

十字路交差点における歩行者の交差について

立正大学経済学部
小野崎ゼミナール

【メンバー】

安藤 嘉朗
金谷 秋大
川崎 友輔
黒林 藍吏
高出 恵太
高橋 一平
牧山 亮介
三ツ屋 諒

十字路交差点における歩行者の交差について

立正大学経済学部
小野崎ゼミナール

1. はじめに

昨今、わが国では人口減少が問題となっている中で、都市部への人口集中が進んでいる。それに伴い、許容量をはるかに超えた渋滞・混雑現象の生じることがある。都市部の大きな駅などにおいては、時間帯によって大きな混雑が観察され、ときには非常に危険な状況に陥ることさえある。2001 年、明石市の花火大会に向かう歩道橋において、人々の混雑が原因で 11 人の死者が出るなどの重大な事故が起こった例もある。

本研究では、「渋滞」をテーマとして、多数の歩行者が交差する十字路交差点において、どのような混雑状態が発生し、その中から歩行者集団がどのような振る舞いを見せるのかについてシミュレーションを用いて検証した。

2. 問題意識

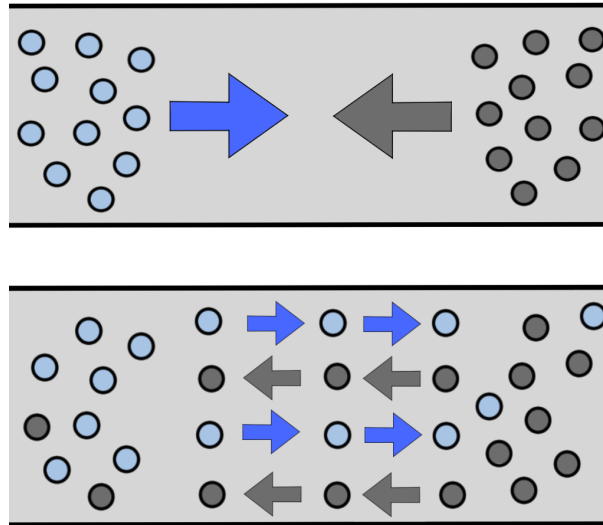
ひと言で渋滞といっても様々なものがある。車の渋滞はもちろんのこと、歩行者や動物の混雑、インターネットや携帯電話がつながりにくくなる状態、体内のタンパク質の流れが滞り病気を引き起こす状態、販売が不振で工場に在庫が溜まる状態なども、広い意味で渋滞と捉えることができる。このような様々な渋滞現象を、一つの分野に捕らわれず取り組む学問を「渋滞学」という（参考文献 1）。本研究では、渋滞学の視点に立ち、歩行する群衆の交差に着目して研究を進めた。

はじめに、1 本の路上で反対方法からやって来る 2 つの歩行者集団が互いに 180° で交差する場合を考える。このときには、同方向に進む直前の人の後をたどることを通じて、両集団の中に互いにすれ違う「流れ」が自然にでき、全体としてスムーズにすれ違うことができることが知られている（参考文献 2、第 11 章）。これは、各自が正面から向かってくる人を避けて進むため、その人の後ろに誰もいない空間が発生しやすくなり（図 1）、その空いた空間に後続の人が進むことで同一方向に細くつながる人のストリームが形成されることによる。しかし、道の幅に対してあまりにも密度が高すぎるとストリームの形成さえ困難になり、人の流れに滞りが起こるようになる。

このように、これまで 2 つの方向から来る集団が 180° で交差する場合の流れの形成メカニズムは解明されているが、現実の歩行者集団が交差する状況はこれほど単純ではない。一般には、3 つ以上の集団がさまざまな角度で交差する状況を想定することができる。その最たるものが、 360° さまざまな角度で無数の集団が交差するスク

ランブル交差点であろう。より複雑に歩行者集団が交差する場合、人の流れは果たしてストリームを形成するのであるか。これが本研究の問題意識である。

図 1 2 方向での群衆の交差



3. シミュレーション・モデル

本研究では、90°に交差する十字路交差点を想定し、そこにおいて4方向からやって来る4つの集団が交差する場合の人の流れがどうなるかについて、マルチエージェントシステム **artisoc** を用いて検証を行った。


