

歩行案内中における高齢者・視覚障害者の 認知情報と生理状態に関する研究

小倉俊臣¹・野田宏治²・松本幸正³・栗本譲⁴

¹正会員 修(工) (財)豊田都市交通研究所(名城大学大学院博士課程)(〒471-0025 豊田市西町4-25-18 中根ビル 4F)

²正会員 博(工) 豊田工業高等専門学校 環境都市工学科(〒471-8525 愛知県豊田市栄生町2-1)

³正会員 博(工) 名城大学 理工学部(〒468-8502 愛知県名古屋市中天白区塩釜口1-501)

⁴正会員 工博 名城大学 理工学部(〒468-8502 愛知県名古屋市中天白区塩釜口1-501)

微弱電波発信装置と市販の携帯ラジオで構成される視覚障害者歩行案内システムを用いて、高齢者と視覚障害者を被験者とした歩行実験を平成12年7月26日・27日に愛知県豊田市の名古屋鉄道豊田市駅から豊田市役所間約550mで行った。被験者には心拍計または脳波計を装着し、移動途中の挙動を見るため8mmビデオカメラで被験者を撮影した。

被験者に対して行った外出に関する意識調査データを数量化理論Ⅲ類により分析し、それぞれの被験者を歩行能力により3つのグループに分類できた。また実験から高齢者・視覚障害者の歩行時の挙動が時間的变化量と客観的生理情報として計測でき、提供した認知情報の有用性を評価することができた。

Key Words : *elderly, visually impaired, cognitive information, route and destination guidance system, entropy*

1. はじめに

我が国における高齢化は諸外国と比較しても異例の速さで進行し、2001年9月の推計時点において65歳以上の人口割合は17.9%となり、主要国の中でも最も高い水準となった。今後のさらなる高齢化も急激な進行になると予測されており、超高齢社会における福祉問題あるいは交通問題などの対策が急務となっている。

加齢にしたがい人間は様々な身体能力の低下を招き、視力障害や歩行障害といった身体障害へといたる。このことは、身体障害は限られた特定の人達だけの問題ではなく、現在健康な人にも将来的には十分起こり得ることであり直接関わりのある身近な問題であるということである。1996年に厚生省大臣官房障害保健福祉部が行った身体障害者・児実態調査結果¹⁾によると、視覚障害者数(18歳以上)は推計値で30.5万人、そのうち65歳以上の高齢者は57.0%で、50歳代も含めると81.3%になっている。その他の障害も含めた障害の出現率は5年前の前回調査よりも増加しており、また年齢階級別身体障害者の出現率は加齢につれ高くなっている。この様に高齢者問題と身体障害者問題の一部は密接に関係しており、また急速に進行する高齢化にともなう身体障害者数の急増も予測されることから、両者を包含した総合的な対策を早急に講じておく必要がある。

高齢者や身体障害者の交通に関する研究として、三星ら^{2)~7)}は社会システムの中に高齢者や障害者を円滑に入れるために高齢者や車椅子利用者、移動制約者等の公共交通利用に関する意識や高齢者のベンチ利用などを明らかにしている。他に、高齢者や交通弱者を対象とした街づくりの評価を行った研究⁸⁾⁹⁾や、歩行時における高齢者の歩行空間における自損事故について調査分析した研究⁹⁾、地方都市における高齢者の外出特性を明らかにした研究^{9)~12)}なども行われている。新田ら¹³⁾は高齢者がより利用しやすい公共交通の形態を求め、高齢者対応型バスへの転換モデル構築を行い、杉恵・黒田¹⁴⁾は高齢社会における公共交通整備のあり方を探求している。しかしながら、これまでの研究は高齢者・身体障害者の外出特性の明確化や交通環境整備の方向性、問題点の指摘、また高齢者に対する安全教育の必要性を訴えるに留まっている。

高齢者は視力の衰えにともなう、白内障などの視力障害を持つようになるが、大島・右田¹⁵⁾が駅の券売機の表示や掲示された時刻表、駅構内のサインについて、駅構内の案内板や時刻表の色使いによっては、文字が見えず情報が入手できないことを指摘している。これらの指摘は、交通バリアフリー法の施行と相まって、使いやす券売機への改良や見やすい時刻表・案内板の設置につながっている。

視覚障害者の外出を支援するための研究も多く行なわれている。Dodson ら¹⁶⁾は個人用航法システムを開発し、篠田ら¹⁷⁾は歩行距離を検出しマイクロコンピュータの教師データと比較しながら視覚障害者を目的地まで誘導する研究を行い、山崎ら¹⁸⁾は DGPS を利用した視覚障害者の誘導を試みている。

また、発光ダイオードを利用した視線誘導灯システムの開発¹⁹⁾、歩行ガイドロボットの開発²⁰⁾なども行われている。しかしながら、これらのシステムも専用のコンピュータを持ち歩かなければならないことや精度に改良の余地があること、また十分にその機能を発揮できないこと、手軽に利用することができないなど、一般化までには至っていない。

高齢者や身体障害者に対する行政の対応として、1970年代より自治体を中心にノーマライゼーションの考えに基づき、街に存在する様々なバリア(問題)を解消しようとする動きが始まり、ハートビル法(高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律)や地方自治体で制定している福祉のまちづくり条例などによって対策が施されてきた。道路については1973年に視覚障害者の誘導ブロック敷設、1985年に視覚障害者誘導用ブロックガイドラインが示され、道路構造令においても車椅子に配慮した歩道幅員の確保が明確に示され、安全に障害者が外出できる環境づくりがなされるようになってきている。2000年に施行された交通バリアフリー法(高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律)では高齢者や身体障害者の積極的な社会参加を推進する上で鉄道駅等の旅客施設を中心とした地区のバリアフリー化を重点的に行うこととしている。

このように、高齢者や身体障害者の交通に関する研究が多く蓄積され、また法整備によって高齢者や身体障害者が自立して積極的に社会参加できるような社会基盤の整備は促進されつつあり、今後予想される超高齢社会における高齢者や身体障害者の自立・社会参加は一層容易になることが期待される。

しかしながら、歩道の拡幅、段差の解消、路面の改善やエレベーター、エスカレーター等の設置などのハード的な整備が進む一方で、それらを利用しながら目的地へ行く際の、障害や困難を持った人達に対するソフト的な対策は依然遅れている。特に、地図を読みとり、そして行動する空間把握能力が減退してきた高齢者や、視覚的情報入手が困難な視覚障害者を目的地まで安全に案内誘導するための対策は依然不十分な状況であり、また高齢者および視覚障害者を同時に対象とした歩行案内に関する研究はほとんどなされていない。

そこで本研究では、これまでに開発してきた視覚障害者歩行案内システム²¹⁾²²⁾を改良し、視覚障害者だけでは

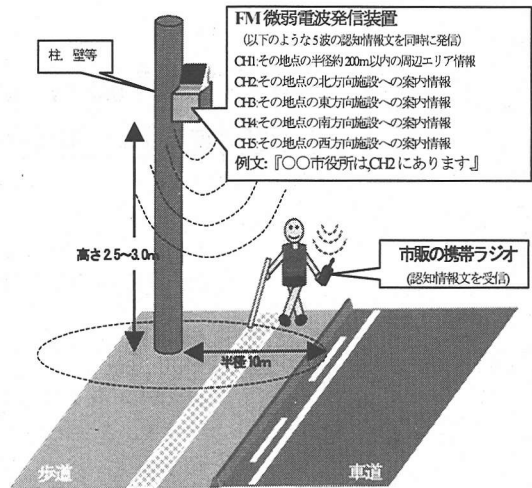


図-1 歩行案内システムの概念図

なく、高齢者への歩行案内情報提供システムとしても活用できるかを検証する。開発した歩行案内システムは、歩行案内の情報を発信する FM 微弱電波発信装置と情報を聞くための市販の携帯ラジオとから構成され、本研究では、視覚障害者だけではなく高齢者も被験者とした歩行案内実験を行った。歩行案内情報の提供内容や方法を考慮する上で、被験者らがどのように認知しているかを計測することは最も重要なこととなるが、これを直接的に計測することは不可能である。本研究では、歩行案内システムを利用中の被験者が感じている無意識な心理的状态を、定量的に把握することができる心拍や脳波の変動といった生理指標を測定することによって捉え、交通挙動との関連を明らかにする。さらに、被験者の行動時間から歩行案内システムを評価するとともに、被験者の個人属性や外出状況に関するアンケート分析を行い、被験者の特性ごとに意識を把握することによって、無意識と意識的な感じ方の両面から提案する歩行案内システムの有効性と信頼性を評価する。

