

人の行動誘導を目指した 1 対 1 のすれ違い行動のモデル化

三門 裕明¹ 渡邊 紀文² 大森 隆司^{1,2,3}

¹ 玉川大学大学院工学研究科

² 玉川大学脳科学研究所

³ 玉川大学工学部

概要：人はある程度混雑した状況でも安全な歩行が可能であるが、イベント会場や災害時などの非常に混雑した状況での安全な歩行は難しい。このようなパニック状況では、非常灯や矢印等の提示・認識による意識的な誘導よりは、無意識的な歩行誘導のほうがより効果的であると考えられる。このような無意識下で歩行者を誘導するデバイスとしては GVS 等があるが、それらの効果を最大限に引き出すには、歩行時の人の行動決定過程を理解したうえで働きかけをデザインする必要がある。そこで本研究では、人のすれ違い状況における回避判断に必要となる他者の行動についての情報と、自身の運動生成に影響を与える身体部位について調査し、歩行者の行動決定過程についてのモデルを検討した。

1. はじめに

人はある程度混雑した状況でも安全な歩行が可能である。これは、相手と衝突しないで済む行動の決定と実行が行っているからである。しかし、イベント会場や災害時など非常に混雑したパニック的な状況では、安全に歩行する事は容易ではない[1]。このような場所や状況で、目的の場所へ向かおうとする場合、非常灯や矢印を見つけて意識的に誘導させようとした場合、パニック状況で注意が分散し、誘導提示物に意識を向けられない可能性が高い。そこで、人のパニック的な状況に影響を受けにくいと考えられる無意識的な誘導を行うことで、歩行すべき方向へ人の流れを制御することで安全を保てると考えられる。

このような無意識的な誘導のデバイスとして我々は、前庭感覚刺激(以下 GVS)に注目している。GVS は、前庭器官に作用し、重力方向の知覚を変化させる。この作用により、重心方向に関わる運動は無意識のうちに影響をうける。例えば、歩行運動では GVS を与えることで体のバランスが崩れているように錯覚させ、それを無意識的に修正するために歩行方向が左右に変わることが報告されている[2]。これまで、GVS による歩行の誘導[2]及び手先の誘導[3]の研究から、GVS は連続した周期運動において大きな誘導効果が得られる可能性が指摘されている。

一方で、我々は歩行をする際、脊髄にあ

る CPG(Central Pattern Generator)を利用して、歩行リズムを生成し[4]、平地や階段、人混みや初めて歩く場所においてもスムーズで安定した歩行を実現している。CPG のリズムは、知覚・行動決定・運動実行などの歩行に含まれる多様な過程におけるタイミング生成に関わっていると考えられる。ならば、GVS による歩行者への誘導効果を最大限に引き出すには、歩行位相に基づいた適切なタイミングで刺激を与えることが必要であると考えられる。そこで本研究では、GVS などのデバイスによる歩行者への介入効果を最適化するため、歩行位相に基づいた歩行者の行動決定過程の解明及びモデル構築を目指す。具体的には日常的な歩行運動として1対1のすれ違い場面を取り上げ、すれ違い時の行動決定に必要な対向者の身体部位を特定してその影響を推定し、自己のすれ違い運動の生成への影響を議論する。

2. 1対1のすれ違い行動決定過程の理解

本研究では、歩行における行動決定のための他者の観測、自己意思決定、行動遂行が観測できる一対一のすれ違い行動を対象とする。さらに、本研究ではモデルを単純にするため、自己は直進しており、他者が自己との衝突を回避するため方向を変える状況を考える。この場合、自己は他者を観測してその身体部位の情報から回避方向を判断し、それを基に自己の回避行動を決定して運動を実行していると考えられる(図1)。

他者の回避方向の判断では、それに用いる他者の身体部位を特定するために、他者のすれ違い動画から特定の身体部位をマ

スキングした画像で、判断に重要と思われる身体部位を評価する。さらに、他者の身体部位の利用についての評価より得られた結果から、自己の回避行動の決定への影響について考察する。最後に、自己の行動決定に基づいた自己の運動生成は自己のどの身体部位に効果を及ぼすのか、モーションキャプチャシステムを使用してその影響を受けると考えられる身体部位の計測を行う。

