

経路幅が人間の距離知覚と経路歩行時の注視位置に与える影響

Effects of path width on human distance perception and position during path walking

○米澤 健太^{*1}, 吉岡 陽介^{*2}
Kenta Yonezawa^{*1}, Yohsuke Yoshioka^{*2}

*1 千葉大学大学院融合理工学府創成工学科建築学コース 博士課程前期
Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University

*2 千葉大学工学研究院 准教授 博士(工学)
Associate Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University, Doctor of Engineering

キーワード：没入型仮想環境 ; 距離知覚 ; 経路幅 ; 注視位置

Keywords: Immersive virtual environment; Distance perception; Path width; Gaze position.

1. 背景

日常生活の中で目的地までの経路を歩行する際、経路の環境や形状によって、同じはずの距離を長く感じたり、短く感じたりしたことはないだろうか。経路の距離を、実際よりも長く感じる、または短く感じるといった、人間の距離知覚に関する研究はこれまでも数多く行われてきた。

例えば、片山らの一連の研究¹⁾²⁾では、「空間に広がりのある経路」の距離は、実際の距離よりも短く知覚されることを指摘している。一方で、Sadalla らの一連の研究³⁾⁴⁾では、「曲折や交差点の数が多き経路」の距離は、実際の距離よりも長く知覚されることが報告されている。

このような人間の距離知覚への影響には、歩行する経路から得る視覚情報やそれを処理するための脳の労力が関係することが推測されている。前述の Sadalla らの研究⁴⁾では、経路の中の曲折や交差点が多いほど、安全確認や信号に対する注意が増え、経路を歩行するために視覚から得る情報が多くなり、その情報を処理するために脳の労力が増えるため、経路の距離を長く感じると考えられている。

しかし、これらの既往研究では、実際の建築物を含む街路空間を対象としていたため、様々な環境要因が混在しており、1つの環境要因を特定して、その影響のみを明確にすることは困難であった。そこで、仮想環境技術を用いることによって1つの環境要因に絞った実験空間を作り出すことができ、特定の環境要因による距離知覚と視覚情報への影響を明確にできると考えた。

2. 目的

本研究では、経路幅の変化が人間の距離知覚にどのような影響を与えるのかを検証する。既往研究において距離知覚に影響することが示唆されている環境要因の中でも、経路の視覚的イメージが大きく変化する経路の形状、特に「経路幅」に着目した。この経路幅と距離知覚の関係、および、経路を視覚的に認知するための注視特性の変化を検証することで、歩行空間のデザインや動線計画に役立つ知見を得ることを目的とする。

3. 方法

3.1. 実験概要と環境

本研究では、仮想環境内に構築した直線状の経路空間を、被験者自身に足踏みをさせた疑似的な歩行により体験させ、その時の経路幅の変化が、距離知覚および注視特性に与える影響を分析する。

実験は千葉大学の実験室にて行った。被験者は大学生と大学院生計 10 名である（男性 7 名、女性 3 名）。VR ソフトウェア(vizard6.0)を用いて経路空間を含む仮想環境を構築し、ヘッドマウントディスプレイ (HTC-VIVE Pro Eye/HTC 社) を介して被験者に体験させた(図 1)。

また、被験者の両足の甲にポジショントラッカー(VIVE トラッカー/HTC 社) を装着させ被験者の両足の鉛直方向の座標を取得した(図 1)。そして両足の座標のうち、どちらか一方でも 0.15m の値を超えている間、仮想環境内での位置座標が前方にまっすぐ進むようにプログラムした。これにより被験者は、その場で足踏みをすることで、仮想の経路空間内を前進することができ、限られた大きさの実験空間において疑似的な歩行感覚を得ることができる。

また、足踏みによる前進速度は、人間の平均歩行速度である 1.5m/s とした。被験者は、足踏みを続けている間は仮想の経路空間内を一定の速度で直進することができるが、両足を地面に着地させ足踏みを止めることで、仮想の経路空間内において停止できるように実装した。