2. 歩行案内システム^{21)~26)}

(1) 歩行案内システムの概要

本研究で提唱する歩行案内システムの概念図を図-1に示す。本システムは、歩行途中で歩行案内情報を提供する FM 微弱電波発信装置とその電波を受信する市販の携帯ラジオとで構成される。FM 微弱電波発信装置は、30cm 立方の大きさで重量は 2.5kg、街路灯等の高さ 2.5~3.0m に共架できる。また電源は太陽電池を用い、浮動充電が可能で直照日光がなくとも連続 8 日間は案内情報を繰り返し案内することができる。微弱電波の受信範囲は装置から半径約 10m 程度で、受信範囲に入ると携帯ラジオより音声で歩行案内情報が得られる。

表-1 認知情報の提供順位

順位	CH1の情報内容
1	各地点名と情報の長さ
2	各地点周辺の状況とチャンネル
3	地点名における方位と方向
順位	CH2~CH5の情報内容
1	この地点名と情報の長さ
2	次の地点までの距離
3	次の地点までの周囲の様子
4	障害物と設置誘導ブロック

今回の実験では、必要最小限の情報文を用いた。高齢者は目が見える晴眼者であるので視覚情報も含め認知情報を構築できるものと判断し、視覚障害者用に作成した情報文を高齢者の被験者にも用いた。

表-1は各チャンネル(CH)の情報内容を示し、各CHとも情報提供時間は最大で1分45秒以内である。各地点の微弱電波発信装置は5波のCHを同時に発信することができる。CH1は全体情報としてその地点の周辺情報(公共施設を中心とした主要施設等)を、CH2~CH5はその地点から東、西、南、北方向の周辺施設への歩行情報を提供する。

(3) 認知情報の確認

歩行案内システムで提供する認知情報確認の流れを図-2に示す。被験者は図で示された要領により認知情報を聞き、これをもとに認知情報を構築して歩行するものと考えられる。被験者はある測点(微弱電波発信装置設置場所)でCH1より周辺情報や各CHで提供される情報項目など全体情報を聞く必要がある。CH1の内容を十分理解した後、CH2~CH5の中から被験者が必要とするCHを選択しその情報の中身を聞く。FM微弱電波発信装置から提供される情報は絶え間なくくり返し提供されるので、被験者はその情報を十分に理解するまで何度も聴くことができ、被験者は、より確実な認知情報を構築することができる。

なお、歩行案内システムを利用する被験者は、他の測点ではCH1ですべての情報を聞く必要はなく、被験者が必要とする方向の情報がどのCHで提供されているのかを確認するだけでよく、そのCHを選択し必要とする認知情報を聞き取ればよい。

3. 歩行案内実験

(1) 歩行実験区間

今回の実験では、被験者が公共交通機関を利用した後、駅から市役所まで歩いて行くことを想定した。歩行実験は愛知県豊田市内の名古屋鉄道三河線豊田市駅を出発点とし、目的地を豊田市役所東庁舎玄関前とした。歩行距離にして約550mであり、健常者が普通に歩いて約5分程度である。なお実験は平成12年7月26日(水)・27日(木)晴れに行った。26日は高齢者を、27日は視覚障害者を被験者として、測定器材の関係から2名を1組として各1時間おきに実験を開始した。1名の被験者には心拍計を装着し、指導員1名、被験者歩行記録員(8mmビデオ記録)1名を1組とし、もう1名の被験者には脳波計を装着し、指導員1名、被験者歩行記録員(8mmビデオ記録)1名およびデータ記録者(脳波計データを記録する

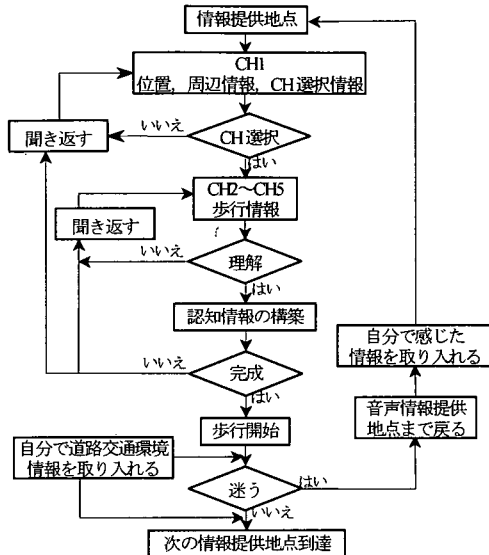


図-2 認知情報確認の流れ図

提案する微弱電波発信装置は、同時にFM微弱電波5波を送信することができ、それぞれの案内情報は独立の地点情報として機能している。歩行案内システム装置は点情報として提供され、都市内の主要地点(例えば交差点等)に設置し、都市内でネットワーク化されているので、ある地点で必要とする案内情報を聞き、認知情報を作成し、この情報にしたがい次の設置場所まで移動することができる。移動中は周囲の道路交通状況に神経が集中できるので歩行中の安全が保たれ、次の案内情報提供地点に近づけば再び携帯ラジオから新しい案内情報が得られ、自分の目的地へ到着することができる。

(2) 認知情報

高齢者・視覚障害者は、歩行途中の歩道や建物の様子などの沿道環境が変化する中で、提供される歩行案内情報から自分が必要とする情報を的確に把握し、その情報から認知情報を構築しその地図を頼りに歩行行動に移る。与えられた情報を理解した上で高齢者・視覚障害者が行動できるようにすることは、各自が必要とする情報をわかりやすくしかも短時間で明瞭に提供することが重要となる。



写真-1 脳波計を装着した視覚障害者の実験風景

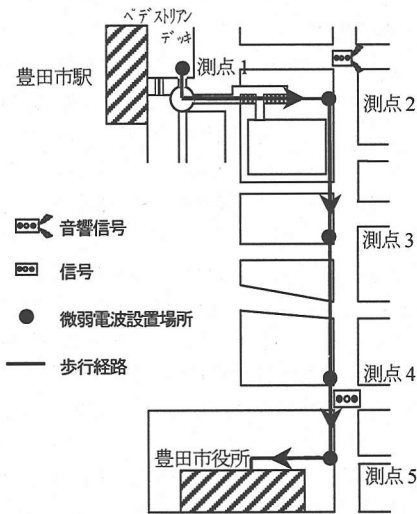


図-3 実験区間

ためのノートパソコン保持)1名を1組とし、各組を別個に歩行させた。被験者には、写真-1に示すように身体に機材を取り付けた。ただし、実験中に被験者が意識しないように、記録員等は距離を保って行動した。さらに、被験者の実験中の緊張状態を排除し通常の歩行時に近い状況とするため機材の取り付け後暫くしてから歩行案内実験を開始した。

実験区間の概略図を図-3に示す。駅の改札口を出た実験開始地点(測点1)はベデストリアンデッキ上(2階)にあり、測点2(地上)に向かうには、まず3階部分へ上がり、その後、階段で地上へ降りなければならなくなっている。測点1から測点2の区間中の約3/4の距離が2階と3階および階段であり、複雑な上り下り(エレベーター・エスカレーター設置)がある。写真-1に測点1から測点2間の3階部分にあたるデッキ上にある場所での視覚障害者の歩行案内実験の様子を示す。測点2から目的地の豊田市役所までは歩車分離の歩道を歩行する。測点2から測点4までの途中は3本の信号のない街路を横断することになるが、自動車交通はさほど多くはない。測点4から測点5には交通量の多い信号交差点(旧国道153

表-2 被験者の属性

	高齢者数(人)	視覚障害者数(人)
計	10	10
男	5	8
女	5	2
40歳代	0	2
50歳代	0	1
60歳代	0	3
70歳代	9	4
80歳代	1	0

