

<研究課題> 歩き方の違いに着目した歩行者の内部状態推定と行動予測

代表研究者 兵庫県立大学大学院工学研究科 准教授 山添大丈

【まとめ】

本研究では、歩行者の歩き方の違いに着目し、歩行者が停止しようとしている、曲がろうとしている、といった内部状態（意図）を推定することを目指し、様々な条件における歩行データの取得とその分析を行った。実験では、被験者はヘッドマウントディスプレイ(HMD)を装着して仮想環境中を歩行し、その様子を取得した。分析の結果、内部状態の違いによって、歩行速度や視線方向、頭部・胸部姿勢などに変化が生じることを確認した。

1. 研究の目的

自動運転車の普及に伴い、交通環境は自動運転車と人・人間運転車の混在環境となっていく。こういった環境における安全実現には、自動運転車と人（歩行者・運転者）が互いの行動を理解しながら行動することが重要である。本研究では、歩行者の行動理解に着目し研究を進めた。

これまでに、歩行者の行動理解・予測を目指し様々な研究が行われているが、その多くでは、歩行者の移動軌跡に着目し、その予測を目指していた。これに対し、道路や交差点を渡るかどうかといった、より細かな情報である歩行者の意図を推定することを目指し、様々な条件での交差点横断において全身の動作を計測し、その変化を分析する研究が行われている[1,2]。Kalantarovらは、大型ディスプレイを利用した実験により、歩行者が交差点を渡り始める際には、まず頭・肩が動き、その後、胴・腕、膝、足首の順で動き始めることを示した[1]。Sprengerらは、実際の横断歩道における実験により、歩行者が横断歩道を横断しようとして車道を確認する際には、頭部姿勢には変化がないものの、胴と肩の回転が大きくなることを示した[2]。また交通環境が対象ではないが、Gandrudらは、視線と頭部方向から歩行者の目的地を予測することを目指し、HMDを用いた仮想環境において実験を行っており、視線と頭部方向から歩行者の進行方向の予測が可能であることを示している[3]。

本研究では、これらの研究と同様に、歩行者の歩き方（全身の動き）に着目し、それらの動きの変化から、歩行者の意図（内部状態）を推定することを目指す。

2. 研究方法と経過

2-1 実験環境の構築

本研究では、仮想環境中で実験を行うことで、交通環境の様々な要因を制御しながら実験を行うことを考えた。そのため、統制された実験環境（図1(a)、環境1）と、交通環境を模した2環境（図1(b),1(c)、環境2,3）の計3種類の環境を作成した。

環境1では、歩行途中で被験者正面に指示（赤信号、左右矢印）が提示され、それに応じた歩行を行ってもらう。環境2では、歩道歩行中に、歩道を横切る車道を渡るシーンを模しており、歩行者正面に配置された信号の指示に従って歩行してもらう。環境3では、歩道の右側に車道が存在し、車が通過する車道の横断歩道を渡るシーンを模したものである。車との位置関係を踏まえて、被験者の判断で横断するかどうかを決定してもらう。これらの実験を通じて、停止するかどうか、曲がるかどうか、といった歩行者の意図を推定することを目指す。

実験では、被験者はヘッドマウントディスプレイ（HTC Vive Pro Eye）を装着し、姿勢計測用に胸、腹、両腕、両脚に6個のトラッカ（Vive Tracker）6個を装着する（図2）。

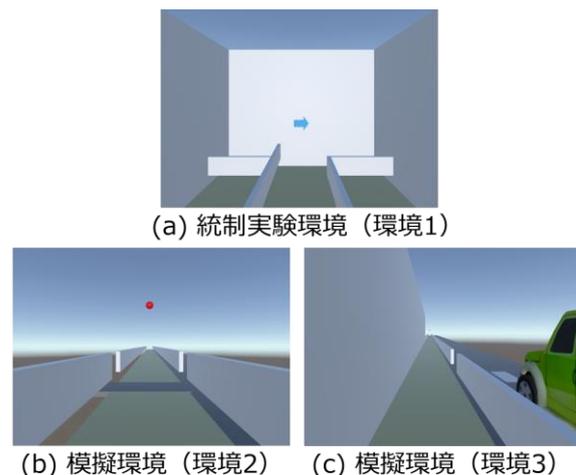


図1 構築した仮想環境

2-2 予備実験

本実験の前に、実験デザインの妥当性を評価するため、被験者3名での予備実験を行った。

環境1での2条件、環境2での5条件、環境3での4条件の計11条件である。予備実験



図2 被験者への装置装着位置
(白丸はトラッカ位置)

