

公益財団法人ダイオーズ記念財団助成研究

通勤ラッシュ時の歩行においてストレスを軽減する  
歩様の解明および歩行用視覚提示の開発

報告書レポート

平成 31 年 1 月

青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科  
田辺 弘子

# 1. 研究背景

## 1.1 日常生活における歩行運動

歩くという運動は人間の日常生活の基盤となる身体活動である。厚生労働省の報告によると、日本人の歩数は1日平均で男性 8202 歩、女性 7282 歩であり、健康増進のためにはさらに歩数を増加させる必要があるとしている(1日1万歩が理想と考えられている)。一方、日本人の通勤に要する時間は全体の2割が片道1時間程度であり(図1)、そのうち電車に乗車している時間は30分程度である(図2)ことから、通勤・通学だけで1日の歩行時間は約1時間となる。つまり、10分間の歩数がおおよそ1000歩であるため、通勤・通学のみで6000歩の歩数となり、日本人の歩数の大半は通勤・通学によるものであることがわかる。しかし、特に大都市では通勤ラッシュが問題となっており(国土交通省による混雑率データ参照)、通勤・通学のための歩行運動は「身体活動量を増加させるよい機会ではあるが、混雑に伴うストレスの大きな身体活動」であると言える。つまり、通勤・通学の混雑に伴うストレスを軽減するシステムを構築することが、健康増進を図るためには重要である。

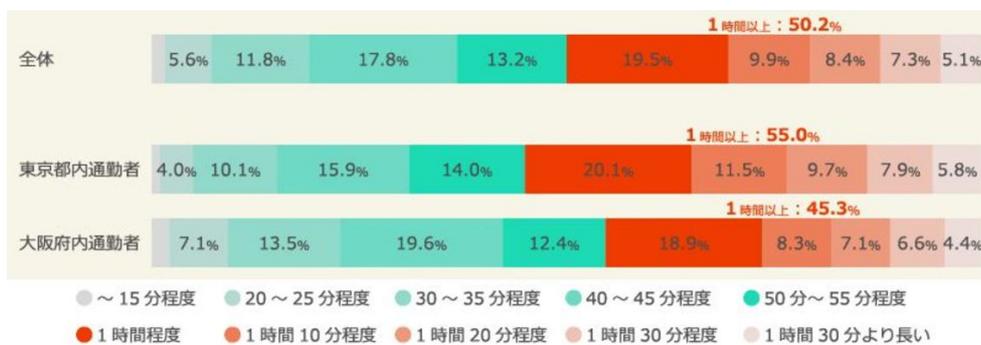


図1: 通勤・通学時の片道所要時間 (マクロミル調べ)

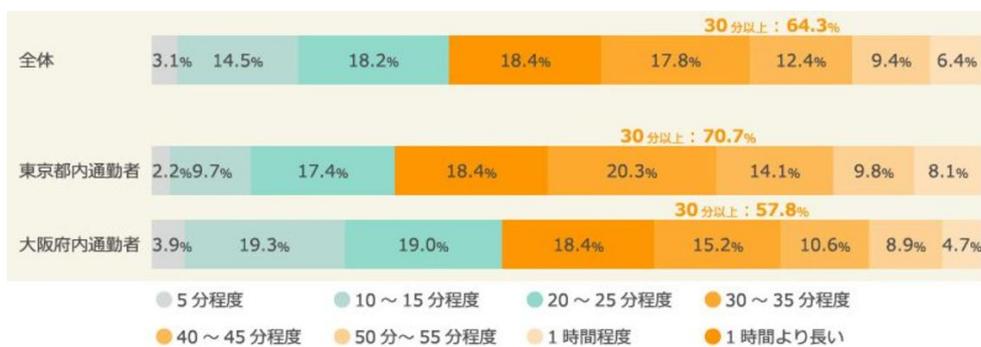


図2: 通勤・通学時に電車に乗っている時間 (マクロミル調べ)