なお、ヘッドマウントディスプレイは、眼球運動追尾デバイスを搭載しており、被験者の眼球運動を逐次検出できる。これにより、実験中全ての経路歩行時の被験者の注視点位置を座標データとして 0.1 秒ごとに出力した。

3.2. 実験条件

まず、経路幅 3m の経路を基準条件として設定し、この経路のスタート位置から 15m 前方に、ゴール地点の目印として 2 本のポールを設置した。このゴール地点のポールは、基準経路内での歩行距離を目測させるためのもので、15m の目測に最適な目印として事前検証を経て選定した(図 1)。

実験変数である経路幅は、基準条件から 0.5 倍にした 1.5m、2 倍にした 6.0m、3 倍にした 9.0m の 3 水準に設定した。経路幅が狭い方から条件 A、条件 B、条件 C とし、各条件の経路ではゴール地点を表すポールはない(図 1)。

各実験条件を被験者 10 人にそれぞれ体験させた。1 条件あたりの試行回数が多いことから、1 日 1 条件のみとし、被験者一人あたり延べ 3 日間の期間で実験を行った。

3.3. 実験手順

まず、被験者に基準条件の距離を正確に記憶させるために①～④の手順を行い、その記憶した距離を足踏みを用いた擬似的歩行により再現させるために、⑤を実施した。

- ① ゴール地点のポールが表示された基準条件の経路空間にて、足踏みでゴール地点まで進んでもらい、その距離を記憶させる。
- ② 再度、基準条件の経路空間を提示し、被験者にスタート地点からのポールのあるゴール位置を確認させる。その後、被験者からの確認完了の合図とともにゴールを非表示にする。そして、足踏みにより記憶したゴール地点まで進み、停止してもらう。
- ③ 被験者が停止した直後、ゴールを再表示し、停止地点と実際のゴール地点とのずれを被験者自身に確認させる。このずれが基準の距離 15m に対して $\pm 2m$ の範囲内 ($14.0 \leq X \leq 16.0$) の場合には、④の手順に進む。 $\pm 2m$ の範囲を超える場合は、再度①の手順に戻ってここまでの手順を繰り返す。
- ④ 次に、基準条件の経路空間を、最初からゴール非表示の状態を提示し、①～③の過程で記憶したゴール地点まで足踏みで進んでもらう。この手順での移動距

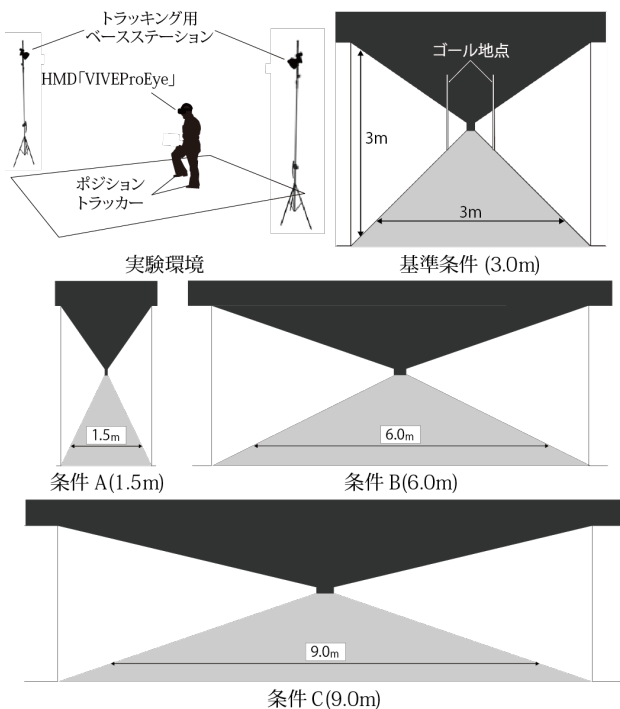


図1 全実験条件経路のイメージ

離を X とする。基準の距離 15m に対する X の値が 3 回連続で指定の範囲内 ($14.0 \leq X \leq 16.0$) におさまった場合に、ゴール地点とゴール地点までの距離を記憶できたと認め、⑤の手順へ進む。1 回でも指定の範囲を超えた場合には、再度②の手順から繰り返す。