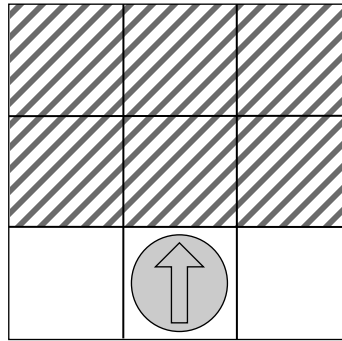
モデルの概要は次の通りである。格子状の空間を想定し、歩行者は毎ステップ自分が置かれている状況を判断し、次のステップでどのセルに移動するかを決める。図2に示すように、歩行者の状況判断は、自分の進行方向の視野2の範囲にある前方6つのセル（斜線部）に他の歩行者がどのように配置されているかに基づいてなされる。ただし、 は考察対象の歩行者およびその進行方向を示す。本研究では、単純化のため、歩行者の状況判断は前方6セルのいる他の歩行者の進行方向には影響を受けないものと想定する。状況判断に用いられる歩行者の配置パターンは、歩行者が0人の場合は1通り、1人の場合は ${}_6C_1 = 6$ 通り、2人の場合は ${}_6C_2 = 15$ 通り、3人の場合は ${}_6C_3 = 20$ 通り、4人の場合は ${}_6C_4 = 15$ 通り、5人の場合は ${}_6C_5 = 6$ 通り、6人の場合は1通りなので、合計 64 通り存在する。この事実は、以下で歩行者の行動ルールを考える際に、状況判断に用いられるべきすべての場合が尽くされているかを確認するために用いられる。

図2 状況判断に用いられる6つのセル



歩行者の行動ルールを図3のフローチャートに示す。歩行者は視野1の範囲の前方3つのセルを確認し、そこに他の歩行者がどのように配置されているかに応じて次のステップでの移動先を決める。以下では、前方3つのセルに歩行者が（1）3人いる場合、（2）2人いる場合、（3）1人いる場合、（4）いない場合に分けて考察する。

（1）前方3つのセルに歩行者が3人いる場合：

図4に示すように、前方3つのセルすべてに他の歩行者がいる場合、次のステップでは移動せずにその場にとどまる。ただし、他の歩行者を○で表している。このケースは、視野2の範囲の前方3つのセル（斜線部）に他の歩行者がどのように配置されるかに応じて8通り存在する。

（2）前方3つのセルに歩行者が2人いる場合：

図5に示すように、前方3つのセルのいずれか2つに歩行者がいる場合、次のステップでは空いている1つのセルに移動する。赤色の矢印は、当該エージェントが次のステップでどのマスに移動するかを示している。このケースは、(a)～(c)の各パターンに対して、視野2の範囲の前方3つのセル（斜線部）に他の歩行者がどのように配置されるかに応じてそれぞれ8通りずつ、合計24通り存在する。

（3）前方3つのセルに歩行者が1人いる場合：

このケースは、1人の歩行者がどのセルにいるかに応じて、さらにパターンA、B、Cの3つに場合分けされる。ただし、いずれのパターンにおいても、視野2の範囲の前方3セルの状況を判断して、それらに応じた意思決定を行うことは共通している。