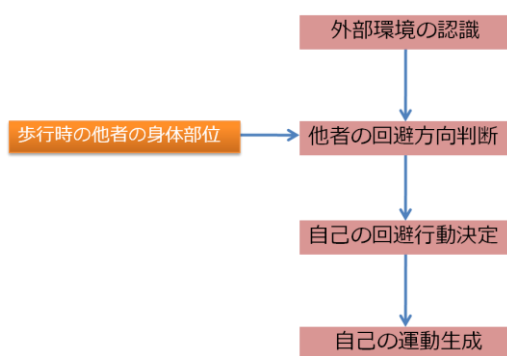


図1 歩行者の行動決定過程

3. 1対1のすれ違い行動決定過程の解明

3.1 すれ違いで注視する対向者の身体部位

3.1.1 実験目的

人とすれ違うとき、我々は視覚から得られる対向者の身体的な特徴から自己の回避方向を判断する。そこで本実験では、対向者の身体部位をマスキングした映像を提示した時の回避判断にかかる時間を計測し、回避判断に必要な身体部位を推定する。

3.1.2 実験内容

被験者はプロジェクターに映された対向者がすれ違っていく動画を、スクリーンから約3メートル離れて立位で見て、対向者の回避方向を判断する。動画再生中、被験者は歩行をイメージするために足踏みをし、

対向者の回避方向がわかった瞬間に自分からみた相手の回避方向のボタンを押す。但し、この時、回避方向の正誤は問わない。

使用映像は、約 300 フレームのすべてについて特定の身体部位をマスキングしてそれを再度まとめた動画である(図 2)。具体的には、予備実験でのアイカメラを利用した計測から、歩行者は対向者の足元と胸元を注視する傾向があったため、対向者の身体部位を頭、体、足の 3 つに分類し、そのいずれかをマスキングした。マスキングした映像を用いることで我々が観察している身体部位から得られる情報を制限し、その制限によって発生する回避判断の遅延時間から、他者の回避方向の判断に重要な身体部位を特定する。

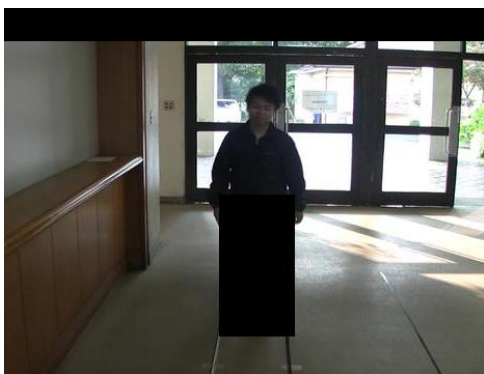


図 2 実験に使用したマスキング映像

3.1.3 実験結果

図 3 は、被験者 3 名について、マスキング映像を用いた時に回避判断が最も遅れた身体部位の判断数を合計したものである。結果より、足をマスキングすると、判断時間が長くなる傾向にあった。よって我々はすれ違い時に足元の情報を利用して回避判断を行っていると考えられる。但し、足元だけではなく頭部や上半身をマスキングした場合でも遅延している場合もあるため、

足元だけでは判断が難しい場合には頭部や上半身を見て判断していると考えられる。これより、歩行位相（歩行時の足の位置）によって回避判断を行う身体部位が異なる可能性が考えられる(図 4)。