- ⑤ 経路幅が変化した条件の経路を 1 つ提示し、足踏みにより基準条件にて記憶したゴール地点までの距離と同じ距離だと感じる地点まで進んでもらう。この時のスタート地点からの移動距離をデータとして取得する。以上の手順をまとめた(図 2)。

3.4. 実験手順の有効性確認のための予備実験

予備実験の目的

前述した実験手順①～④は、基準条件のゴールまでの距離を記憶させるため、試行の反復とずれの確認を被験者に行わせる。この手順が、実際にゴール地点までの距離を記憶するために有効であるかを検証することを目的とした。

予備実験の方法

予備実験の被験者は大学生 5 名とし、その他の実験環境は本実験と同様とした。前述の実験手順の①～④までの工程を行わせ、②と④の手順において被験者が移動した距離

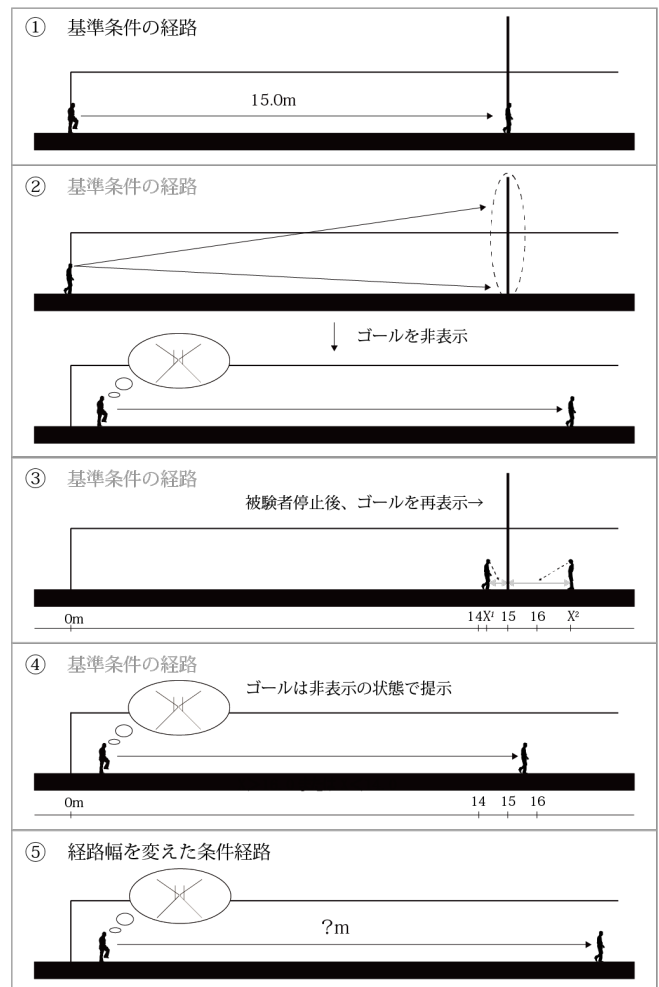


図2 実験手順のイメージ図

を X とし、この X 値が 3 回連続で $14.0 \leq X \leq 16.0$ の範囲に収まるまでの試行回数を計測することとした。

予備実験の結果

予備実験の結果を図 3 に示す。被験者によって差はあるが、試行を 5 回～8 回繰り返すことによって 3 回連続で 14.0m～16.0m の範囲に移動距離の値が収束していくことが読み取れる。被験者が 1 回の試行ごとに、自分の移動距離と実際のゴール地点とのずれを視覚的に確認したことで、移動距離に修正が加えられたからであると考えられる。