図3 歩行者の行動ルールを示すフローチャート

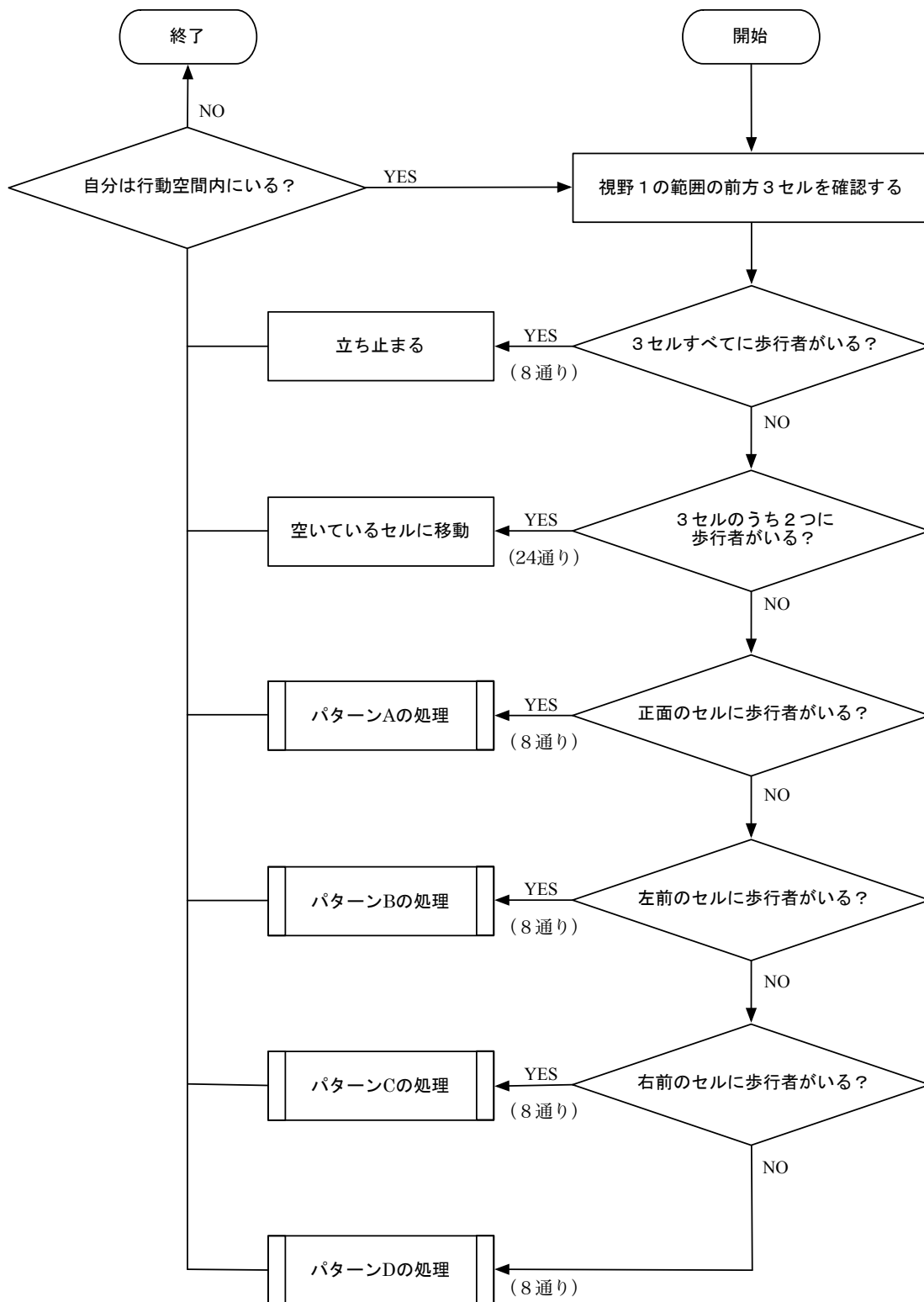


図 4 視野 1 の前方 3 セルすべてに歩行者がいるケース

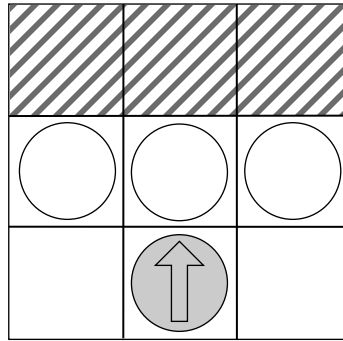
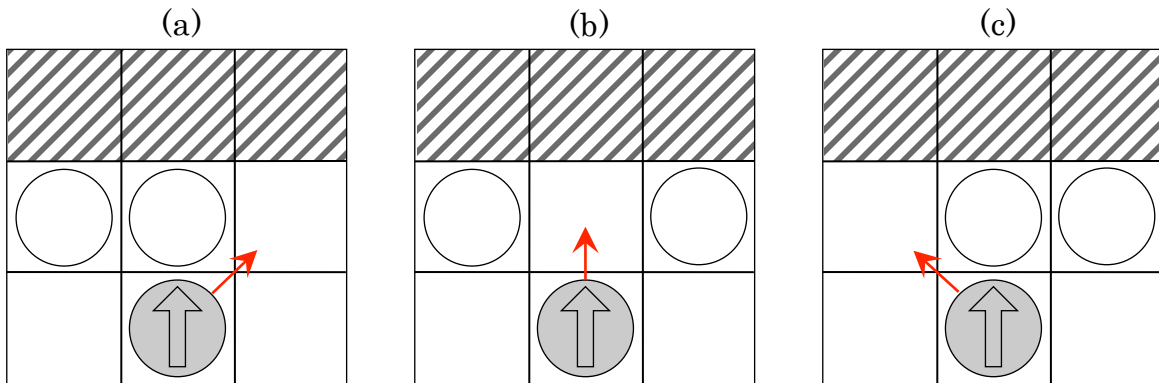


