

HMDによる情報提示が歩行行動に及ぼす影響の基礎的研究

指導教員 木村 徹 教授

川上 将弘

1. 研究の目的

近年、拡張現実感(AR:Augmented Reality)技術の発展とともに、頭部装着型情報提示端末(HMD:Head Mounted Display)が脚光を浴びてきている。AR技術とは現実世界に仮想世界の情報を重ね合わせる手法を言い、透過型のHMDを使用することで、いつでもどこでも、自然な状態で情報を閲覧することが可能になる。こうした利便性から、今後HMDは急速に普及してゆくと考えられる。一方で、昨今における歩行中の携帯端末使用による注意力の低下が招く、周囲の歩行者や障害物への衝突事故に見られるように、歩行中のHMD使用も歩行行動に少なからず影響を及ぼす可能性がある。しかしながら、HMDの使用が歩行行動に及ぼす影響の検証はまだ行われていない。

そこで本研究では、HMDによる情報提示が行為者の歩行周期や回避行動、予期的制御等の歩行行動に及ぼす影響を、携帯端末との比較を通して検証する。

2. 実験計画

2-1. 概要 携帯電話等の携帯端末及び、HMDを歩行中に使用した場合の行為者への影響を検証するため、実際に行為する事態を想定した3種類の実験を行った。

また、実験を行う際、比較検証するため、情報提示端末を使用しない「統制条件」、携帯端末を使用する「携帯条件」、HMDを使用する「装着条件」と、基本となる3種類の条件を設けた。統制条件を基準とし、携帯条件及び装着条件との変化を比較することで行為者に対する影響を検証した。

2-2. 使用した情報提示端末 装着条件では、反射型ホログラム光学素子を利用した眼鏡型単眼式のHMDを使用した。これは、小型軽量かつ高い透過性を持つため、外界視野を妨げず視線を上げたまま表示画面を確認することが可能である(図1)。また、携帯条件では、動画再生可能な携帯型音楽プレイヤーを利用した。この場合、使用者は片手に端末を持ち、俯き加減で表示画面を確認しなければならない(図2)。



図1. 装着条件姿勢



図2. 携帯条件姿勢

2-3. 提示した映像 携帯条件と装着条件では、それぞれの端末による情報閲覧を想定し、画面上を右から左へ流れる「いろはうた」の文字列を読ませて集中させる簡単な課題を設けた(図3)。また、各条件による見え方の違いを図4,5に示す。



図3. 提示情報



図4. 装着条件見え方



図5. 携帯条件見え方

2-4. 実験 I 歩行の基本要素である歩行周期への影響を検証するため、臨床運動学に基づいた10m歩行テストを行い、各条件における自然歩行^{注1)}の歩行周期変数である速度(cm/sec)、歩幅(cm)、歩行率(steps/sec)を求めた。図6に、実験Iの流れを示す。