表-3 提供する認知情報の例

測点1, CH1の情報
こちらは「豊田市駅2階東口」、CH1周辺のエリア情報1分45秒あります。南北には名鉄三河線があります。車両の音を右耳で聞く方向が南です。この地点の1階にはバス停「豊田市」があります。バス停「豊田市」は、点字ブロックに沿って西に10m、左に約3m歩き、階段を10段と11段下りた所の点字ブロックに沿って約7m歩き、左に約10m歩いたところにあります。各施設への経路はつぎのCHを選択してください。名鉄豊田ホテルは北向き情報でCH2です。豊田市役所、豊田市中央図書館、加茂病院、豊田市福祉センター、豊田郵便局、豊田市美術館、東海銀行は東向き情報でCH3です。豊田市駅前交番は南向き情報でCH4です。新豊田駅、豊田産業文化センター、豊田ごころは西向き情報でCH5です。以上
測点1, CH3の情報
こちらは「豊田市駅2階東口」、CH3東向き情報30秒あります。豊田市役所、豊田市中央図書館、加茂病院、豊田市福祉センター、豊田郵便局、豊田市美術館、東海銀行へは、「喜多町2丁目交差点南側」の指示に従ってください。喜多町2丁目交差点南側は点字ブロックに沿って、西へ約3m、左へ約4m歩き、階段を13段と12段上り、点字ブロックに沿って約60m歩き、分岐点を右に曲がり階段を15段と14段下り、真直ぐ約30m歩き、点字ブロックに沿って右へ約8m歩いた所にあります。以上

号)を横断する。測点2から測点5までの沿道は民家と商店が混在している。歩道幅員は約3.0mで測点1から測点5までは歩道上に誘導ブロックが敷設されている。

微弱電波発信装置は測点1から測点5までの5カ所の歩道上2.5m~3.0mの街路灯支柱に設置した。

(2) 被験者

実験の被験者を表-2に示す。眼の見える晴眼の高齢者は豊田市近隣の日進市近郊に在住する70歳以上の男性5名、女性5名の計10名で、全員が豊田市内の地理をよく知らず、実験経路を歩いたことはない。

一方視覚障害者は年齢が40歳代から70歳の男性8名、女性2名の計10名で、全員が豊田市内在住ではあるが今回の実験経路を歩いたことはない。

高齢者の被験者は一人で外出することや歩行そのものに障害はない。視覚障害者の全被験者は、小学生以降に失明した後天性の視覚障害者であり、白杖を頼りに一人で外出できるが、視力そのものは全盲であり、そのうち若干の光を感じる程度の被験者が3名で、白杖なしの状態では歩行はできない。

(3) 認知情報

認知情報の例として、測点1のFM電波発信装置から提供されるCH1(周辺全体)とCH3(歩行情報)の認知情報の例を表-3に示す。これらの情報は、表-1の順序に従っている。情報の長さは余り長くすると聞き直すのに時間がかかったり、一度記憶したものを忘れてしまったり、あるいは聞き逃した情報だけを再度聞く時にイライラしたり、自分自身の安全に不安を抱くため、できるだけ要領よく短く情報を提供する必要がある。

4. 被験者の交通挙動

(1) 交通挙動の評価

歩行案内システムを利用する人は、微弱電波発信装置より認知情報を聞き、認知してから判断し、歩行行動へと移行する。対象とした視覚障害者や高齢者の誰もが利用できるように、この一連の行動に対して歩行レベルの低い利用者を基準に歩行案内システムを構築する必要がある。このため、ここでは被験者の各個人差を比較することにする。特に、被験者間での行動時間や心拍、脳波といった指標のレベル差が大きいことは、全ての被験者を対象とすることを旨とする場合に、考慮が必要となる事項であり、システムの適用時には特に注意が必要である。そこで、各指標の個人間の比較(最大値と最小値の比較)を行うことで、個人によって差が大きい指標であるのか、それとも全体的な傾向であるのかを把握する。比の大きな指標は個人差の影響が強く、比の小さな指標は全体的な傾向として把握することができる。また、リラックスして歩行することは、周囲の状況に敏感となっている視覚障害者や体力の低下している高齢者にとっては非常に重要な要素である。この心理的状态を捉える指標のひとつとして脳波や心拍が考えられている。これらの生理指標を計測して被験者が無意識に感じている心理状態を捉えることによって、歩行案内システムの有効性を評価する。

(2) 行動時間と生体情報

a) 行動時間

歩行実験では被験者の歩行挙動を計測するために実験中8mmビデオを用いて歩行状況を撮影した。

行動時間の区分を以下のように定義した。「実験中」は、実験開始から実験終了までの時間(実験中=旅行中+聞いている時+迷っている時)を示し、また「歩行中」は、被験者が行動、移動している時間(歩行中=旅行中-信号待ち、横断待ち時間)を示している。「旅行中」は「実験中」から「認知情報を聞いている時間(聞いている時)」と「歩行経路より外れて移動した時間(迷っている時)」を除

いた時間を示す。「信号待ち」「横断待ち時間」は信号機により歩行が停止されている時間や横断中の自動車等により歩行が一時停止している時間を示している。

b) 生体情報とエントロピー

実験では生体情報の計測として、被験者に心拍計(LRR-03 メモリー心拍計、(株)GMS社製)または脳波計(MWM-01 脳波モニター、(株)GMS社製)を装着し、心拍計装着者からは心拍変動を、脳波計装着者では脳波と心拍変動の両方を計測した。自律神経機能評価に血圧や心拍数あるいは心拍の変動係数(CV)などの指標が用いられてきたが、これに対して心拍変動のパワースペクトル解析は交感神経活動と副交感神経活動を分離できる点で非常に有用性が高い。

心拍計は“心拍ゆらぎリアルタイム解析システム”とともにR-R間隔を1msの精度で計測し、極短時間(R-R間隔5個)からなるパルス時系列を求め、心拍数、エントロピー、低周波領域LF(low frequency 0.04~0.15Hz)、高周波領域HF(high frequency 0.15~0.40Hz)及びLF/HFを求めることができる^[1]。

一般に神経には、大きく分けると脳や脊髄のことを指す中枢神経系と神経と呼ばれる末梢神経系の2種類がある。そのうち末梢神経系は、体性神経系と自律神経系の2つに分けることができる。体性神経系は意識的に働く神経で運動神経や感覚神経のことである。自律神経系には交感神経と副交感神経があり、内臓器官の消化運動やホルモン分泌のように自分の意志とは無関係に働くものである。LF/HFは交感神経活動を反映し、交感神経(戦いの神経)が働くと心臓の脈動が速くなり、筋肉が固くなり血管が収縮し、緊張した状態になり、LF/HFの値も増大する。また、HFは副交感神経活動を反映すると言われ、副交感神経(休息の神経)が働くと血管が広がって血流がよくなり、身体全体がリラックスした状態になると言われており、HFの値も増大する^[2]。

心拍の時系列計測データからエントロピーを計算することができる。等間隔パルス列を解析して得たエントロピーを下限(0%)、最もランダムなパルス間隔をもつ理論上の時系列のエントロピーを上限(100%)としてエントロピーの基準化を行うことにする。結局、現実のパルス時系列のエントロピーは0%以上100%未満のいずれかの値に一意に対応づけられ、複数のパルス時系列のパルス間隔にゆらぎの程度(正確にはパルス時系列を構成する各モードへのエネルギー分配の乱雑さの程度)を相互に比較することが可能である^[7]。

心拍変動は、精神的ストレスの負荷を反映し、負荷が強いほど減少することが知られている^{[20][21]}。従って、心拍エントロピーは、ストレスの強弱を表す指標として用いることができ、ストレスが強いほどエントロピーは小さくなる。逆に、安静状態における安定した心拍変動に

表-4 被験者の交通挙動・心拍(高齢者)