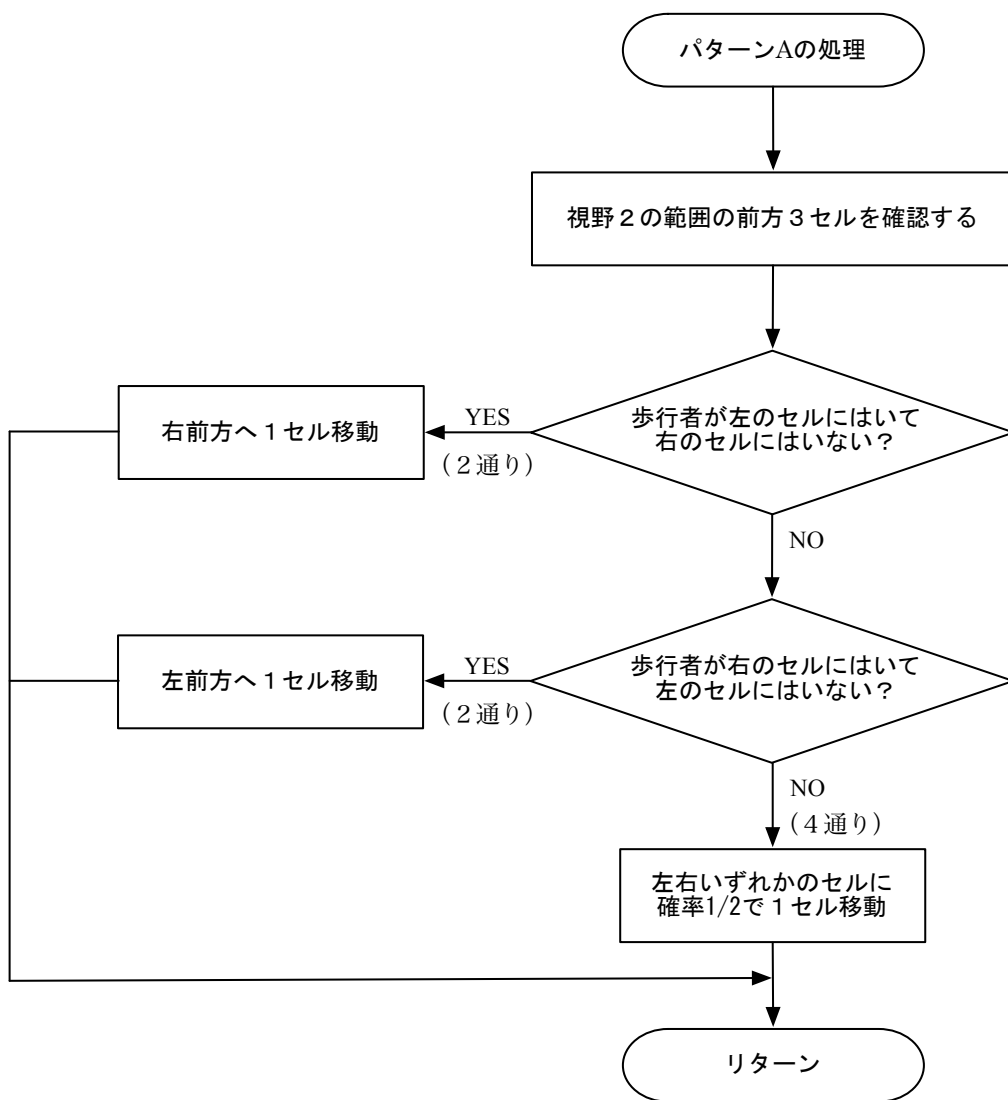
図 5 視野 1 の前方 3 セルのいずれか 2 つに歩行者がいるケース



【パターン A：正面のセルに歩行者がいる場合】

このパターンにおける消費者の行動ルールを図 6 のフローチャートに描く。視野 2 の範囲の前方 3 セルのうち、左のセルに歩行者がいて右のセルに歩行者がいない場合（図 7 (a)）、次のステップでは右前方に 1 セル移動する。同様に、右のセルに歩行者がいて左のセルに歩行者がいない場合（図 7 (b)）、次のステップでは左前方に 1 セル移動する。これらのケースは、中央のセル（斜線部）に他の歩行者がいるかいないかに応じて、(a)、(b) とともに 2 通りずつ、合計 4 通り存在する。残りのケースは左右両方のセルに同時に歩行者がいる場合とない場合（図 7 (c)、(d)）であり、いずれの場合も次のステップでは前方左右いずれかのセルに確率 $1/2$ で移動する。これらのケースも、中央のセル（斜線部）に他の歩行者がいるかいないかに応じて、(c)、(d) とともに 2 通りずつ、合計 4 通り存在する。したがって、パターン A は全部併せて 8 通り存在する。なお、フローチャートでは、(c) と (d) のケースは一括して処理されている。