の詳細は省略するが、環境1,2における歩行・停止条件の違いとして、主に歩行速度に変化が見られた。一方で、環境3については、運転手の振る舞いや車の細かな挙動の変化が重要とのコメントが得られたことと、取得データにも傾向の違いが見られなかったことから、本実験では環境3での実験は行わないこととした。

2-3 実験

本実験では2種類の実験を行った。被験者は7名である。実験に用いた実環境は8×5[m]の部屋であり、それよりも少し小さい仮想空間(7×4[m])を構築し、被験者にはその中を歩行してもらった。上述の通り、被験者にはHMDとトラッカ6個を装着してもらい、全身の動きを計測する。

実験の流れとしては、まず被験者にHMDとトラッカを装着してもらい、視線推定装置やトラッカのキャリブレーションを行う。実際にデータ取得実験を実施する前に、HMDを装着した状態での歩行に慣れてもらうために、仮想空間内を自由に移動してもらった。その後、カウンターバランスを取った実験順序により各条件3回ずつの歩行を取得した。

本研究は、「立命館大学における人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認を得て実施した(BKC-人医-2018-068)。

2-3-1 実験1

実験1では、被験者が歩行を継続するか、停止するかという歩行意図に着目し、2種類の環境(環境1,2)において図3に示す3条件の実験を行った。いずれの条件でも実験開始時には青信号が提示されており、条件に応じて歩行中に赤信号に変化する。赤信号が提示された場合には、被験者には決められた停止位置で停止してもらう。

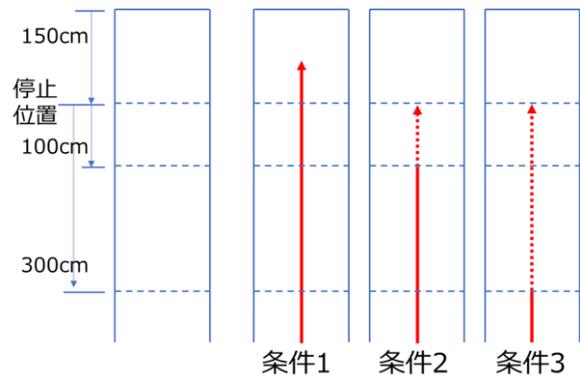


図3 実験1の実験環境(左)と条件(右)
(破線は停止指示後の歩行)

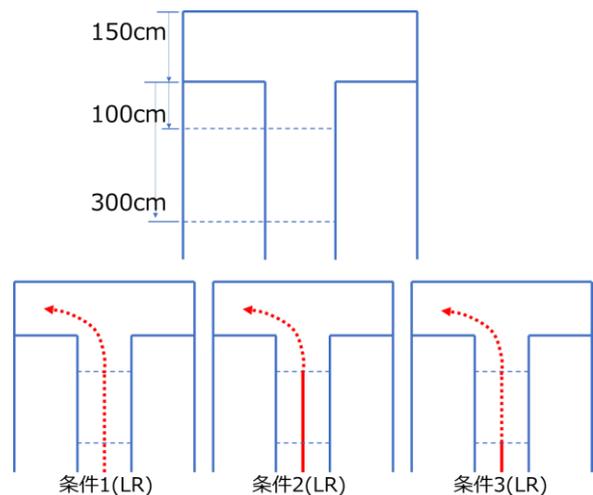


図4 実験2の実験環境(上)と条件(下)
(破線は方向指示後の歩行, 左指示の場合)

条件1では、青信号のままであり、停止位置では停止せずに歩行を継続し、仮想環境の端まで歩行してもらう。条件2では、被験者が停止位置の1[m]手前に達した時に赤信号に変化し、停止位置で停止してもらう。条件3では、被験者が停止位置の3[m]手前に達した時に赤信号に変化する。これにより、被験者が歩行を継続・停止しようとしている場合の歩行の違いを観測することを目指す。

2-3-2 実験2

実験2では、被験者が左右のどちらに曲がるかという歩行意図に着目し、環境1において図4に示す6条件の実験を行った。歩行中に正面に左右の矢印が提示され、被験者にはそちらに歩行してもらう。

条件1(LR)では、歩行開始前に進行方向が指示されている。条件2(LR)では、交差点の1[m]手前に達した時に左右矢印が提示され、そちらに歩行してもらう。条件3(LR)では、交差点の3[m]手前に達した時に矢印が提示される。これらの実験により、被験者が決まった進行方向