グループ	被験者	交通挙動 心拍	実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時	交通挙動 心拍	実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時
A	1	行動時間(sec)	1175.0	502.0	502.0	520.0	153.0	LF/HF	4.2	3.4	3.4	4.4	5.7
		エントロピー(%)	24.1	11.9	11.9	30.6	31.1	HF(msec ²)	12.7	14.9	14.9	11.5	11.2
	2	行動時間(sec)	1562.0	616.0	574.0	946.0	0.0	LF/HF	3.6	4.3	4.3	4.4	—
		エントロピー(%)	28.7	32.0	32.0	27.9	—	HF(msec ²)	29.7	42.3	42.3	26.3	—
	3	行動時間(sec)	1912.0	511.0	474.0	1329.0	72.0	LF/HF	8.4	3.0	2.0	10.5	4.2
		エントロピー(%)	8.9	20.8	22.7	4.7	10.4	HF(msec ²)	7.7	14.6	16.3	5.5	5.8
	5	行動時間(sec)	1948.0	519.0	465.0	1329.0	100.0	LF/HF	0.5	1.1	1.1	0.3	0.9
		エントロピー(%)	19.2	8.8	8.4	23.4	14.8	HF(msec ²)	26.2	23.1	26.3	28.0	18.5
	8	行動時間(sec)	1225.0	526.0	501.0	699.0	0.0	LF/HF	4.3	2.1	4.2	4.4	—
		エントロピー(%)	25.6	26.2	26.2	25.3	—	HF(msec ²)	47.1	44.8	48.8	46.4	—
	平均	行動時間(sec)	1564.4	534.8	503.2	964.6	65.0	LF/HF	4.2	2.8	3.0	4.8	—
		エントロピー(%)	21.3	20.0	20.2	22.4	—	HF(msec ²)	24.7	28.7	29.7	23.5	—
B	6	行動時間(sec)	953.0	433.0	433.0	503.0	17.0	LF/HF	1.4	1.1	1.1	1.4	2.2
		エントロピー(%)	73.4	70.9	70.9	73.7	74.8	HF(msec ²)	71.7	38.4	38.4	81.0	50.0
	7	行動時間(sec)	1595.0	413.0	413.0	1179.0	3.0	LF/HF	2.8	2.0	2.0	3.1	1.5
		エントロピー(%)	30.2	37.2	37.2	48.1	43.0	HF(msec ²)	92.3	43.1	43.1	77.2	83.0
	平均	行動時間(sec)	1273.0	423.0	423.0	589.5	10.0	LF/HF	2.1	1.6	1.6	2.3	1.9
		エントロピー(%)	51.8	54.1	54.1	50.9	58.9	HF(msec ²)	80.2	90.8	90.8	79.1	90.0

においてもエントロピーは小さくなる。従って、エントロピーが大きいということは、ストレス状態や安静状態が続いているのではなく、これらの状態が入り混じった状態であると言える。

脳波は脳の電気活動を時計系な波形として捉えたものであり、その周波数により脳波は分類される。この研究では、自律神経系を示すα波(8~13Hz)とβ波(13~30Hz)の両波を使用する。

α波は主に後頭部や頭頂部で優勢となる波で、脳がすっかりリラックス時に発生する脳波である。β波は前頭中心部でよく見られる低振幅波で、何か気にかかることや不安、イライラで落ち着かない状態で見られる⁹⁾。

(3) 高齢者の交通挙動

a) 高齢者の交通挙動

表-4 に高齢者の交通挙動と心拍変動を示す。なお、表中のグループは次章でのグループであり、ここでは個人間の比較について考察する。高齢者の(4)(9)および(10)の被験者(以下()内は被験者番号を示す)は普通に歩行できる人達であったが、実測終了後のアンケート調査結果より3名とも“耳が遠い”ため、認知情報が聞き取れずに最終地点まで到着ができなかった。各被験者の行動時間の最大値と最小値を見ると、「歩行中」は最大値が574sec(2)で、最小値は413sec(7)であり、それらの比は1.39倍であった。「聞いている時」は、1329sec(3,5)が最大値で、503sec(6)が最小値であり、それらの比は2.64倍である。また、「迷っている時」は最大値が153sec(1)で、最小が“迷っていない”(2,8)となった。

表-5 被験者の脳波(高齢者)

グループ	被験者	脳波	実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時
A	2	α波(8~13Hz)	10.0	8.5	8.5	10.7	9.7
		β波(13~30Hz)	12.2	10.7	10.7	12.6	18.4
	8	α波(8~13Hz)	9.0	12.0	12.0	8.1	5.3
		β波(13~30Hz)	14.3	16.7	16.7	13.5	20.1
	平均	α波(8~13Hz)	9.5	10.3	10.3	9.4	7.5
		β波(13~30Hz)	13.3	13.7	13.7	13.1	19.3
B	6	α波(8~13Hz)	21.8	21.4	21.4	21.1	25.8
		β波(13~30Hz)	8.2	9.2	8.1	8.9	9.8

単位% ; (各周波数/各時間内の全周波数) × 100

b) 高齢者のエントロピーおよび生理指標

ここでは、エントロピーの最大値と最小値を比較し、心拍の鼓動変動の大きさを比較することにする。なお、被験者(2)(8)は迷わずに目的地へ到着できたので、「迷っている時」の生理指標は未計測である。

表-4 のエントロピーは、「歩行中」の最大値が70.9%(6)、最小値が8.4%(5)であり、それらの比は8.44倍であった。「聞いている時」の最大値が73.7%(6)、最小値が4.7%(3)であり、それらの比は15.68倍であった。「迷っている時」の最大値が74.8%(6)、最小が“迷っていない”(2,8)を除くと10.4%(3)が最小であり、それらの比は7.19倍であった。

「歩行中」のエントロピーの最大値と最小値の比はそれほど大きくはなく、被験者の「歩行中」内における心拍数の変動には大きな差が見られない。「聞いている時」の最大値と最小値の比の15.68倍はかなり大きく、「歩行中」の比の8.44倍の約2倍で、最大値を示した被験者(6)は比

表-6 被験者の交通挙動・心拍(視覚障害者)

グループ	被験者	交通挙動 心拍	実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時	交通挙動 心拍	実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時
A	1	行動時間(sec)	2057.0	549.0	544.0	1283.0	225.0	LF/HF	12.5	11.1	11.2	12.1	17.4
		エントロピー(%)	5.1	8.3	8.3	3.7	6.1	HF(msec ²)	1.5	1.4	1.4	1.6	1.2
	2	行動時間(sec)	1870.0	619.0	619.0	1155.0	96.0	LF/HF	13.2	8.4	8.4	16.0	5.3
		エントロピー(%)	9.7	7.1	7.1	11.1	10.4	HF(msec ²)	6.3	6.7	6.7	6.0	7.2
	9	行動時間(sec)	1398.0	579.0	568.0	714.0	105.0	LF/HF	5.7	5.0	5.2	5.8	4.9
		エントロピー(%)	5.8	5.1	5.0	6.4	5.5	HF(msec ²)	10.7	14.5	15.0	6.7	17.4
	10	行動時間(sec)	1738.0	543.0	543.0	1181.0	14.0	LF/HF	2.3	2.6	2.6	2.2	1.9
		エントロピー(%)	26.7	23.0	23.0	28.2	30.0	HF(msec ²)	31.5	20.7	20.7	35.9	19.0
	平均	行動時間(sec)	1765.8	572.5	568.5	1083.3	110.0	LF/HF	8.4	6.8	6.9	9.0	7.4
		エントロピー(%)	11.8	10.9	10.9	12.4	13.0	HF(msec ²)	12.5	10.8	11.0	12.6	11.2
B	3	行動時間(sec)	2539.0	739.0	726.0	1235.0	565.0	LF/HF	13.5	13.5	13.5	14.4	14.5
		エントロピー(%)	8.3	8.3	8.3	8.4	8.6	HF(msec ²)	15.8	15.8	18.8	18.2	19.3
	7	行動時間(sec)	2451.0	891.0	883.0	1038.0	522.0	LF/HF	11.4	13.2	13.2	10.5	10.8
		エントロピー(%)	10.4	9.3	9.3	10.5	10.7	HF(msec ²)	14.8	14.5	14.3	15.2	14.9
	8	行動時間(sec)	2647.0	782.0	765.0	1382.0	483.0	LF/HF	15.7	15.7	16.3	15.6	16.5
		エントロピー(%)	9.8	9.8	9.8	10.4	10.5	HF(msec ²)	15.0	15.3	15.3	16.1	15.0
	平均	行動時間(sec)	2545.7	804.0	791.3	1218.3	523.3	LF/HF	13.5	14.1	14.3	13.5	13.9
		エントロピー(%)	9.5	9.1	9.1	9.8	9.9	HF(msec ²)	15.2	15.2	16.1	16.5	16.4
C	4	行動時間(sec)	3530.0	1126.0	1091.0	1908.0	496.0	LF/HF	23.2	23.2	22.8	24.0	24.5
		エントロピー(%)	6.4	6.4	6.5	6.6	6.8	HF(msec ²)	20.7	21.3	21.3	22.4	25.3
	5	行動時間(sec)	3509.0	1084.0	983.0	1865.0	560.0	LF/HF	21.7	21.0	21.7	22.2	23.0
		エントロピー(%)	6.2	6.4	6.2	6.5	6.6	HF(msec ²)	21.2	24.2	24.2	23.2	23.4
	6	行動時間(sec)	3613.0	1004.0	977.0	1928.0	681.0	LF/HF	20.2	20.5	20.2	19.8	21.3
		エントロピー(%)	6.3	6.3	6.3	6.9	7.0	HF(msec ²)	22.8	22.8	22.0	23.1	23.2
	平均	行動時間(sec)	3550.7	1071.3	1017.0	1900.3	579.0	LF/HF	21.7	21.6	21.6	22.0	22.9
		エントロピー(%)	6.3	6.4	6.3	6.7	6.8	HF(msec ²)	21.6	22.8	22.5	22.9	24.0