図6 パターン A における歩行者の行動を示すフローチャート

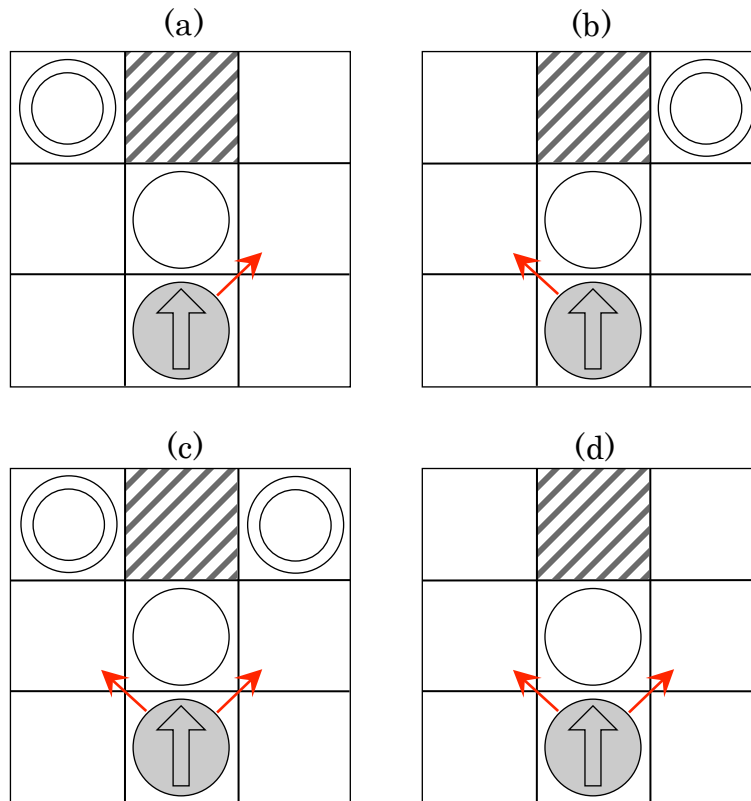


【パターン B：前方左のセルに歩行者がいる場合】

このパターンにおける消費者の行動ルールを図8のフローチャートに描く。視野2の範囲の前方3セルのうち、中央のセルに歩行者がいる場合（図9(a)）、次のステップでは右前方に1セル移動する。このケースは、左右のセル（斜線部）に他の歩行者がどのように配置されるかに応じて4通り存在する。中央のセルに歩行者がおらず同時に右のセルに歩行者がいる場合（図9(b)）、次のステップでは前方に1セル移動する。このケースは、左のセル（斜線部）に他の歩行者がいるかないかに応じて2通り存在する。残りのケースは中央と右の両方のセル

ともに歩行者がいない場合（図 9 (c)）であり，このとき次のステップでは右前方にケイマトビで移動する。このケースも，左のセル（斜線部）に他の歩行者がいるかいないかに応じて 2 通り存在する。したがって、パターン B は全部併せて 8 通り存在する。