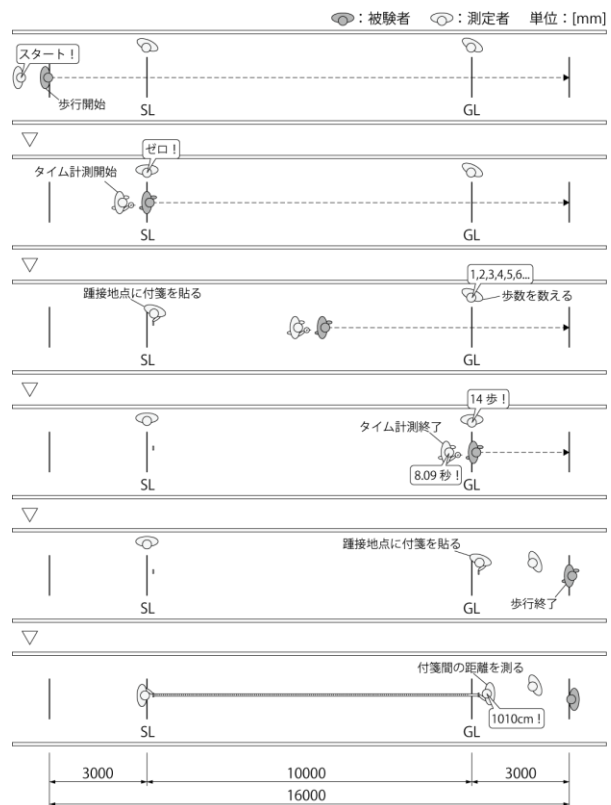


図6. 実験Iの流れ

まず、実験を始める前に、被験者には歩行路を自然歩行で、できるだけ速度を一定にして歩くように指示した。スタートの合図後、測定者は被験者と共に歩き、被験者がスタートライン(以下、SL)のテープを横切ってからゴールライン(以下、GL)を横切るまでのタイム(sec)を測定した。SL側の測定者には、SLを越えた被験者の最初の踵接地位置に付箋を貼らせた。また、GL側の測定者には、被験者の歩数を数えると共に、GLを越えた最初の踵接地位置に付箋を貼らせた。この際、SL側の測定者は最初の踵接地の時点で「ゼロ」と声に出し、それを基準としてGL側の測定者が歩数(steps)を数えた。歩行終了後、付箋間の距離(cm)を計測した。

以上の流れを、被験者15名に対し、各条件でそれぞれ3回ずつ試行し、平均値を取った上で、以下の式から各被験者の速度、歩幅、歩行率を求めた。

速度(cm/sec) = SL-GL間の距離(cm) ÷ タイム(sec)

歩幅(cm) = 付箋間の距離(cm) ÷ 歩数(steps)

歩行率(steps/sec) = 速度(cm/sec) ÷ 歩幅(cm)

2-5. 実験II 実験IIでは、人や物などの静止する障害物に対する回避行動への影響を検証するため、肩幅の1.3倍の隙間を通り抜けるテストを行い、各条件において肩を左右に回して避ける動作の回転角度(°)を測定した。尚、エコムリクスの研究¹⁾から肩を回転させずに通過できる臨界的な隙間の幅は、歩行速度や身長に関わらず、肩幅の約1.3倍であるとされている。図7に実験IIの流れを示す。

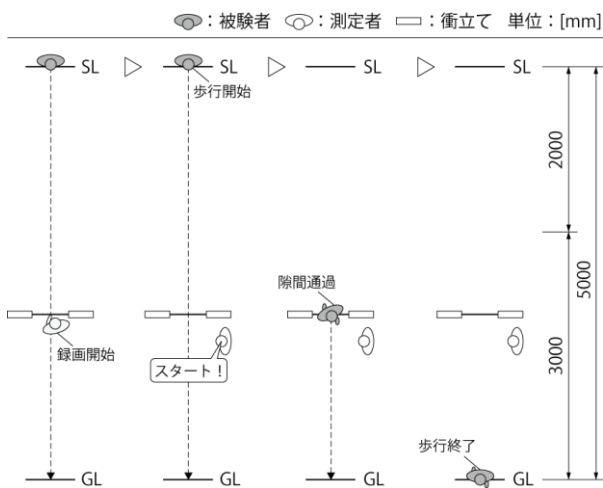


図7. 実験IIの流れ

まず、実験を始める前に、被験者の肩幅を測定し、1.3倍した値を隙間幅とした。隙間は衝立て(1800×310cm)を2枚、垂直に立てて作っている。また、隙間の真上からのビデオ撮影により回転角度を測定するため、被験者の両肩にはマーカーとしてシールを貼った。準備が整い次第、測定者はビデオ録画を開始してスタートの合図を送った。被験者はSLから自然歩行を行い、隙間を抜け、GLまで歩く。この際、隙間の幅に危険を感じた場合は肩を縮こませるのではなく、左右に回転させて避けるよう指

示している。

以上の流れを、被験者15名に対し、各条件でそれぞれ3回ずつ試行し、全ての試行終了後、録画映像から各被験者の平均回転角度を求めた。

2-6. 実験III 混雑した路上において、周囲を歩く他の歩行者との不慮の接触を予期し、ある程度の距離を制御する必要がある。そこで、実験IIIでは、前方歩行者を想定した人形を追わせ、一定時間後停止した人形との距離(mm)を測定し、予期的制御への影響を検証した。図8に実験IIIの流れを記す。