較的心拍の鼓動がランダムに近い。「聞いている時」のエントロピーの最大値と最小値の比は最大で、最小値を示した被験者(3)は心拍の鼓動が比較的等間隔パルスに近いことがわかる。このことは、「聞いている時」は緊張とリラックスが入り混じっていたことを表している。

また、表-4のLF/HF(交感神経活動)の値は、「歩行中」の最大値が4.3(2)、最小値が1.1(5,6)、「聞いている時」の最大値が10.5(3)で最小値が0.3(5)、「迷っている時」の最大値が5.7(1)で最小が“迷っていない”(2,8)を除くと0.9(5)が最小であった。

表-4のHF(副交感神経活動)の値は、「歩行中」の最大値が48.8msec²(8)、最小値が14.9msec²(1)で両者の比は3.28倍、「聞いている時」の最大値が81.0msec²(6)、最小値が5.5msec²(3)で両者の比は14.73倍である。また「迷っている時」の最大値が83.0msec²(7)、最小が“迷っていない”(2,8)を除くと5.8msec²(3)が最小となっている。これらいずれの時間についても被験者(6,7)のHF値が大きく、身体全体がリラックスした状態になり活動していることがわかる。

高齢者の脳波を表-5に示す。なお、表中のグループは次章でのグループである。測定者は5名であるがそのうちの2名は“耳が遠い”ため歩行実験を完了できなかった。被験者(6)はいずれの時間でも脳波の値が大きく、

20%以上のα波を出し、これに対して他の被験者は10%以下のα波しか検出せず、被験者(6)は「身体全体がリラックスした」状態であることがわかる。これに対して被験者(6)のβ波は10%以下であるのに対して、他の被験者はα波とβ波が逆転している。

(4) 視覚障害者の交通挙動

a) 視覚障害者の交通挙動

表-6に視覚障害者の交通挙動と心拍変動を示す。なお、表中のグループは次章でのグループであり、ここでは個人間の比較について考察する。各被験者の行動時間の最大値と最小値を見ると、「歩行中」は最大値が1091sec(4)で、最小値が543sec(10)であり、それらの比は2.01倍であった。「聞いている時」は、最大値が1928sec(6)で、最小値が714sec(9)であり、それらの比は2.70倍である。また、「迷っている時」は最大値が681sec(6)で、最小値が14sec(10)であり、それらの比は48.64倍と最大となった。

b) 視覚障害者のエントロピーおよび生理指標

表-6のエントロピーは、「歩行中」の最大値が23.0%(10)、最小値が5.0%(9)であり、「聞いている時」の最大値が28.2%(10)、最小値が3.7%(1)となり、「迷っている時」は最大値が30.0%(10)、最小値が5.5%(9)となった。エ

表-7 被験者の脳波(視覚障害者)

グループ	被験者	脳波	実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時
A	2	α波(8~13Hz)	17.1	19.9	19.9	13.2	16.4
		β波(13~30Hz)	30.1	30.1	30.1	35.9	30.3
	9	α波(8~13Hz)	14.8	16.5	14.9	14.2	18.3
		β波(13~30Hz)	20.2	18.2	19.8	21.8	19.4
	平均	α波(8~13Hz)	16.0	18.2	17.4	13.7	17.4
β波(13~30Hz)	25.2	24.2	25.0	28.9	24.9		
B	3	α波(8~13Hz)	11.9	11.0	11.0	10.5	12.2
		β波(13~30Hz)	28.3	48.8	40.9	29.2	27.5
	7	α波(8~13Hz)	10.6	10.3	10.3	10.8	9.3
		β波(13~30Hz)	23.9	30.1	26.4	24.7	28.7
	平均	α波(8~13Hz)	11.3	10.7	10.7	10.7	10.8
β波(13~30Hz)	26.1	35.5	33.7	27.0	28.1		
C	6	α波(8~13Hz)	9.4	9.1	9.3	9.2	10.2
		β波(13~30Hz)	19.6	20.0	19.2	22.4	17.3

単位%；(各周波数/各時間内の全周波数)×100

ントロピーでは、「聞いている時」の最大値と最小値の比が最大の 7.62 倍となり、個人により心拍変動に大きな差があることがわかった。このことは、緊張とリラックスが入り混じった被験者とどちらかに偏っていた被験者がいたことを表す。「歩行中」「迷っている時」ともに両者の比率はほぼ同様の比となり「聞いている時」ほど大きくならなかった。

また、表-6 の LF/HF の値は、「歩行中」の最大値が 22.8(4)で最小値が 2.6(10)、「聞いている時」の最大値が 24.0(4)で最小値が 2.2(10)、「迷っている時」の最大値が 24.5(4)で最小値が 1.9(10)となった。これらの最大値と最小値の比は「歩行中」の 8.77 倍が最小で「迷っている時」が最大で 12.89 倍となり、それぞれ心臓の脈動が速くなり、筋肉が硬く血管が収縮し緊張した状態ではあるが、これら「歩行中」「聞いている時」「迷っている時」の間に大きな差はなく、被験者間のばらつきが小さいことがわかる。このことは、「実験中」の緊張感に個人差が少なく、視覚障害者に共通して緊張感を持っていることを表している。

表-6 の HF の値は、「歩行中」の最大値が 24.2msec²(5)で、最小値が 1.4msec²(1)であり、その比は 17.29 倍、「聞いている時」の最大値が 35.9msec²(10)で、最小値が 1.6msec²(1)であり、その比は 22.44 倍で、いずれの時間帯でも最大値と最小値の比は高齢者群より少なく、歩行行動中に身体全体が緊張した状態で移動していることが明らかとなった。なかでも、「聞いている時」の緊張が最も大きい。

視覚障害者の脳波を表-7 に示す。なお、表中のグループは次章でのグループである。視覚障害者の被験者全員のα波がβ波よりも小さく、全時間とも不安やイライラで落ち着かない状態が続いていることがわかる。また、β波の値は、高齢者の値よりも大きく視覚障害者の不安やいらだちが大きいことが明らかとなった。

表-8 高齢者のカテゴリスコア

質問内容	カテゴリ	第1軸	第2軸
市内にきた経験	あり	2.1926	0.2948
	なし	-0.5482	-0.0737
外出時の交通手段	自動車	-0.9128	-1.7233
	徒歩	0.3721	-0.7975
	公共交通機関	0.0843	1.6591
病気の有無	あり	1.1430	-0.2420
	なし	-1.1430	0.2420
週あたりの外出	多い	-1.5677	3.8850
	少ない	-0.3874	-0.7369
	なし	2.1399	0.6365

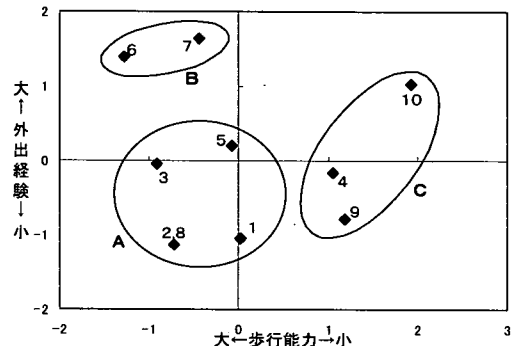


図-4 高齢者のサンプルスコア

5. 被験者の意識分析

(1) 被験者の区分

a) 高齢者の区分

実験終了後、高齢者の被験者全員に個人に関するアンケートを行った。内容は、①「職業」、②「名鉄豊田市駅から豊田市役所まで歩いたことがあるか」、③「豊田市にきたことがあるか」、④「週に何回外出するか」、⑤「健康について」の 5 項目である。被験者の 3 人の主婦と男性が過去に職業を持っていた。

「名鉄豊田市駅から豊田市役所まで歩いたことがあるか」の問に対しては、全員が「初めて」と回答している。「健康について」は全員が「ほぼ健康」と答えてはいるが一部に糖尿病を持つ。また 3 名については「耳が遠い」と答えている。