図 7 視野 1 の正面のセルに歩行者がいるケース



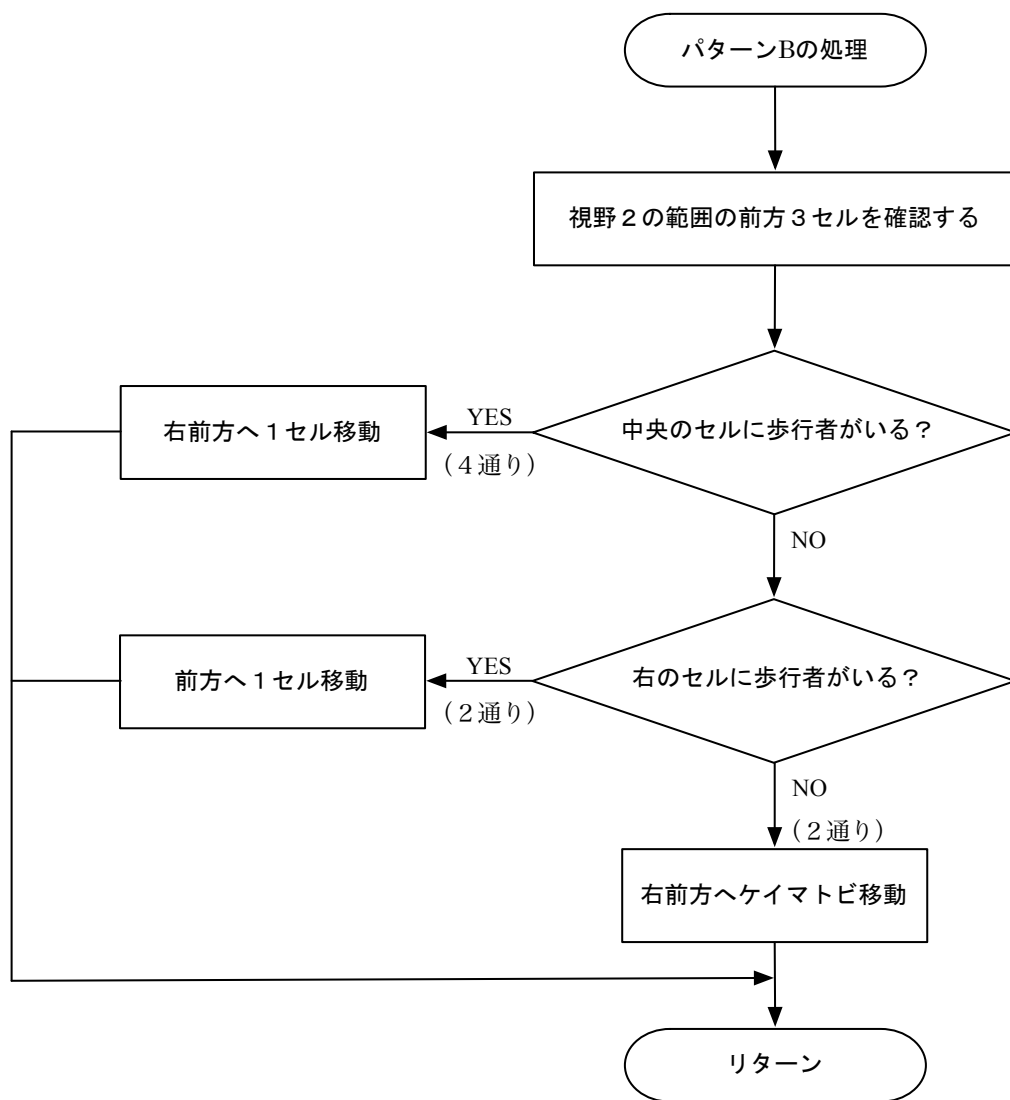
【パターン C：前方右のセルに歩行者がいる場合】

このパターンは，パターン B を左右対称に入れ換えることで処理することができる。また、組み合わせもパターン B と同様造詣で 8 通り存在する。

(3) 前方 3 つのセルに歩行者がいない場合：

このケースは，(2) と同様，視野 2 の範囲の前方 3 セルの状況を判断して意思決定を行う。図 3 のフローチャートではパターン D として描かれている。

図8 パターンBにおける歩行者の行動を示すフローチャート

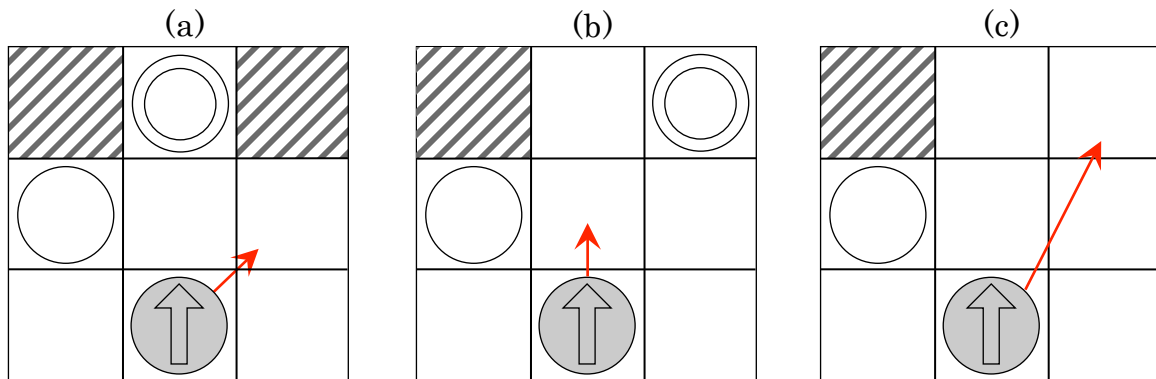


【パターンD：視野1の前方3セルに歩行者がいない場合】

このパターンにおける消費者の行動ルールを図10のフローチャートに描く。視野2の範囲の前方3セルのうち、左のセルのみに歩行者がいる場合（図11(a)）、次のステップでは右前方にケイマトビする。あるいは、右のセルのみに歩行者がいる場合（図11(b)）、左前方にケイマトビする。これらのケースはそれぞれ1通り、合計で2通り存在する。左のセルおよび中央のセルに歩行者がいる場合（図11(c)）、右前方へ1セル移動する。あるいは、右のセルおよび中央のセルに歩行者がいる場合（図11(d)）、左前方へ1セル移動する。これらの

ケースもそれぞれ 1 通り，合計で 2 通り存在する。視野 2 の範囲の前方 3 セルのいずれにも歩行者がいない場合（図 11(e)），前方へ 2 セル移動する。このケースは 1 通りである。中央のセルのみに歩行者がいる場合（図 11(f)），前方左右のいずれかへ確率 $1/2$ で 1 セル移動する。このケースも 1 通りである。残りのケースは左右のセル両方に同時に歩行者がいる場合（図 11(g)）であり，このとき次のステップでは右前方に 1 セル移動する。このケースは，中央のセル（斜線部）に他の歩行者がいるかないかに応じて 2 通り存在する。以上より、パターン D は全部併せて 8 通り存在する。

図 9 視野 1 の前方左のセルに歩行者がいるケース



最後に、本節の考察のまとめとして、それぞれのパターンの組み合わせの総数が、本節冒頭に示した 64 通りに一致していること、すなわち歩行者の行動ルールの記述が、状況判断のすべてのケースを尽くしていることを以下に確認しておく。

・ 視野 1 の範囲の前方 3 つのセルに歩行者が 3 人いる場合	8 通り
・ 視野 1 の範囲の前方 3 つのセルに歩行者が 2 人いる場合	24 通り
・ 視野 1 の範囲の前方 3 つのセルに歩行者が 1 人いる場合	
パターン A	8 通り
パターン B	8 通り
パターン C	8 通り
・ 視野 1 の範囲の前方 3 つのセルに歩行者がいない場合	
パターン D	8 通り
合計	64 通り