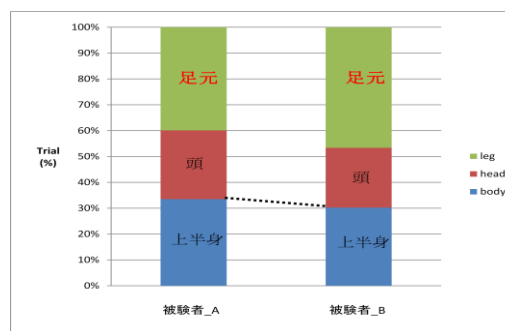


図 3 マスキングにより最も判断が遅れた身体部位

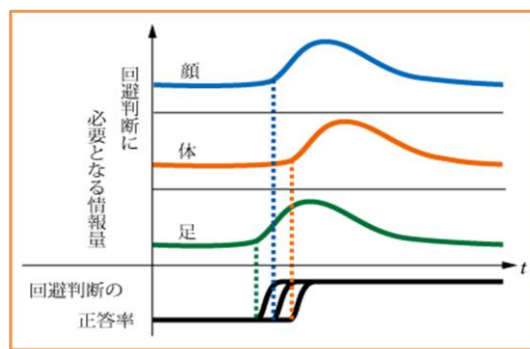


図 4 回避判断の正答率と回避判断に必要な情報量の時間遷移

3.2 回避判断に影響を与える歩行位相

3.2.1 実験目的

3.1 節の結果から、すれ違い時の対向者の歩行位相によって回避判断を行う被験者が見る身体部位が異なるという仮説が立てられた。そこで次に、注視する身体部位と対向者の歩行位相がどのように影響するか検討した。

3.2.2 実験内容

3.1と同様、被験者はスクリーンから3メートル離れて立ち、動画の再生中に歩行をイメージするため足踏みをし、対向者の回避方向がわかった瞬間に自分からみた相手の回避方向のボタンを押す。ただしこの時、回避方向の正誤は問わない。

使用映像は1対1のすれ違い状況を、一方の被験者側から撮影したものであり、4人の対向者の各々が右側回避10回、左側回避10回ずつ、さらに左右の踏み出す足を指示して撮影した。更に歩行位相の評価のため、対向者の側面から足の位置が見える映像を、すれ違い映像と同期して記録した。

3.2.3 実験結果

本実験では被験者4名が、1名につき1日に378枚の映像を見て回避判断を行ない、それを5日間行った。ここで、実験結果から、各映像について判断の平均タイミングを求めてその瞬間の歩行位相を求めた。歩行位相は、左右それぞれの足を「着地」、「遊脚前期」、「遊脚期」、「遊脚後期」の4状態に分類した。

図5, 6は回避判断がされた瞬間の各足の歩行位相の判断数を4名の対向者A, B, C, Dに分けて表したグラフである。グラフでは、位相を「着地, 前期:遊脚前期, 遊脚, 後期:遊脚後期」と表した。図5は左足から踏み出した時の判断瞬間の位相の分布である。左足が遊脚後期, 右足が遊脚前期の期間に集中している。図6は右足から踏み出した場合の判断の分布である。図5とちょうど逆位相で、右足が遊脚後期, 左足が遊脚前期の期間に判断が多い。これより、すれ違い動作では歩行位相の中でも遊脚前期及び遊脚後期において回避判断が多く行

われていることが示唆される。

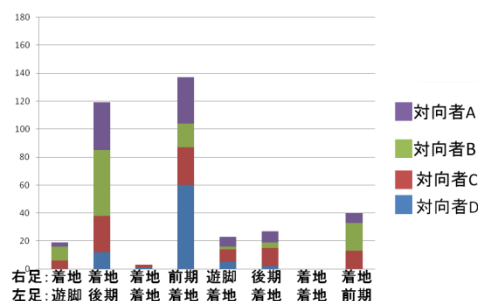


図5 左足から踏み出した場合の判断分布

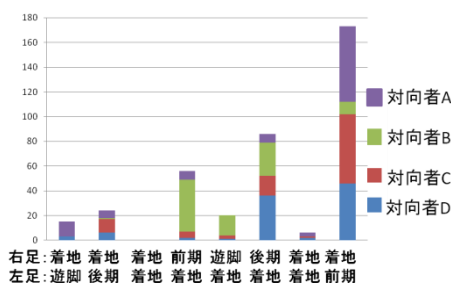


図6 右足から踏み出した場合の判断分布

3.3 回避運動生成時の歩行位相の特定

3.3.1 実験目的

歩行者の行動決定過程には、他者の観察、自己行動の決定、自己運動の実行という過程に加えて、3.2で得られた対向者の歩行位相に依存した判断過程があることが判ってきた。しかし要因はそれだけではなく、自己の運動生成においても自己と対向者の間の距離や自己の歩行位相が影響している可能性もある。そこで、本実験では、モーションキャプチャシステムを利用してすれ違い時の被験者の身体（特に足元）の移動距離を計測し、すれ違いのための身体運動が開始されるのタイミングを検討する。