を持つ場合、持たない場合の歩行の違いを観測することを目指している。

2-3-3 データの前処理

いずれの実験でも、HMD とトラックを用いて頭部・胸部・腹部・両腕・両脚の位置・姿勢と視線方向がそれぞれ約 90fps で記録される。ここで、姿勢データと視線方向については、計測誤差が見られたため、データの平滑化（幅 0.3 秒）を行うこととした。

3. 研究の成果

3-1 実験 1 の結果

実験 1 では、歩行速度、視線、頭部・胸部姿勢に変化が見られた。図 5, 6 に歩行速度と視線、頭部・胸部姿勢（上下）に関する全被験者平均の比較を示す。

結果より、条件 1,2 と比較して条件 3 の場合に、それぞれ変化が見られている。また検定の結果より、視線方向と頭部方向では 2[m]以降（赤信号提示後 1[m]）、歩行速度と胸部方向では 3[m]以降で、条件 1,2 と条件 3 で有意差が観測された。このことから、赤信号提示後（歩行意図の変化後）に、特に視線と頭部方向に変化が生じやすいことがわかった。

一方で、環境 1 と 2 の比較では、傾向に大きな違いは見られなかった。

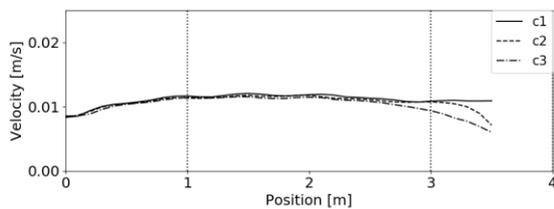


図 5 歩行速度の比較

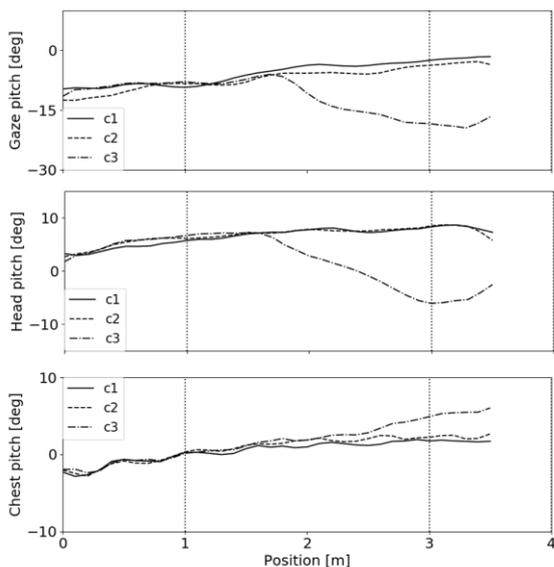


図 6 視線、頭部・胸部姿勢（上下）の比較

3-2 実験 2 の結果

実験 2 でも、いくつかの変化が見られた。ここでは、左に歩行する 3 条件の比較のみを示す。図 7 に歩行軌跡、図 8,9 に視線、頭部・胸部姿勢に関する全被験者の平均の比較を示す。

結果より、歩行軌跡には大きな違いは見られなかったが、視線・頭部方向に関して、条件 2 と比較して条件 1,3 で早い段階で進行方向・下方向に変化する傾向が見られた。また、胸部についても、左右方向では同様の傾向が見られた。