アンケートの回答結果を数量化理論Ⅲ類により分析した。その結果を表-8 に示す。表の第 1 軸を横軸に、第 2 軸を縦軸に図示したサンプルスコアが図-4 である。図中の数字は高齢者の番号である。横軸は(+)に「市内にきた経験」の「あり」が高く反応し、(-)に「週あたりの外出」の「多い」が高く反応している。縦軸は(+)に「週あたりの外出」の「多い」に高く反応し、(-)に「外出時の交通手段」の「自動車」に高く反応しているため、図-4 の横軸は外出の頻度に関係する『歩行能力』、縦軸は地理を知っていることに関係する『外出経験』を示す軸と考えることができる。

表-9 視覚障害者のカテゴリスコア

質問内容	カテゴリ	第1軸	第2軸
週に何回か外出するか	する	0.7357	0.6051
	しない	-1.7166	-1.4120
公共交通機関を利用することができるか	はい	1.5083	-0.8225
	いいえ	-1.0055	0.5483
初めての所でも苦にならずに出かけられるか	はい	0.8452	0.9900
	いいえ	-0.5635	-0.6600
路地を発見・横断できるか	はい	1.5083	-0.8225
	いいえ	-1.0055	0.5483
交差点を判断・横断できるか	はい	1.7028	-1.6674
	いいえ	-0.7298	0.7146
音響交差点を横断できるか	はい	0.4845	0.4839
	いいえ	-1.9381	-1.9357
歩行訓練を一定期間受けたことがあるか	はい	0.4286	3.1381
	いいえ	-0.1072	-0.7845

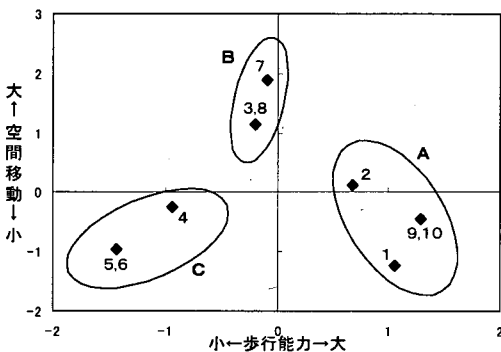


図-5 視覚障害者のサンプルスコア

図中の高齢者をA, BおよびCの3つのグループに区分した。A(被験者番号1,2,3,5,8)は歩行能力が高く、外出経験が普通のグループ、B(被験者番号6,7)は歩行能力が高く、外出経験が多いグループ、C(被験者番号4,9,10)は歩行能力が低く、外出経験が普通のグループと説明できる。従ってグループBが歩行能力の高い高齢者群、ついでグループA、最も低いのはグループCである。

b) 視覚障害者の区分

実測終了後、視覚障害者の被験者全員に個人に関するアンケートを聞き取りによって行った。内容は、①「週に何回か外出するか」、②「公共交通機関を利用することができるか」、③「初めての所でも苦にならずに出かけられるか」、④「路地を発見・横断できるか」、⑤「交差点を判断・横断できるか」、⑥「音響交差点を横断できるか」、⑦「歩行訓練を一定期間受けたことがあるか」の7項目である。

アンケートの回答結果を高齢者の分類と同様に数量化理論Ⅲ類で分析した。その結果を表-9に示す。表の第1軸を横軸に、第2軸を縦軸に図示したサンプルスコアが図-5である。図中の数字は視覚障害者の番号である。横軸は(+)に「交差点を判断・横断できるか」の「はい」が

高く反応している。縦軸は(+)に「歩行訓練を一定期間受けたことがある」の「はい」に高く反応し、(-)に「音響交差点を横断できるか」の「いいえ」に高く反応しているため、図-5の横軸は沿道環境を把握できることに関する『歩行能力』の大小、縦軸は歩行訓練に関係する『空間移動能力』の大小と考えることができる。

図中の視覚障害者をA, BおよびCの3つのグループに区分した。A(被験者番号1,2,9,10)は歩行能力が高く空間移動能力が普通のグループ、B(被験者3,7,8)は空間移動能力が高く歩行能力が普通のグループ、C(被験者番号4,5,6)は歩行能力が低く空間移動能力が低いグループである。従ってグループAが外出時の移動する能力の高い視覚障害者群、ついでグループB、最も低いのはグループCである。

(2) グループ化した被験者の交通挙動

a) 高齢者のグループ化

図-4に示す高齢者の数量化理論Ⅲ類分析では、高齢者をA, B, Cの3グループに区分できたが、グループCについては対象被験者が「耳が遠い」ため歩行実験が完了できなかったため歩行挙動のデータが得られず、ここではグループA, Bについて分析する。

高齢者の交通挙動の平均値を表-4に示す。なお、グループAの「迷っている時」では「迷っていない」被験者がいるため、エントロピーと生理指標の平均値を示していない。グループA(5名)は、歩行能力が高く、外出経験が普通のグループであり、グループB(2名)は、歩行能力、外出経験ともに高いグループである。

表-4のグループBの行動時間について見ると、「旅行中」「歩行中」ともに423.0sec(旅行速度1.30m/sec)であるのに対して、グループAは、「旅行中」が534.8sec(旅行速度1.03m/sec)、「歩行中」が503.2sec(歩行速度1.09m/sec)であった。この値は、警察署が横断歩行者用信号に利用している横断速度1.00m/secと比較すれば、グループBはかなり速い速度で、グループAも横断歩行者用速度に近い速度で移動していることから視覚障害者用に作成した認知情報を十分に理解し、目的地や沿道環境がわかっているために自信を持って移動ができ、比較的早い速度での移動が可能となっていることがわかる。特にグループAの歩行速度1.30m/secはかなり速く移動しているようである。

また、表-4のエントロピーについて見ると、グループBがグループAより大きく、グループAの2~4倍で、同一区間を移動しながら心拍の鼓動がランダムであるにも関わらず移動速度(歩行速度)が速いことがわかる。

表-4のLF/HFの値(交感神経活動)は、グループAはグループBより、いずれの部門でも値が大きく、心臓の

表-10 被験者の行動時間割合(高齢者)

グループ	実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時
A	100.0	34.2	32.2	61.7	4.2
B	100.0	33.2	33.2	46.3	0.8

脈動が速く、筋肉が硬くなり血管が収縮し緊張した状態が続き、緊張状態にあることがわかる。

表-4のHFの値(副交感神経活動)については、グループBの値がグループAより2~9倍の値を示している。HFはリラックスの程度を示すことから、グループBはグループAよりもかなりリラックスして歩行していることがわかる。

表-5に高齢者のグループ化した脳波を示す。グループBの α 波はグループAの値より大きく、いずれの時間帯でも脳がすっきりしているリラックス時の状態であり、 β 波はその逆でいずれの時間帯でも何か気にかかり、不安やイライラで落ち着かない状態がグループAに現れている。なお、「迷っている時」の α/β の比を比較すれば、グループAが0.39、グループBが2.63となりグループBが優れていることがわかる。

表-10は行動時間の割合を示している。グループBは実験中の46.3%が認知情報を聞いている時間である。「歩行中」の時間については33.2%であるが、グループAと実時間で比較するとグループAが1.19倍、「迷っている時」では6.50倍となっている。

歩行能力が高いと十分認知情報を聞き、その上で確実な認知情報を構築してから迷うことなく的確な歩行をしていることがわかる。

各指標からリラックスや緊張の度合いがわかるが、緊張状態であったグループAにおいても視覚障害者で計測された指標よりも緊張の度合いは小さく、極度の緊張状態を強いられたことは伺えず、旅行速度も速いことがわかり、「耳が遠い」高齢者を除いて認知情報を理解していることがわかった。このことから、歩行案内システムの有効性が示された。

b) 視覚障害者のグループ化

図-5に示す数量化理論Ⅲ類分析から視覚障害者の被験者をA、B、Cの3グループに区分できた。

視覚障害者の歩行挙動の平均値を表-6に示す。グループA(4名)は、歩行能力が高く、空間移動能力が普通のグループであり、グループB(3名)は、歩行能力は普通、空間移動能力が高いグループ、グループC(3名)は歩行能力が低く、空間移動能力が低いグループである。

表-6のグループAの行動時間について見ると、「旅行中」は572.5sec(旅行速度0.96m/sec)、「歩行中」は568.5sec(歩行速度0.97m/sec)であるのに対して、グループBは、「旅行中」が804.0sec(旅行速度0.68m/sec)、「歩行中」が791.3sec(歩行速度0.70m/sec)、グループCは「旅行中」が

表-11 被験者の行動時間割合(視覚障害者)