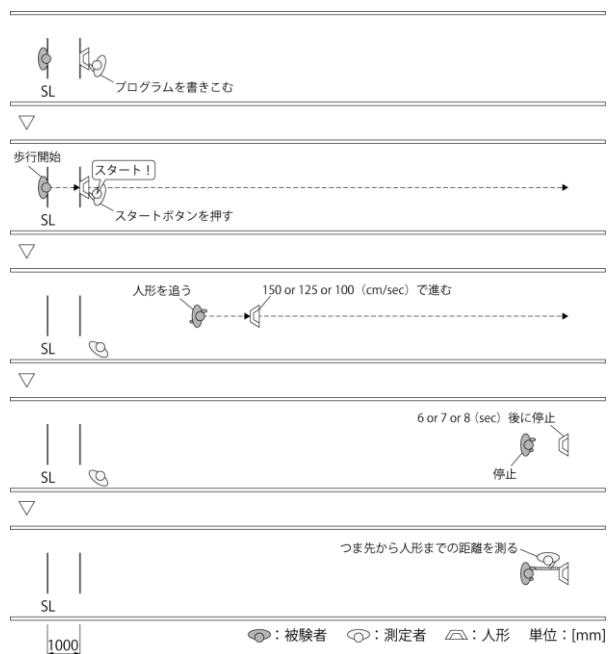


図8. 実験IIIの流れ

まず、実験を始める前に、被験者にはできるだけ安全だと思える距離を保ちながら、前方の人形を追うように指示した。尚、使用した人形(高さ1750mm)にはマイコンを備え付け、スタートボタンを押すと速さ大(約150cm/sec)、中(約125cm/sec)、小(約100cm/sec)のいずれかで走り出し、一定時間(6,7,8sec)後に停止するプログラムを組み込んでいる。準備が整い次第、測定者は人形のスタートボタンを押すと同時にスタートの合図を送った。被験者は一定速度で走りだした人形を追い、一定時間後、人形が停止すると共に歩行を止める。この際、停止した時点での足の位置をずらさずに測定を待つように指示している。測定は前方に出た足のつま先位置から、人形までの距離を計測した。尚、停止までの時間を変化させたのは慣れによる影響を除外するためである。

以上の流れを被験者21名に対し、各条件、3種類の速さで測定した。また、全ての試行終了後、各条件における安全性の主観評価を5段階で行った。

3. 結果と考察

3-1. 実験I 各条件における、速度、歩幅、歩行率、歩行比の平均の比較を図9,10,11,12に示す。尚、試行中に早歩きをしていたと思われる被験者の1名が特異な傾向

を示したため、集計から除外した。また、有意差の検定は被験者間の個人差を考慮し、被験者データの中心化を図った上で、多重比較により行った。

結果、全ての要素に関して、統制条件と携帯条件間、統制条件と装着条件間に有意差が見られたが、携帯条件と装着条件間には有意差が見られなかった。このことから、携帯条件と装着条件ではともに、統制条件と比べ、歩行速度と歩幅が約 1 割程度低下し、10 秒間の自然歩行中に 1 歩程度、歩数が減少することが分かった。また、歩行比(cm/sec/steps)は歩幅を歩行率で除した値であり、歩行比が低下していることから、歩行率の減少よりも歩幅の低下が大きかったことが分かる。

以上の結果から、携帯条件と装着条件では、歩行周期に同程度の影響を及ぼしていることがわかった。したがって、歩行周期の変化は、姿勢の違いや見え方の違いによらず、提示された情報を閲覧することによるものである。また、歩行速度が歩幅と歩行率の減少に伴い減少したことは、その関係上、妥当な結果であった。しかしながら、健常者の自然歩行における歩行比は一定であることが歩行のエネルギーコストの最適状態とされており²⁾、歩行比の低下は身体的負担となる可能性がある。そして、その原因は情報閲覧による視覚的負担が歩幅に影響を及ぼしているためと考えた。

3-2. 実験Ⅱ 各条件における、回転角度の平均の比較を図 13 に示す。尚、有意差の検定は実験Ⅰと同様の方法で行った。

結果、統制条件と装着条件間に有意差は見られなかったが、統制条件と携帯条件間、携帯条件と装着条件間には有意差が見られた。このことから、肩幅の 1.3 倍の隙間を通り抜ける際の肩の回転角度は、装着条件では統制条件と同程度であるが、携帯条件では増大することが分かった。