図 10 パターン D における歩行者の行動を示すフローチャート

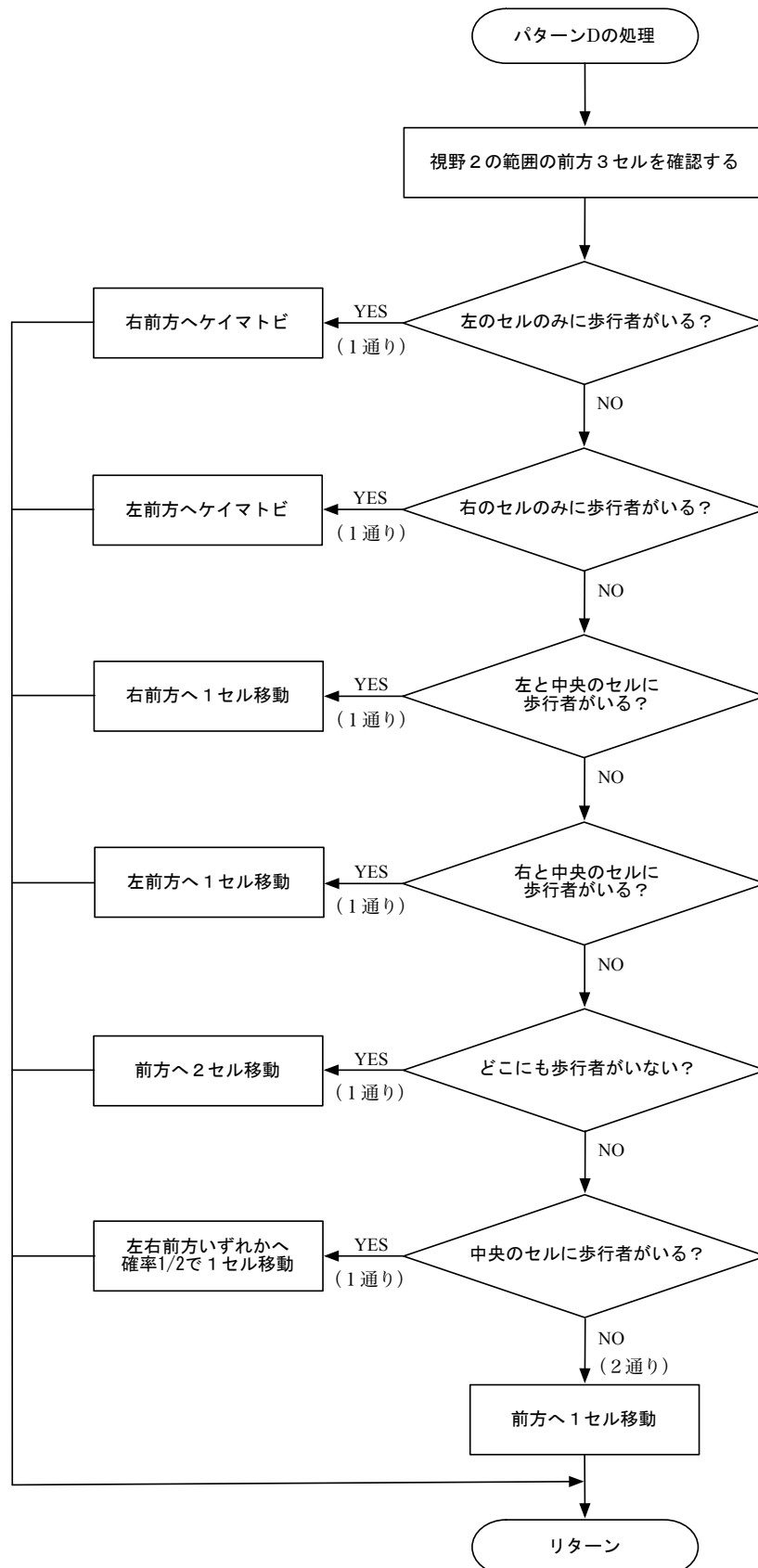
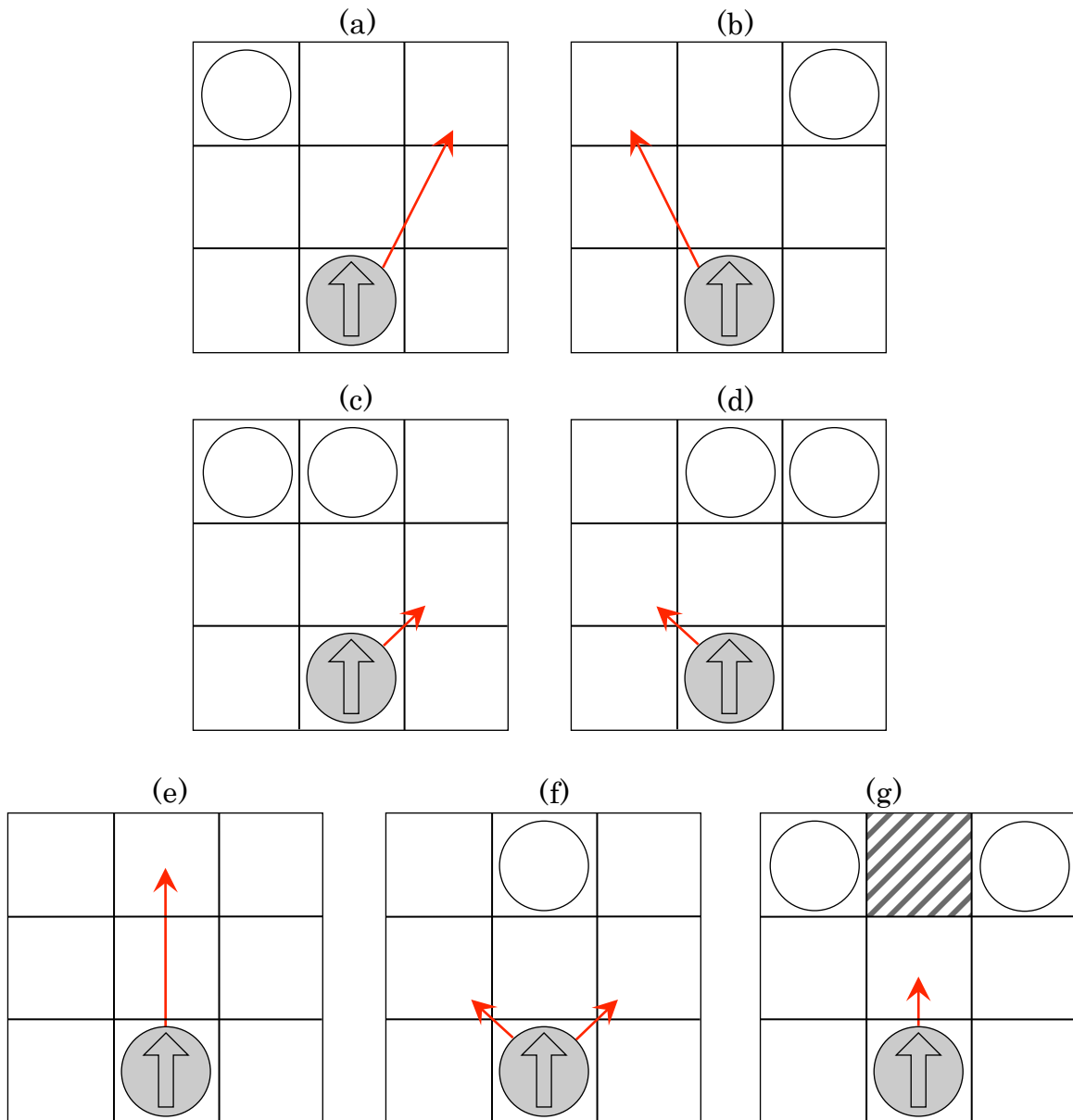


