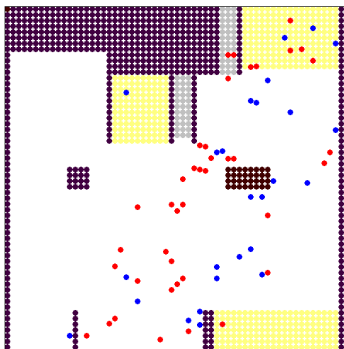


図 37.シミュレーション様子

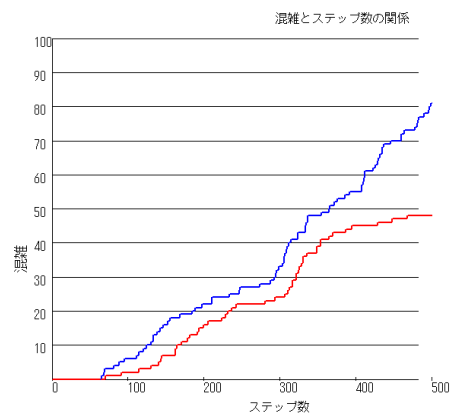


図 38.シミュレーショングラフ

(VI) 障害物を中央に縦に配置

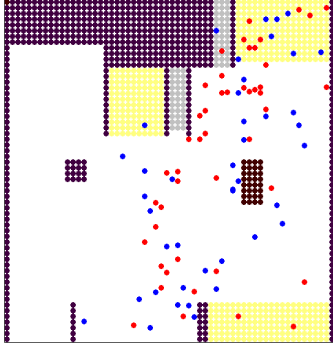


図 39.シミュレーション様子

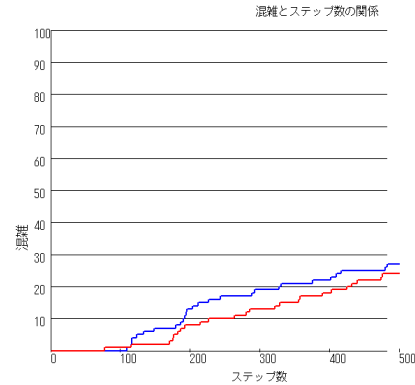


図 40.シミュレーショングラフ

グラフより、エージェント1、エージェント2ともに「混雑」が少なかったのは(Ⅲ)の障害物を下側に配置したときと(Ⅵ)の障害物を中央に縦に配置したとき、となった。次に「混雑」が少なかったのは(Ⅱ)の障害物を上側に配置したときであった。(Ⅰ)障害物を中央に配置したときと(Ⅳ)障害物を中央右側に配置したときは両方ともエージェント1の方がエージェント2より「混雑」しているのが分かる。エージェント1の方が混雑した原因について、エージェント1の方がエージェント2よりも障害物を設置した位置の通過率が高いということが挙げられる。つまりここから、最短距離を妨げる位置には障害物を置かないほうが良いという結果が得られる。

さらに、(Ⅴ)障害物を中央に横に配置と(Ⅵ)障害物を中央に縦に配置のシミュレーションを比べてみると、前者の方が圧倒的に混雑しているのが分かる。これは当たり前の話ではあるが、人の流れの進行方向に対して垂直に障害物が配置されていると避ける幅が広くなり、逆に平行に障害物が配置されていれば少し避けるだけでよいためこのような結果が得られたと考える。

また、フィールドワークで柱が人の流れを形成しているかもしれないと述べたが、実際にシミュレーションを行ってみると他の場所に柱を配置したほうが混雑は少ないという結果になった。この原因としてはプログラムが完璧ではない可能性があるため、今後検討していく。

今回のシミュレーションでは、障害物の場所を自由に移動可能にし、ある目的地を自由に設定できたので、

①MAS上で視覚的に混雑している場所を捉えて何か対策をとることができる

②障害物を置いてはいけない場所を分析することができる

という2点を実現することが出来た。これは今後新しい駅の建設時の提案などに活用できるのではないかと思う。

6. 結言

本研究は MAS を用いて歩行者流を再現することを目的とした。まず、個体間のシミュレーションを行い、少人数での人の流れを再現した。次に個体間のシミュレーションの応用として群集のシミュレーションを行い、大人数の時には人はどのような行動をとるのか調査した。さらに個体間のシミュレーション、群集のシミュレーションの集大成として、渋谷の井の頭線連絡口のモデルを作成し、障害物の配置によってどのように混雑が変化するかをシミュレーションした。さらに、実際にフィールドワークを行うことによって人の流れを分析し、作成したシミュレーションとの比較・検討を行った。以下に、各章で得られた結果をまとめる。

少人数時の人の挙動として、

- ・一旦避けてまた元の位置に戻る行動

また大人数時の人の挙動として、

- ・ レーン形成
- ・ 狭い通路で群集同士がぶつかるどどちらかが譲り、流れが一旦止まるという現象
- ・ 人の密度が高くなるほど（混雑するほど）、歩行速度も下がるという現象

を確認することが出来た。

3.では障害物回避ルールにより人は最小限の動きで障害物を避け、周りに人がいればその人の動きに影響を受けて行動するということが分かった。

4.では足跡ルールによりレーン形成を再現することができた。さらにレーン形成は混雑を緩和することや、速度によって混雑が変化することも確認できた。

5.では必ずしも障害物が無いほうが良いという分けではなく、障害物などの設置場所を工夫すれば、人の流れを分断することができ歩行者流を操作できる可能性があるということを確認できた。

また井の頭線連絡口モデルにより、

- ・ 目的地に向かう最短距離に障害物を配置してはいけない
- ・ 人の流れの進行方向に対して、障害物を垂直に配置するより平行に配置したほうが流れはスムーズになる

ということが確認できた。

今後はさらにフィールドワークを行い歩行者流について分析し、その結果をシミュレーションに反映させ、より現実に近いシミュレーションモデルを再現できるようにする。

参考文献

- 1) 西成活裕 渋滞学 新潮社
- 2) 山影進 服部正太 コンピュータの中の人工社会 構造計画研究所
- 3) 山影進 人工社会構築指南 書籍工房早山