グループ	実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時
A	100.0	32.4	32.2	61.3	6.2
B	100.0	31.6	31.1	47.9	20.6
C	100.0	30.2	28.6	53.5	16.3

1071.3sec(旅行速度0.51m/sec)、「歩行中」が1017.0sec(歩行速度0.54m/sec)であった。高齢者の歩行速度と比較するとほぼ1/2以下で、かなりゆっくりとした速度であることがわかる。なお、旅行歩行速度からグループを順序づけるとグループA、BについてCとなる。

また、表-6のエントロピーについて見ると、グループAは他のグループより大きく、ついでグループBそしてグループCの1.7倍程度となり、グループAの心拍鼓動がランダムな状態であり、ついでグループBそしてグループCの心拍鼓動が最も平坦となっている。

表-6のLF/HFの値(交感神経活動)は、いずれの部門でもグループA、グループB、グループCの順で高くなっている。グループAの値を1.0とするとグループBは1.5~2.0、グループCは2.4~3.2となる。グループCは、かなりの緊張状態にあり、心臓脈動が促進され、血圧が上昇し、呼吸運動が促進されていることがわかる。

表-6のHFの値(副交感神経活動)については、グループAが小さく、グループB、グループCの順で高くなっている。緊張状態とリラックス状態が混在している。ところが各グループ内でLF/HFとHFとを比較してみるとグループAではHFが1.4~1.6倍ほど大きく、グループBでは1.1倍、グループCでは1.0倍である。つまりグループAは緊張よりもリラックスして歩いている事がわかる。

表-7に視覚障害者のグループ化した脳波を示す。各グループの各時間における α 波はグループAが最大でグループCが最小となり、視覚障害者間では、グループAの脳波がすっきりしていてリラックス状態であるのに対し、グループCが全く逆の状態にある。脳波より見たグループに順序をつけるとグループA、ついでグループB、そしてグループCとなる。

表-11に示す行動時間の割合については、3グループとも「旅行中」「歩行中」に大きな差はない。「聞いている時」「迷っている時」をあわせると3グループともほぼ同じ割合となり、認知情報をしっかり聞き、認知情報を構築してから歩行に移るか、認知情報が不完全のまま歩行に移り、迷うのかがはっきりしている。歩行能力の高いグループAは認知情報の入手と認知情報の構築に時間をかけていることがわかる。

歩行能力の低いグループに対しても、歩行訓練の実施とともに認知情報をゆっくり理解してから移動するように心がけることで安全に移動できると思われる。さら

に歩行能力の低いグループでは緊張状態が見られたが、実験を中止するような極度の緊張状態を強いられたことはなく、本システムで案内を行った視覚障害者は、通常の視覚障害者の旅行速度よりも旅行速度が速いことがわかり、歩行案内システムの有効性が示された。

c) 高齢者と視覚障害者のグループごとの比較

交通挙動についてみると、高齢者の移動速度の遅いグループAと視覚障害者の最も速いグループAを比較すれば、高齢者のグループAの歩行速度は1.09m/sec、視覚障害者の値は0.97m/secで高齢者の方が0.12m/sec速い。また、高齢者のグループAの「聞いている時」、「迷っている時」は視覚障害者のグループAより0.89、0.59倍とかなり短い時間であることがわかる。

旅行中・歩行中のエントロピーは、高齢者の値が視覚障害者の値よりかなり大きく、心拍の鼓動がランダムでありながら移動速度が速いことが伺うことができる。

LF/HFの値は、全ての交通挙動において視覚障害者のグループAは高齢者のグループAの2~3倍で心臓の脈動が速く、筋肉が硬くなり血管が収縮して緊張した状態が続いていることがわかる。

また、HFの値は高齢者のグループAの「迷っている時」を除いて高齢者が大きな値を示し、視覚障害者より歩行案内中のいずれの面でもリラックスしていることが明らかとなった。

視覚障害者の α 波は高齢者の値より全般的に小さく、これに対して β 波は高齢者よりも大きく、視覚障害者は高齢者より歩行案内システム実験中は不安やイライラで落ち着かず何か気にかかることが多い状況であったように思われる。

6. おわりに

高齢者や視覚障害者が初めての場所でも安心して目的地に到着できるよう視覚障害者用に作成した歩行案内システム用認知情報を用いて、高齢者と視覚障害者を被験者とした歩行案内システムの実験を実施し、認知情報の有効性の評価とその実用化に関する研究を進めた結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 心拍や脳波といった生理状態を測定することによって被験者が安心して歩行しているのか、不安な状態で歩行しているのかという心理状態を把握することができた。また、歩行案内実験は同条件で実施したにもかかわらず、測定値から視覚障害者は実験中に高齢者よりも緊張を強いられていることがわかった。
- (2) 視覚障害者は高齢者よりも緊張した状態で歩行しているので、視覚障害者を基準として歩行案内シ

ステムを構築しても、高齢者用の認知情報を付加することで高齢者への適用が可能であることが示された。

- (3) 視覚障害者用に作成した認知情報は、高齢者にとり十分理解し判断しうる認知情報であり、表-4に示した実験中の歩行速度・エントロピー・LF/HF・HFの値を比較しても高齢者・視覚障害者とも視覚障害者用歩行案内システムの認知情報は高い信頼性と十分なる有効性があることが評価された。
- (4) FM微弱電波を用いた視覚障害者用歩行案内システムは“耳が遠くない”高齢者に対しては十分対応しうる歩行案内システムである。
- (5) 高齢者と視覚障害者の誘導を行った結果、高齢者の誘導も行うことができ、高齢者を対象とした歩行案内システムに利用する認知情報は視覚障害者用に作成した表-1に示す内容で十分であることが明瞭になった。
- (6) 心拍数は個人差があり、心拍数の基準化等を実施しなければ個人差等の分類が比較できないが、エントロピーが計測できるならば、このエントロピーを用いることで、高齢者・視覚障害者の歩行挙動を解析するための良好な資料となり、歩行案内システムの有効性の評価に用いることができた。
- (7) 脳波の測定は技術的にも難しいが、 α 波・ β 波の値はLF/HFおよびHFの値とほぼ同様に高齢者・視覚障害者の歩行挙動を把握するための資料として使用でき、歩行案内システムの有効性の評価に用いることができた。
- (8) 歩行案内システムの実験に参加した高齢者・視覚障害者は、交通挙動、エントロピー、LF/HF、HF、 α 波および β 波の計測値より高齢者・視覚障害者群および各グループに分類することができ、被験者の状態から歩行案内システムの評価を行うことができた。
- (9) 簡単なアンケート調査を行うことで、数量化理論Ⅲ類の分析手法により高齢者の歩行分類区分が可能となり、歩行レベルから歩行案内システムの評価を行うことができた。

本システムで用いた微弱電波発信装置は比較的安価であり、利用者も市販の携帯ラジオを使えばよく、大きな自己負担を要しない。さらに、提供する認知情報はEPROMに保存するため、変更が容易であり極めて汎用性が高いという特徴を持っている。

本研究では被験者数が限られているため、今後より多くの場所で多くの被験者を対象として歩行案内システムの実験を行うことによってさらに精度の高い評価を行う必要がある。さらに、これらの実験を通して認知情報についての知識を深めていきたいと考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり平成12年度名城大学総合研究所総研「推進」、平成12年度文部省科学研究費補助金および平成9～13年度文部省学術研究フロンティア(量子情報論からの生命への接近)の補助を受けました、記して感謝いたします。さらに、論文集編集委員会査読者より本研究に関する貴重な意見を頂いた。ここに深く感謝の意を示します。

補注

- [1] 心臓が単位時間に行う拍動数を心拍数と言い、心拍数は心筋の興奮に伴う電気的変化(活動電位)を、胸部に取り付けた二点間の電位差として増幅し、そのときのR波間隔を単位時間当たりに記録した数である。心拍の周期は一般に図-6に示すP,Q,R,S,T,Uの各波に分けることができる³⁰⁾。
- [2] 心拍数は交感神経と副交感神経によって互いに優劣なく支配されている。従って、心拍数は両自律神経活動の静的なバランスを反映していると考えられている。一方、心拍変動は両自律神経活動の変動つまり動的な調節活動を反映する。しかし、心拍変動解析は心拍数にはない際立った特徴を持つ。それは交感神経活動と副交感神経活動を独立させて評価できることである³¹⁾。
- [3] 人間の脳の中にはたくさんの神経細胞が活動していて、電気的に変動している。この脳の電気的振動を経時的な波形で捉えたものが脳波である。そして、その振動の周波数により、脳波は分類される。その分類の標準型として用いられているものは、周波数によって α , β , θ , δ の4種類に分けられている³²⁾。本研究では、自律神経系を示す α 波(8～13Hz)と β 波(13～30Hz)の両波を使用し、様々な表示方法のうち、全脳波に占める各波の割合が判断できる百分率による表示方法を用いることとする。