3.3.2 実験内容

対向者と被験者間の距離を約 5.2 メートルとして、対向者が手を挙げて下ろした時点から両者同時に歩行を開始する。この時、対向者及び歩行者は共に直進する。そして、被験者には予め指示されていた左右方向に回避して、対向者はそのまま直進してすれ違う。回避距離は、被験者には対向者と衝突しそうになったら避けるよう指示した。

本実験では被験者に頭部 3 点、肩 2 点、腰 2 点、膝 2 点、足首 4 点の計 13 点、対向者に腰 2 点、膝 2 点、足首 4 点の計 8 点にマーカーを装着して、被験者 1 名につき、右側回避を 10 回、左側回避 10 回ずつ計測を行った。モーションキャプチャー装置は Motion Analysis 製、カメラ 12 台、サンプリングレート 250Hz のものを使用した。

3.2.3 実験結果

被験者は対向者と衝突しないよう左右に回避するため、直進に対して左右の速度ベクトルが大きく変化する。本実験では、閾値は左右方向に 0.16m/秒以上として、足首の左右方向の速度が大きく変化した瞬間を運動生成タイミングとした。図 7, 8 は、運動生成がされた瞬間の歩行位相の頻度を被験者毎に表している。グラフでは、位相を「前期：遊脚前期、遊脚、後期：遊脚後期、着地」と表した。図 7 は、被験者が左側に回避運動を生成した瞬間の歩行位相であり、左足が着地している区間で運動生成を行なうことが多い。一方で、図 8 は右側への回避運動を生成した瞬間の歩行位相で、右足が着地及び左足が着地している場合の両方で運動を生成している。この結果より、運動生成のタイミングは回避方向の足が着地

しているときが多いことが示唆される。但し、右側回避については左足が着地している場合にも運動が生成されていた。ここで、一般的に運動生成は自身の利き足で行う傾向がある[5]。本実験では、左側回避の場合には回避方向の足が着地している場合に運動生成を行う傾向が示唆されたが、一方で右側回避の場合には利き足の左足で回避方向へ運動生成することで、半周期ずれた運動生成を行っている。これは被験者の利き足が影響しているのではないかと考えられる。

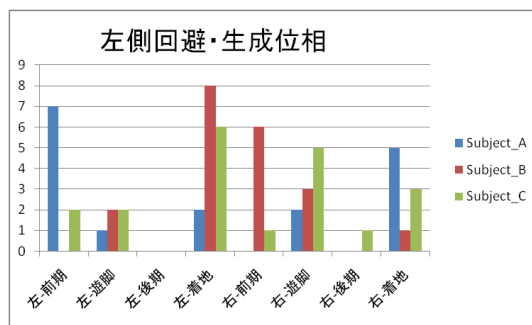


図 7 左側回避の運動生成時の歩行位相

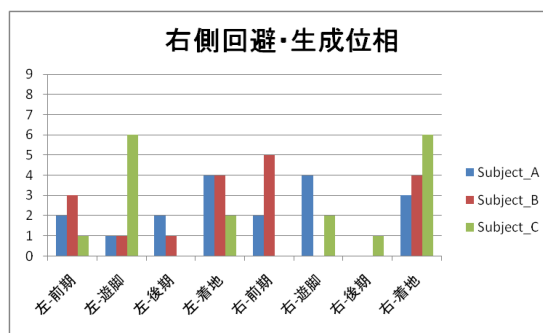


図 8 右側回避の運動生成時の歩行位相

4. 考察

4.1 歩行位相に基づく歩行者の行動決定

以上の実験より、我々はすれ違いの際には対向者や自己の歩行位相によって行動決定や運動生成に影響を受けていることが示された。

歩行者がすれ違い行動を行う時、(1) 始めに他者の身体部位を観察して他者の回避方向の判断を行う(図8. ①). 具体的には、対向者が足の方をコントロールすることが可能な遊脚前期及び遊脚後期においては足元の情報から回避方向を判断し、足の方のコントロールが困難な立脚期及び、遊脚期には、上半身や顔の向きを見て対向者が向かう方向を判断すると考えられる。