図 11 視野 1 の前方 3 セルに歩行者がないケース



4. シミュレーション結果と今後の課題

モデルをシミュレーションして明らかになったことは、十字路交差点で人の流れが交わったとき、大きさにばらつきはあるものの小さな集団が形成されることである。二方向から人が流れてくる場合はストリームが形成されるが、四方向から流れてくる場合はまばらな小集団を確認することができた。しかしながら、本研究では研究期間

中にこのクラスターの性質などについて一定の結論を導くには至らなかった。本研究はあくまで問題提起の段階に留まっており、詳細な分析は今後の研究に引き継がれることが期待される。今後の研究課題として考えられるのは以下の諸点である。

① 小集団が発生する条件および小集団の性質を解明する

小集団が発生するためにはどのような条件が効いているのか、その条件をコントロールすることにより発生する小集団の性質がどのように変化するか、などについて明らかにしなければならない。

② モデル設定を変更しそれに伴う結果の変化を比較する

本研究で作成したモデルは、ステップ毎に自分以外の歩行者がどのように配置されているかを判断し、それに応じて次のステップでの移動先を決めるという設計になっている。しかしながら、64通りのパターンにより状況判断を行うという想定はあまり現実的とは言えない。生身の人間が実際にどのような状況判断を行っているかについて考察を深め、より現実的なモデルに向けて改良を施すべきであろう。そして、モデルの改良に伴ってシミュレーション結果がどのように変化するかを比較検討する必要がある。

③ 現実の十字路交差点における歩行者を観察する

現実の十字路交差点において歩行者集団が交差する場合に、本モデルで生じたような小集団が果たして形成されるのか、別の特徴的な現象が観察されるのかについて知見を蓄積する必要がある。そして、観察された現象が生じるメカニズムを改良されたモデルによって説明でることがこの種の研究の最終目的となる。

参考文献

1. 西成活裕著『よくわかる渋滞学』、ナツメ社、2009年
2. 山影進著『人口社会構築指南』、書籍工房早山、2007年