参考文献

- 1) 平成8年身体障害者実態調査及び身体障害者実態調査の概要について、厚生省大臣官房障害保健福祉課, pp.34, 1999.
- 2) 北川博巳, 三星昭宏, 埴生健一：個人属性からみた高齢者モビリティの要因分析, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集, 第4部, pp.276-277, 1994.
- 3) 児玉健, 三星昭宏, 濱野正逸：移動制約者等の公共交通機関利用に関する意識調査について, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集, 第4部, pp.320-321, 1995.
- 4) 北川博巳, 三星昭宏：余暇活動に対する高齢者モビリティの問題点, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, 第4部, pp.156-157, 1996.
- 5) 北川博巳, 三星昭宏, 岡本英晃：車いすの利用者の外出意

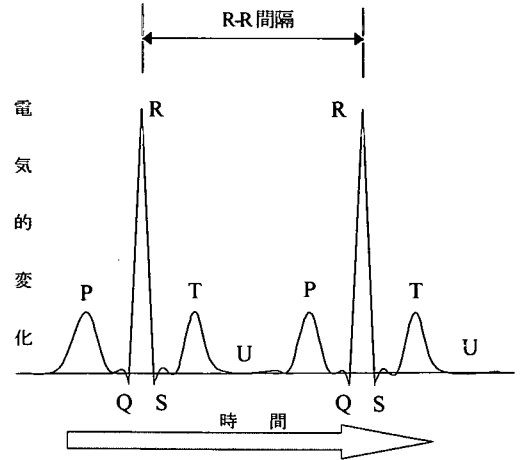


図-6 心拍の波形概略図

- 識と整備要望の把握に関する研究, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, 第4部, pp.76-77, 1997.
- 6) 佐藤平, 松井寿則, 伊東盛知：身体障害者(児)と高齢者のまちづくりに対する評価の比較研究(その3), 日本建築学会東北支部研究報告集, 第56号, pp.45-48, 1993.
 - 7) 今田寛典, 竹村和夫, 市坪誠, 小松孝二, 山岡秀美：福祉を考慮した公共空間整備に関する基礎的研究, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 第4部, pp.720-721, 1998.
 - 8) 秋山哲男, 藤田光宏, 福島達也：歩行空間における自損事故の発生要因と発生場所の調査研究, 土木学会第52回年次学術講演概要集, 第4部, pp.68-69, 1997.
 - 9) 松井佐由里, 大貝彰：豊橋市における高齢者の生活行動特性, 日本建築学会学術講演概要集, 都市計画, pp.91-92, 1994.
 - 10) 久世直子, 湯川聡子：高齢者の外出行動に関する研究岡山県新郷町について, 日本建築学会中国支部研究報告集1993年度第18巻, pp.481-484, 1994.
 - 11) 石倉麻志, 杉恵頼寧, 大東延幸：高齢者の交通行動と歩行環境の評価, 土木学会第52回年次学術講演概要集, 第4部, pp.60-61, 1997.
 - 12) 定井喜明, 久米登美雄, 古見博：高齢者の交通安全意識の研究, 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集, 第4部, pp.374-375, 1988.
 - 13) 新田次次, 都君燮, 森康男：一般化時間を組み込んだ高齢者対応型バスへの交通手段転換モデル構築に関する研究, 都市計画論文集, 32号, pp.643-648, 1997.
 - 14) 杉恵頼寧, 黒田英伸：高齢化社会における公共交通機関の整備のあり方, 交通工学研究会第18回交通工学研究発表会論文報告集, pp.233-236, 1998.
 - 15) 大島礼治, 右田誠：老人性白内障から見た交通環境の調査研究(2), 交通工学研究会第18回交通工学研究発表会論文報告集, pp.225-228, 1998.
 - 16) Dodson, A. H., Moon, G. V. and Moore, T.: Guiding Blind Pedestrians

- with a Personal Navigation System, *The Journal of navigation / The Royal Institute of Navigation*, Vol.52, No.3, pp.330-341, 1999.
- 17) 篠田豊, Kaluwahandi Sasadara, 田所嘉昭: 携帯型視覚障害者歩行支援システムを用いた歩行訓練の評価, 第25回感覚代行シンポジウム発表論文集, pp.11-14, 1999.
- 18) 山崎啓功, 岩谷宏仁, 曲谷一成, 築島謙次: DGPSを利用した視覚障害者誘導システム, 第25回感覚代行シンポジウム発表論文集, pp.7-10, 1999.
- 19) 上野朋子, 赤坂人司, 魚住拓司, 川上幸二, 築島謙次, 久保明夫: 視覚障害者のためのLED(発光ダイオード)視線誘導灯システムの研究, 第25回感覚代行シンポジウム発表論文集, pp.87-90, 1999.
- 20) 小谷信司, 中田貴映, 森英雄: 歩行ガイドロボットの歩行者検出と追跡手法, 第25回感覚代行シンポジウム発表論文集, pp.99-102, 1999.
- 21) 野田宏治, 松本幸正, 荻野弘, 栗本譲: 視覚障害者のための歩行案内システムの評価に関する研究, 土木学会論文集, No.548/IV-33, pp.45-54, 1996.
- 22) 野田宏治, 荻野弘, 栗本譲: 微弱電波を利用した視覚障害者歩行案内システムに関する研究, 土木計画学研究・論文集, pp.773-781, 1998.
- 23) 栗本譲, 高橋政稔, 米沢彰賢, 松本幸正: 微弱電波を利用した視覚障害者および高齢者の歩行案内・誘導システムに関する基礎的研究, 平成4年度科学研究費補助金(一般研究(C))研究成果報告書, pp.42, 1993.
- 24) 栗本譲, 高橋政稔, 米沢彰賢, 松本幸正, 松井寛, 藤田素弘, 神作博, 荻野弘: 微弱電波を利用した視覚障害者及び高齢者の歩行案内・誘導システムに関する研究, 平成7-8年度科学研究費補助金(一般研究(A))研究成果報告書, pp.107, 1997.
- 25) 栗本譲, 野田宏治, 荻野弘, 木村政晃: 微弱電波を用いた視覚障害者歩行案内システムの認知地図に関する研究, 第18回交通工学研究発表会論文集, pp.237-240, 1998.
- 26) 栗本譲, 松本幸正, 野田宏治: 視覚障害者歩行案内システムの認知情報に関する研究, 第19回交通工学研究発表会論文集, pp.177-180, 1999.
- 27) 小出昭一郎: エントロピー, pp.102-107, 共立出版, 1979.
- 28) 細田嗟一監修, 笠貫宏・大友詔雄編集: 生体時系列データ解析の新展開, pp.7-133, 北海道大学図書刊行会, 1996.
- 29) Mulder, G., Mulder, LJM: Information processing and cardiovascular control, *Psychophysiology* 1981, pp.392-402, 1981.
- 30) 山地啓司: 心拍数の科学, pp.6-7, 大修館書店, 1981.
- 31) 井上博: 循環器疾患と自律神経機能, pp.58-67, 医学書院, 1996.
- 32) 稲永和豊: 臨床脳波入門, pp.23-77, 182-193, 金原出版, 1968.

(2001. 10. 9 受付)

EVALUATION OF COGNITIVE INFORMATION AND PHYSIOLOGICAL CONDITION OF THE ELDERLY AND THE VISUALLY IMPAIRED WALKING WITH A ROUTE AND DESTINATION GUIDANCE SYSTEM

Toshiomi OGURA, Koji NODA, Yukimasa MATSUMOTO
and Yuzuru KURIMOTO

A walking guidance system with FM wave information was developed for the elderly and the visually impaired. This system was composed of a low power transmitter and a portable radio. In order to evaluate this walking guidance system, experiments with the elderly and the visually impaired were conducted for about 550m from station to City Hall in Toyota. Subjects were fitted with an electrocardiograph or an electroencephalograph to measure physiological indices during the experiment. Moreover, their behavior of walking was recorded by a digital camcorder. A questionnaire about their property and daily life was also conducted. As a result, it was made clear that the walking guidance system has an effectiveness of providing necessary information for the elderly and the visually impaired.