この結果から、本実験で設定した実験手順が、基準条件のスタート地点からゴール地点までの距離を正確に記憶するために、有効であると判断した。

4. 分析方法

4.1. 距離知覚の分析方法

各被験者の基準条件における移動距離 X の値が、3 回連続で $14.0 \leq X \leq 16.0$ となった時、その 3 回の値を平均し、「基準条件値」と呼称する。この基準条件値と各条件の経路での移動距離の差の値を分散分析、多重比較検定により分析する。基準条件値を導出したのち、再び基準条件を歩行させた場合、被験者の移動距離は 14.0m～16.0m になることが予想される。しかしこれが、条件経路を歩行させた場合、移動距離に変化が生じることが予想される。この変化を分析することで、経路幅の変化による距離知覚への影響として定量化が可能となる。

なお、ある条件の経路での移動距離の値が基準条件値よりも大きい時、その条件の経路を短く知覚したことになり、小さい時は、その条件の経路を長く知覚したことになる。

4.2. 注視位置の分析方法

注視点データとして得られる、スタート地点を原点とした水平方向、鉛直方向、奥行き方向の座標のうち奥行き方向座標を「注視位置」として設定した。本研究では、スタート位置から見たゴール位置までの奥行き方向の距離を被験者は記憶するため、奥行き方向の注視位置の変化が停止位置の決定に大きく影響することが予想されるからである。各被験者の基準条件における注視位置と各条件経路における注視位置の差を算出することで、実験条件の変化

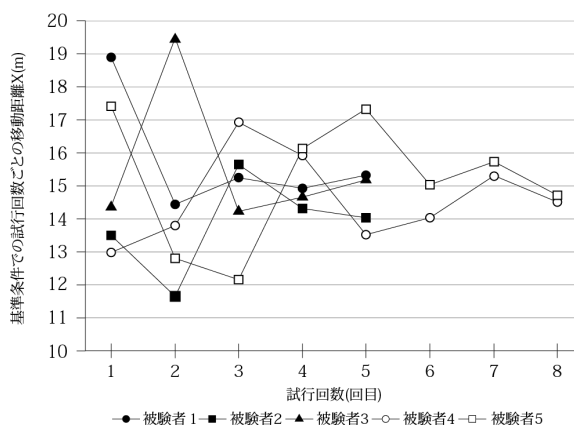


図3 各被験者の試行回数増加による移動距離の変化

が注視位置の変化に与える影響を定量的に検証する。

5. 実験結果と考察

5.1. 経路幅の変化と距離知覚の分析

各被験者の基準条件値と各実験条件での移動距離との差分を算出し、経路幅を要因とした一元配置分散分析を行った。その結果、危険率 5%で帰無仮説は棄却され、実験条件である経路幅の変化によって、距離知覚に有意な差が生じていることが判定された。そこで各条件間での差異を分析するため、Bonferroni 法による多重比較検定(5%水準)を行ったが、ここでは条件間の有意差は認められなかった(図 4)。図 4 のデータ推移を概観すると、経路幅が広い場合には、その経路の距離を基準条件値よりも短く知覚しており、経路幅が狭い場合には、その距離を基準条件値と同程度に知覚している可能性がある。

また、条件 A と条件 B の間のデータの推移をみると、経路幅 1.5m～6.0m の範囲では、経路幅の拡大に伴って、経路の距離をより短く知覚する傾向が見られる。そのため、条件 B と条件 C との間においても、距離知覚の値が比例して大きくなることが予想されたが、条件 B と条件 C それぞれにおける平均値の比較をしたところ、条件 B の方が条件 C よりもわずかに距離を短く知覚する結果となった(図 4)。この結果から、本研究で実験条件として設定した経路幅の範囲では、経路幅と距離知覚の関係性について以下の 2 つの仮説が新たに提出されうると考える。