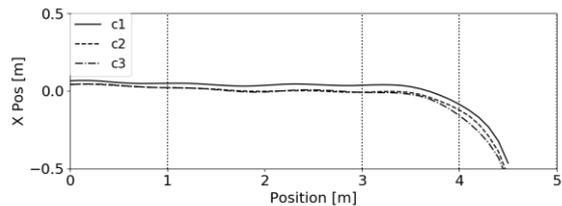


図 7 歩行軌跡の比較

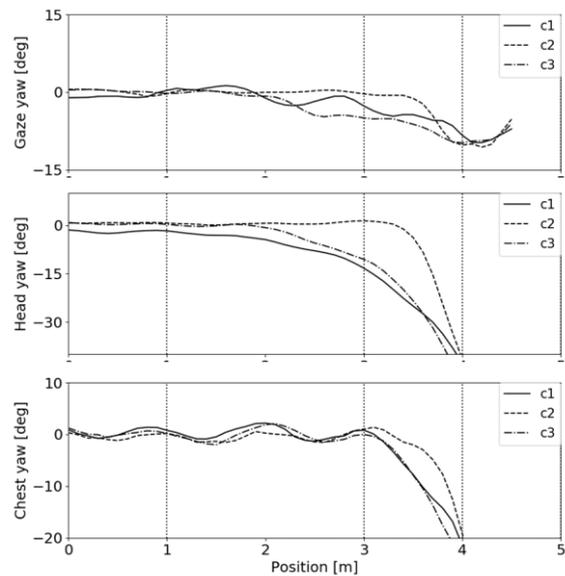


図 8 視線、頭部・胸部姿勢（左右）の比較

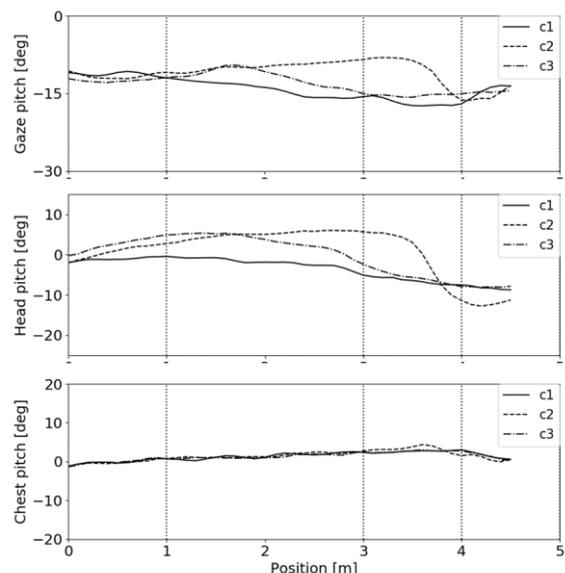


図 9 視線、頭部・胸部姿勢（上下）の比較

検定の結果より、条件3では、2[m]地点以降（方向指示後1[m]）で、視線・頭部方向に変化が生じることがわかった。

また、実験1,2ともに、腕・脚の姿勢については結果を示していない。これは、両部位では、歩行周期により姿勢が大きく変化し、単純な分析では有意差が見られなかったため、今後、歩行周期を踏まえた分析を進めていく。

3-3 考察

実験1では、歩行の継続・停止という歩行意図の違いによって、歩行速度、視線、頭部・胸部姿勢への変化が確認された。実験2では、左右に曲がるという意図を持つ場合と持たない場合で、視線、頭部・胸部姿勢に変化が生じることが確認された。

実験1の結果に関して、歩行速度については、停止に向けて歩行速度を低下させたと考えられる。また視線・頭部についても、目標地点である停止場所を確認するために、視線・頭部方向が下を向いたと考えられる。

実験2の結果のうち、進行方向と歩行軌跡のとの関係性について、文献[3]では進行方向に歩行軌跡が変化すると報告されていたが、本研究ではそういった傾向が見られなかった。

一方で、Nummenmaaらの研究[4]では、進行方向と視線方向の関係性が示されており、本研究でも同様の結果が得られていた。

また、視線、頭部・胸部の姿勢変化については、文献[2]では、胴や肩（胸）の姿勢に変化が生じ、頭部には変化が見られなかったのに対し、本研究では頭部に変化が生じやすいことが確認された。このことから、文献[2]と本研究での実験条件の違いなどから、変化傾向の違いが生じているとも考えられ、今後それらの要因についても検討する必要がある。

4. 今後の課題

現在の分析では、時系列的な分析ができておらず、上でも述べたように歩行周期を考慮した分析もできていないため、それらを考慮した分析を進めていく予定である。また、車とのインタラクションを含む実験条件についても実験を行い、分析を進めていきたい。さらに、得られた知見に基づく内部状態推定モデルの構築についても検討を進めていく。

5. 研究成果の公表方法

現在、研究会や国際会議への投稿準備を進めているところである。また、今後さらにデータ分析を進め、論文誌への投稿も進めていく。

参考文献

1. S. Kalantarov, R. Riemer, and T. Oron-Gilad, "Pedestrians' road crossing decisions and body parts' movements", *Transportation Research Part F*, Vol. 53, pp 155-171, 2018.
2. J. Sprenger, H. Kilger, C. Müller, P. Slusallek, and S. Malone, "Capturing Subtle Motion Differences of Pedestrian Street Crossings", In *Proc. the 32nd Int'l Conf. Computer Animation and Social Agents*, pp. 29-32, 2019.
3. J. Gandrud, and V. Interrante, "Predicting destination using head orientation and gaze direction during locomotion in VR", In *Proc. ACM Symp. Applied Perception*, pp. 31-38, 2016.
4. L. Nummenmaa, J. Hyönä, and J.K. Hietanen, "I'll walk this way: Eyes reveal the direction of locomotion and make passersby look and go the other way", *Psychological Science*, Vol. 20, No. 12, pp. 1454-1458, 2009.

以上