以上の結果から、携帯条件では静止する障害物に対し肩を左右に回転して避ける回避行動に影響を及ぼしていることが分かった。一方で、装着条件では影響は見られなかった。実験Ⅰより、携帯条件と装着条件の歩行速度は同程度なので、携帯条件のみ回転角度が増大したことを考えると、回転角度の増大は歩行速度の低下によるものでないことが分かる。また、ともに情報を閲覧しながらの歩行であったため、回転角度の増大は姿勢と見え方の違いにあったと考えられる。これは、装着条件では周辺視野で隙間幅を捉えることができたのに対し、携帯条件では下を向いているため、直前まで隙間幅を捉えることができなかったと考えた。

3-3. 実験Ⅲ 各条件と速さにおける、停止した人形との距離(以下、停止距離)の平均の比較を図 14 に示す。尚、装着条件速さ中及び携帯条件速さ小に各 1 名

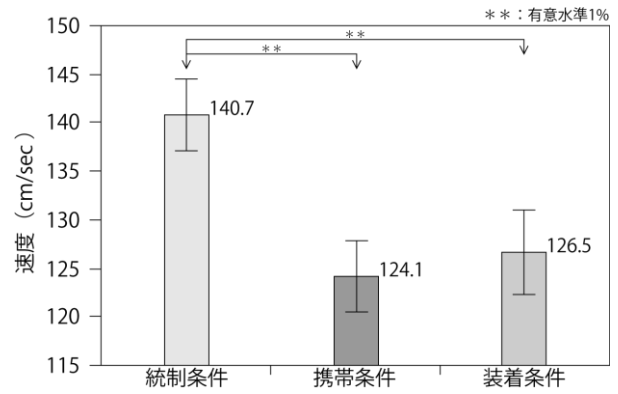


図 9. 平均速度の比較

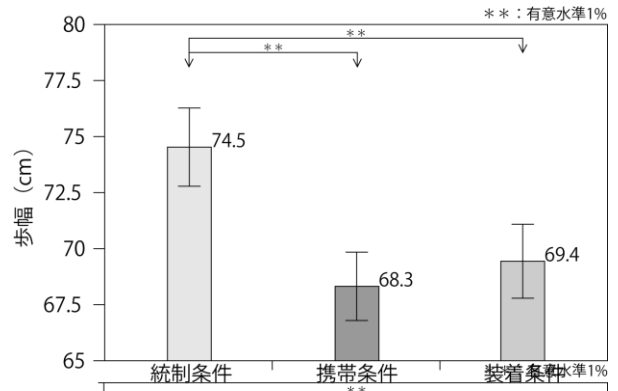


図 10.* 平均歩幅の比較

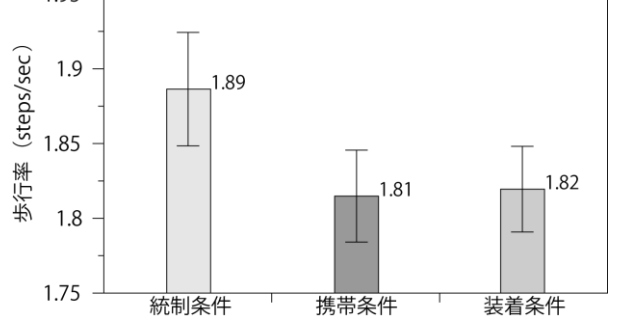


図 11. 平均歩行率の比較

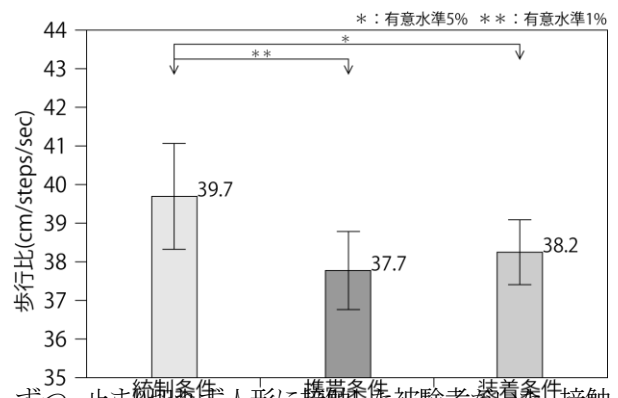
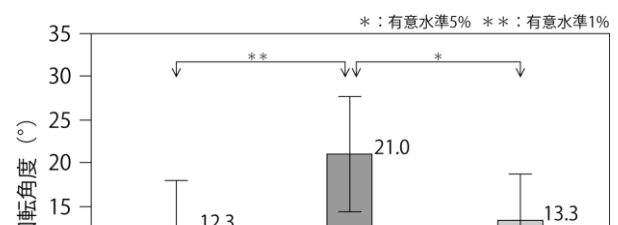