1 つ目は、経路幅 6.0m の付近に距離知覚の変化の閾値が存在する可能性である。すなわち、閾値までは経路幅を広くすると距離をより短く知覚していくが、閾値を超えると距離知覚は変わらないもしくは距離を長く知覚する可能性が考えられる。

2 つ目は、条件 B と条件 C の経路幅が、効果的に差別化できていなかった可能性である。被験者からの意見として、6.0m の幅と 9.0m の幅の違いをあまり感じなかったと挙げられていた。このことが条件 B と条件 C の距離知覚の差が小さいことの理由として考えられる。

5.2. 経路幅の変化と奥行き方向の注視位置の分析

眼球運動追尾システムによって得られた奥行き方向の注視点の位置座標について、基準条件の経路における平均

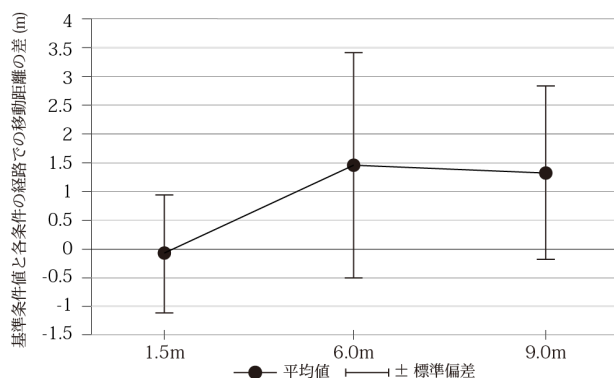


図4 基準条件値と各条件経路での移動距離の差

値と、各実験条件の経路における平均値との差分を集計し、経路幅を要因とした Bonferroni 法による多重比較検定(5%水準)を行った。

その結果、条件 A と B の間と B と C の間に有意な差が認められた(図 5)。この結果は、経路幅 6.0m の時、基準条件の経路幅 3.0m の時よりも注視位置が奥に移動し、その移動量が 3 条件の中で最も大きいことを示している。条件 A と B の有意差については、経路幅が狭くなる時よりも広くなる時のほうが、経路の見通しが良くなり、視界がより奥に開けるようになったため、注視位置がより奥へと伸展したと考えることができる。しかしこの説明では、経路幅 B と C の間の有意差については説明することはできない。前節の距離知覚の分析と同じく、経路幅の効果が無効化や逆転するような閾値の存在が示唆される。

さらに、各実験条件において距離知覚が異なる被験者を分け、それぞれの注視位置の特性を精査することによって、経路幅の変化が距離知覚に与える影響を、各被験者の視覚特性との関連の中で考察することができると考え、距離知覚が異なる被験者群ごとに各計測区間の注視位置の変化を収集した。そのデータについて、経路幅 3 条件と計測区間 8 区間を被験者内因子とし、距離を長く知覚した被験者群と短く知覚した被験者群の 2 つを被験者間因子として、対応のない多元配置分散分析(1%水準)を行った。

その結果、距離知覚が異なった被験者群間で、注視位置の有意な差が認められた。経路を短く知覚した被験者群が、長く知覚した被験者群に比べて、より経路の奥を注視することが示された(図 6 左)。さらに、被験者群と経路幅の交互作用が認められた。その結果を踏まえ、被験者群の 2 水準における経路幅の単純主効果検定(1%水準)を行ったところ、距離を短く知覚した被験者群において単純主効果が認められた。この結果は、距離を短く知覚した被験者群において、経路幅による注視位置への影響が顕著に表れていることを示している。そして距離を短く知覚した被験者群のデータについて、経路幅を要因とした Bonferroni 法による多重比較検定(1%水準)を行ったところ、条件 A と B の間と B と C の間に有意差が認められた(図 6 右)。この結果から、経路幅 6.0m の経路距離を短く知覚した被験者は、他の条件と比べて、注視位置の奥への移動が、特に大きいことが示された。前節の結果における「経路幅が 6.0m の時、注視位置が奥へ移動したこと」について再考すると、距離を短く知覚した被験者に限り、注視位置の奥への移動が、距離知覚の変化に結びついている可能性が示唆される。