## 1.2 歩行運動制御メカニズム

歩行運動の制御メカニズムに関する神経生理学的な研究はこれまで数多く行われてきている。歩行時のキネマティクス・キネティクスの側面については、3次元動作解析や表面筋電図を用いたデータ解析によって歩行時の関節運動や筋活動パターンを抽出することが可能であり、加齢や疾患に伴う歩行運動パターンの変化、あるいは認知的課題（計算や携帯電話の文字入力などの課題を歩行と同時に進行）による歩様の変化が報告されている。また近年、脳波計測技術が向上し、静的課題（座位や臥位）だけでなく動的課題（歩行などの身体運動を伴う状況での実験課題）でも課題中の脳波を計測できるようになってきたことから、歩行中の脳波（主に大脳皮質の電気的活動）・筋活動・関節の動きを同時に計測することが可能になってきた。これにより、歩行運動の改善システム（リハビリや公共の場の空間設計などに応用可能）の考案を中枢神経系のメカニズムに基づいて行うことが可能になる。

通勤時の歩行は、「様々な方向・速度で移動する他者を回避しながら目的地（駅ホームや勤務先など）に到達する」**障害物回避問題**であると捉えることができる。そうした通勤時の他者回避歩行運動の方略として、

- ・ できるだけ短時間で目的地に到達する（**時間短縮型**）
- ・ なるべく他者との接触を少なくしながら目的地に到達する（**ストレス軽減型**）

の2パターンが存在し、現実社会では両者が競合するような状況が多いと考えられる（例、最短ルートが混雑している場合など）。

歩行中の障害物回避に関する研究はこれまで多く行われてきているが、上記のような時間短縮型・ストレス軽減型のトレードオフが発生するような状況で行われた歩行研究は存在しない。原因として、現状での実験環境ではストレス軽減型の実験システムを構築できないという制約があるためだと考えられる。ストレス軽減型の実験システムを構築するためには、障害物を歩行者が予測回避しづらい挙動で動かす必要がある。そうしたストレス軽減型の実験はヒューマン・コンピュータのインターフェース型の実験環境（モニタ画面内に現れる物体を回避するため被験者はジョイスティック等を動かすといったゲーム型の実験）であれば可能だが、より現実的な身体運動を伴う実験課題にしなければ、リハビリや社会環境構築に応用可能な知見は得られない。そこで、仮想空間内で歩行者の歩行に応じて障害物を挙動させる実験システムを構築すれば、時間短縮型・ストレス軽減型の両者が競合する実験環境を作り出すことができる。

### 1.3 研究の目的

以上のような背景から、本研究では

- ・ 時間短縮型とストレス軽減型が競合するような歩行環境を仮想空間内に構築し
- ・ その空間内で人間はどのような障害物回避戦略を選択するか観察することを目的とする。実験の詳細は後述する。

## 2. 生体実験

### 2.1 VR空間を用いた仮想空間内における歩行運動

本研究申請時当初の予定では、簡易的なVRゴーグルを装着させて実際の混雑環境・閑散環境の映像を提示し、その際の歩様の変化を観察することを目的としていた。しかし、実験システム開発段階で以下の問題点が明らかになった。

- ・ 混雑状況の映像提示では歩行者が実際に障害物(他者)を回避しなくてもよいので、歩行者の実際の回避行動を観察することができない
- ・ 実際の歩行時の障害物回避行動は左右方向の身体重心移動が主であるのに対し、トレッドミル上の歩行を行うと前方向の歩行しかできない
- ・ 混雑状況の映像には様々な要素(多方向に移動する人や空間構造)が含まれているため、歩様の変化を生み出す原因を抽出することが難しい

そこで、新たに以下の実験システムを考案した。

- ・ 歩行者に実際に障害物回避をさせるため、混雑状況の映像提示ではなく、仮想空間内で障害物を提示・挙動させ、歩行者は一定時間内にできるだけ早く目的地に到達する課題を行う
- ・ 上記の課題を行うには歩行者が仮想空間に完全に没入する必要があり、また前後左右に移動できるようにするため、トレッドミル上ではなく広く何もない空間で課題を行わせる
- ・ 歩行者の位置情報をオンラインで取得し(VR空間と歩行者のモーションデータを同期させる装置が必要)、歩行者の位置に応じて障害物を生成・挙動させるシステムを構築する(障害物の挙動パターンは後述する)