図 12. 平均歩行比の比較

ずつ、止まり切れず人形に接触した被験者がいた。接触の停止距離は 0mm と特異な値をとり、全体の平均に大きく影響を及ぼしかねないため、集計から除外し、有意差の検定を先の実験と同様の方法で行った。

結果、携帯条件速さ大と装着条件速さ大間に有意差



行者に対する予期的制御に影響を及ぼしていることが分かった。既往の研究より携帯端末及び HMD 使用時には前方の刺激に対する反応が遅れるという報告がある³⁾。よって、反応の遅れにより人形の停止に気づいてから実際に被験者が停止するまでに接近する距離は少なからず増加するはずである。しかしながら、速さ中、速さ小において停止距離は同程度であったことから、危険意識により、反応の遅れを加味して被験者が無意識に距離を制御していたと考えられる。一方、スピードが速くなるとともに視野が狭くなってゆく動体視野の特性上、速さ大では映像への注視度が増し、距離感を上手く掴むことができず、危険意識の増大から制御距離が長くなっていったと考えた。尚、装着条件速さ中及び、携帯条件速さ小で接触した被験者2名は、他の条件においても、比較的停止距離が短い傾向にあった。そのため、接触が情報提示の負荷によるものなのか、単なる不注意に過ぎなかったのか疑問が残る。

4. 結論

本研究から確認できた、HMD による情報提示が行為者の歩行行動に及ぼす影響を以下に記す。

①歩行周期に影響を及ぼしている。情報閲覧による負荷は、歩行率を減少させるほか、歩幅の減少を招き、歩行速度の低下やつまづきによる転倒を誘発する要因となりうる。

②静止する障害物に対する回避行動には影響を及ぼさない。姿勢や見え方の違いが、携帯端末による情報提示よりも優位に働いていた。

③前方歩行者に対する予期的制御に影響を及ぼしている。基本的に HMD 使用による反応の遅れが加味された距離制御が行われるが、速い歩行での使用は提示情報への注視度を高め、制御距離を伸ばすと考えられた。しかし、行為者によっては接触の可能性があることも否めなかった。

本研究から基本的な歩行行動への影響を確認することができた。今後の課題として、対向者とのすれ違い等、動きのある障害物に対する回避行動の検証や、実際の制御距離と反応遅延により接近する距離とを分離した予期的制御の検証を行う必要がある。また、情報閲覧課題は流れる文字列を読むという簡単なものであった。しかし、日常で HMD を使用する際、より複雑な情報提示や操作行為を伴う場面が想像できる。今後、こうした想定を基にさらなる検証が必要である。

は見られず、携帯条件速さ大とその他条件間及び、装着条件大とその他条件間に有意差が見られた。一方で、その他条件間ではどの組み合わせも有意差は見られなかった。このことから、携帯条件速さ大と装着条件速さ大がその他条件に比べ、同程度停止距離が伸びることが分かった。

また、安全性の主観評価(図 15)において、統制条件では被験者の大半が安全から少し危険であると回答したのに対し、携帯条件及び装着条件では少し危険からかなり危険であるとの回答が大半を占めた。危険と思った理由としては、携帯条件、装着条件ともに、映像を注視するため、人形の姿を捉え難いことが最も多くあげられた。また、普段から携帯端末を閲覧しながらの歩行に慣れているという意見も多く、HMD の使用には馴染みがないことから、装着条件に対し、かなり危険であると回答した割合が高くなったと考えられる。一方、装着条件において安全及び少し危険であるとの回答の割合が携帯条件よりも高かった理由としては、前方が透けて見えることによる、心理的な安心感があったためと考えられる。

以上の結果から、携帯条件及び、装着条件では前方歩

注1) 普段の歩き方による歩行。通常速度歩行。

【参考文献】

1) 川光男(ほか), 1994, 岩波講座 認知科学 4 運動, 岩波書店, p.26

2) 斎藤宏・長崎浩・中村隆一, 2002, 臨床運動学 第3版, 医歯薬出版, p.487

3) 川上将弘, 2008, HMD 屋外使用の安全性に関する研究—歩行情報提示の影響度—, 名古屋工業大学建築・デザイン工学科 2008 年度卒業論文梗概集, pp.43-44