6. まとめ

本研究では、仮想環境内に構築した直線状の経路空間を、被験者自身の足踏みによる疑似的な歩行をとおして体験させることで、経路幅の変化が、被験者の距離知覚および注視特性に与える影響を分析した。その結果は以下の通りである。

- 距離知覚への影響に関しては、経路幅を広くした場合にはその経路を短く知覚し、狭くした場合にはその経路を同程度に知覚する傾向が示された。
- 経路幅の変化が注視位置に影響を与えることが明らかになり、距離を短く知覚した被験者の注視位置が経路の奥に移動する傾向が示唆された。
- 距離を短く知覚する被験者において、経路幅による注視位置の変化がより顕著に表れることがわかった。今後は、経路幅の効果が変化する閾値の存在を探るために経路幅の実験条件を増やして検証するとともに、経路幅以外の環境要因にも発展させていくことで、経路歩行中の距離知覚と注視特性の関係性について追究していきたい。

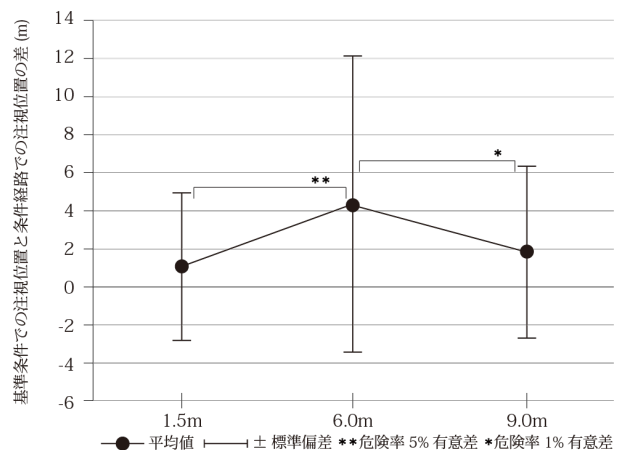


図5 経路幅条件による注視位置の推移の比較

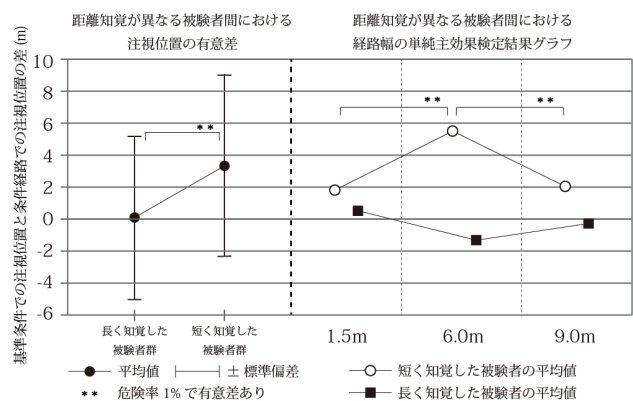


図6 距離知覚が異なる被験者における注視位置の推移の比較

【参考文献】

- 1) 大野隆造, 片山めぐみ, 小松崎敏紀, 添田昌志: 歩行動作と連動する視環境シミュレータを用いた距離知覚に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol.66, No. 550, pp.95-100, 2001.
- 2) 片山めぐみ, 大野隆造, 添田昌志: 歩行移動時の距離知覚に及ぼす経路の形状と周辺環境の影響, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 69, No. 580, pp.79-85, 2004. 6
- 3) Sadalla, E. K., Staplin, L. J., Burroughs, W. J. : Retrieval Process in Distance Cognition, Memory&Cognition, 7, 291-296, 1979
- 4) Sadalla, E. K., Megal, S. G. : The Perception of traversed distance, Environment&Behavior, 12, 167-182, 1980