(2) 他者の回避方向の判断後の自己の行動決定は、対向者の歩行位相に影響をうける(図8. ②). つまり、他者の回避判断は任意のタイミングですれば良いのであるが、自己の行動決定は他者の回避判断の際に得られた他者の身体部位の情報(特に歩行位相)に依存しているため、対向者の歩行位相に影響をうけてしまう。

(3) 自己の行動決定の後に自己の運動生成を行うが、これは自己の歩行位相に依存する。すなわち、自己の回避方向の足が着地する足の向きの変化などの具体的な行動生成がされており、そのタイミングは遊脚後期に多い(図8. ③).

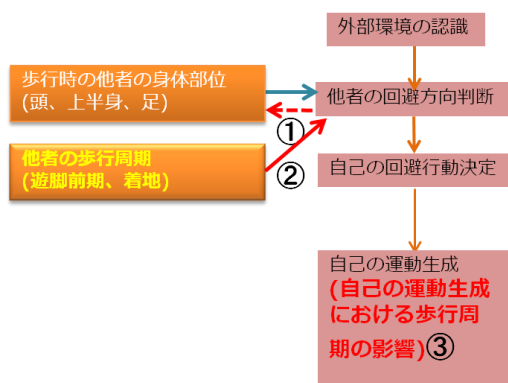


図8. すれ違いにおける歩行者の行動決定過程モデル

4.2 行動決定モデルに基づく歩行者の誘導

の可能性

本研究では、無意識下での人間の行動誘導を目指し、歩行位相に合わせて誘導刺激を出すことで、効果的な誘導を行えるという仮説を提案し、人のすれ違い時の行動決定過程をモデル化した。

3.1 より、我々は他者の身体部位の特に遊脚前期、後期において回避判断を行うことを示した。ここで、回避判断前のタイミングで誘導をかけることで、自己の回避判断に影響を与え、さらに行動決定にも影響を与えることができると考えられる。但し自己は、外部からの誘導ではなく、自身が行動決定したと考える為、自己による行動の修正が起きず、誘導効果が得られる。

一方で、自己は他者の回避方向を判断してその結果を基に行動を決める。ここで、行動決定前に誘導をかけることにより、自己の選択した行動に対して、誘導を与える事ができる。故に、自己が生成した運動に誘導デバイスの効果が加わり、より強い誘導効果を引き出す可能性がある。

5. まとめ

本研究では、無意識的な人間の行動誘導を目指した人間の歩行行動の決定過程の解明のため、1対1のすれ違い実験を行った。その結果、自己の行動決定や自己の運動生成には、対向者や自己の歩行位相が影響しているということが示唆された。但し、運動生成の過程は利き足によって運動生成が影響される可能性も残るため、被験者を増やして再検討を行う必要がある。

さらに、GVSを含めたすれ違いに効果的な誘導デバイスを検討し、美術館や博物館などの迷いやすい場所での誘導実験を検討

していきたい。

6. 参考文献

[1] 篠田, 大山, 野田: ウェアラブルデバイスを活用したナビゲーションシステムの構築のための歩行者ダイナミクスシミュレータの開発, 人工知能学会「社会におけるAI」研究会 第7回研究会

[2] 安藤, 渡邊, 杉本, 前田: 前庭感覚インタフェース技術の理論と応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 3, pp. 1326-1335, 2007

[3] N. Watanabe, T. Omori: Trigger Model for Guiding Arm Movement in Circle Drawing, Proc. IEEE&INNS/FUZZ'10(WCCI'10), pp.18-23, 2010

[4] 土屋, 高草, 萩原: 【シリーズ移動知】第2巻 身体適応一歩行運動の神経機構とシステムモデル, オーム社, 2010

[5] 佐藤, 運動動作における「Lead」と「Follow」, 体力科学 40(6), 908, 1991-12-01