## 2.2 実験システム(新)の構築

**3 次元動作解析**：歩行者の全身の関節位置座標を計測するため、青山学院大学工学部の所有する OptiTrack 社製の赤外線カメラを使用する。実験に使用する反射マーカおよびその他の消耗品も既存のものを使用した。

**VR 空間の構築**：WorldViz 社の Vizard を用いて仮想空間内の 3D コンテンツを制作する。Vizard を用いる理由は、上記の動作解析システムで取得したモーションデータとの同期が可能で、身体位置情報をオンラインで取得し、それに応じて 3D コンテンツを挙動させることが可能であるためである。これまでの VR 空間での動作解析を行なっている先行研究では、動作解析システムの問題上 4m×4m 程度の狭い範囲内に動作が限定されていたが、Vizard は OptiTrack 社製の動作解析システムとも同期可能なため計測範囲に制限がなくなる。神経生理学的・生体工学的な研究分野において、VR 空間でのダイナミックな身体動作の制御メカニズムを扱う研究は未だほとんど行われていないため、本研究の実験システム構築だけでも新規性の高い内容である。しかし Vizard ソフトウェアの発注・納品にあたり想定以上の時間を要したため（9月に発注し12月に納品）、現状はまだ VR システムの構築段階である。VR 空間内に歩行者のスタート・ゴール位置を作成した（直線距離 8m）。歩行者には 5 秒間でゴールに到達するように教示するため、スタートしてからの残り時間を VR 空間内に提示するようなコンテンツを作成した。

**障害物の生成・挙動**：本研究では、通勤時に他者を回避しながら目的地に到達する状況を VR 空間内に実装する。被験者の歩行の障害となる 3D コンテンツとして、身長 160 cm 程度のオブジェクトを 1) 被験者の右後/左後から左前/右前にクロスして通過させる、2) 被験者の右前/左前から左後/右後にクロスして通過させる、3) スタートとゴールの間を 5 秒では通過できない遅い速度で移動させる、の合計 5 パターンで挙動させる。障害物コンテンツは現在作成中である。

**予備実験**：VR 空間内で簡易的な障害物を挙動させるデモ版の仮想空間を作成し、予備実験を行なった（被験者 1 名）。構築予定の仮想空間システムで問題なく実験ができることを確認した。障害物回避歩行パターンの違いは障害物の挙動だけでなく被験者への教示や被験者の性格によっても変化する可能性も考えられたため、本実験での教示を「5 秒以内にゴールに到達すればどのような経路を辿ってもよいが、できれば（通勤時のように）早く到達する方がよい、という状況で歩く」といったより具体的な教示に設定し、被験者の性格も MBTI テストにより予めテストすることとした。

### 3. 今後の展望

#### 3.1 生体実験の実施・データ解析（本実験）

被験者は健常成人を15名程度リクルートし、VR空間内での障害物回避歩行実験を行う。被験者の全身の関節に反射マーカを貼付し、全身の動作解析を行う。上記5つの挙動パターンで動くオブジェクトをVR空間内にランダムに提示し、歩行者の歩様の変化（重心の軌跡・速度）を計測する。

得られた身体重心位置の時間的な変化を、最短ルート（スタートとゴールをつなぐ直線ルート）からの逸脱によって評価する。オブジェクトの各挙動パターンにおける障害物回避パターンを比較検討する。また、被験者の性格による障害物回避パターンの違いの有無についても検討する。

#### 3.3 期待される結果

##### 1) 時間短縮型・ストレス軽減型の身体重心位置の軌跡

歩行者のモーションデータから時間短縮型・ストレス軽減型の2パターンに分割できる。時間短縮型の場合、重心の軌跡が最短ルートに限りなく近くと考えられる。一方ストレス軽減型の場合、時間短縮型と比較して歩行者の移動軌跡は最短ルートから逸脱し、オブジェクトからの距離も大きくなる。オブジェクトが十分に通過するのを待つ、あるいはオブジェクトを大きく回避するといった、時間短縮型と異なる時空間的パターンが検出されると考えられる。

##### 2) 被験者の性格が障害物回避パターンに及ぼす影響

被験者の性格による障害物回避パターンの有無が検出できれば、多様な人間社会における空間設計案の基礎となる知見を得ることができる。

#### 3.4 研究発表およびアウトリーチ活動

本研究により得られた結果をまとめ、学会発表および学術誌への投稿を行う予定である。また、構築した実験システムについてはSNSやHP、オープンキャンパスでの公開を予定している（実験システム構築後にSNSおよびHPにて公開予定）。