

視覚障害者の歩行案内システムにおける生体情報と認知情報に関する研究*

Physiological condition and cognitive information of the visually impaired
walking with a route and destination guidance system*

小倉俊臣**・野田宏治***・松本幸正****・栗本譲*****

By Toshiomi OGURA**・Koji NODA***・Yukimasa MATSUMOTO****・Yuzuru KURIMOTO*****

1. はじめに

交通バリアフリー法が施行され、高齢者や身体障害者に対する公共交通の利便性が求められるようになってきた。しかしながら、交通バリアフリー法における重点的にかつ一体的に整備を要する重点整備地区の対象は、公共交通機関と乗降者数が5,000人以上の駅の整備、また駅周辺500m～1kmの歩道のバリアフリー整備等に留まっている。厚生労働省が平成8年11月に行った身体障害者・児実態調査結果¹⁾の推計値によると18歳以上の視覚障害者は約305,000人である。また、視覚障害者が外出するうえで困る項目として「車等に危険を感じる」が45%、「交通機関の利用が不便」が38%、「道路や駅が利用しにくい」と「利用する建物の設備(階段、トイレ、エレベーター等)が不備」が27%であり、視覚障害者にとっては社会基盤施設の整備は未だ不十分な状態であるといえる。

視力障害や歩行障害といった身体障害は、加齢に従って訪れる人間の様々な身体能力の低下からも起こり得るものであり、また病気によって引き起こされることもある。すなわち、身体障害は限られた特定の人だけの問題ではなく、現在は健康な人にも十分起こり得る身近な問題でもある。身体的な障害があったとしても、人は生涯のあらゆる段階において能力を最大限に発揮し、自立した生活を営む機会が与えられるべきであり、そのためには自助努力が欠かせないが、障害の程度によっては自らの努力のみでは対処が困難な場合もあり、行政や地域住民を含めた社会全体での支援が不可欠である。

*キーワード：交通弱者対策、総合交通計画

**正員、工修、(財)豊田都市交通研究所

(名城大学大学院理工学研究科博士課程)

(〒471-0025 愛知県豊田市西町4-25-18,

TEL:0565-31-7543, E-mail:ogura@tri.or.jp)

***正員、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,

TEL:0565-36-5878, E-mail:noda@toyota-ct.ac.jp)

****正員、博(工)、名城大学理工学部建設システム工学科

(〒468-8502 愛知県名古屋市中天白区塩釜口1-501,

TEL:052-832-1151, E-mail:matsumoto@civil.meijo-u.ac.jp)

*****正員、工博、名城大学理工学部建設システム工学科

(〒468-8502 愛知県名古屋市中天白区塩釜口1-501,

TEL:052-832-1151, E-mail:kuriay@ccmfs.meijo-u.ac.jp)

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)~5)}は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等を明らかにしている。杉恵ら^{6)~7)}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。また、高齢化社会に向けての交通問題研究会の研究成果として、栗本ら⁸⁾は中小地方都市における高齢者の運転特性と交通計画上の課題を提示している。新田ら⁹⁾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の構築を行っている。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なった研究^{10)~11)}や歩行時における高齢者の自損事故について調査分析した研究¹²⁾、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^{13)~14)}等も行われている。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。

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。篠田ら¹⁵⁾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¹⁶⁾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¹⁷⁾、歩行ガイドロボットの開発¹⁸⁾等も行われている。さらに、コミュニケーションの観点から視覚障害者に対する機械操作マニュアルの表現方法に関する研究も行われている¹⁹⁾。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こと等の問題があり、実用化までには至っていない。

そこで本研究では、視覚障害者が安心して外出できる社会基盤整備の具体的な一方案として、視覚障害者の歩行案内システムの実現化を目指す。我々がこれまでに行った歩行案内実験^{20)~22)}により提唱してきた案内システムは、FM微弱電波発信装置と市販の携帯ラジオで構成され、都市内の各所に装置を配置して認知情報を提供することでネットワークを構築することが可能なシステムである。はじめに歩行案内システムで流す認知情報を、視覚障害者への聞き取り調査をもとに構築し、続いて豊田市内

表-1 外出に関するアンケート調査カテゴリスコア

調査項目	カテゴリ	横軸	縦軸
初めての所でも苦にならずに出かけられる	はい	-1.6720	-0.3916
	いいえ	0.5901	0.1382
信号のある交差点と信号のない交差点を判別できる	初めての所でも	-0.5997	-0.6587
	慣れた道なら	0.8038	0.8744
	難しい	-0.8403	-0.8393
路地の横断ができる	はい	-0.5306	0.3138
	いいえ	2.5204	-1.4907
音響信号のない交差点を横断できる	初めての所でも	-0.6846	0.5584
	慣れた道なら	1.6306	-1.5960
	難しい	3.4857	-1.5134
片側3車線以上の道路の横断ができる	初めての所でも	-1.3341	0.5754
	慣れた道なら	0.9724	0.5143
	難しい	0.5706	-2.5805
一人でバスに乗って出かけることができる	はい	-0.8374	-1.0275
	いいえ	1.0886	1.3359
地下街を一人で歩くことができる	初めての所でも	-1.4233	-0.8256
	慣れた道なら	-0.1200	1.9494
	難しい	1.5283	-0.8801
歩行訓練を一定期間受けたことがある	はい	-0.1634	-0.5743
	いいえ	0.7763	2.7276

表-2 全員が理解できたキーワード

音響信号	伝い歩き	街路樹	距離
点字ブロック	改札	植え込み	工事
歩道	券売機	花壇	看板
大通り	有人改札	砂利道	バス停
車道	自動改札	舗装道路	方向
廊下	エスカレーター	道路脇	方角
エレベーター	エレベーター	鉄柱	現在地
階段	段差	ガードレール	目的地
一方通行	側溝	車止め	鳥型歩道
建物側	ブロック塀	駐車場	片側歩道
歩道側	電柱	歩道橋	Uターン
壁側	電信棒	交差点	押しボタン信号
歩道中央	排水溝	横断	踊り場
十字路	中央分離帯	目印	東西南北

歩行訓練用教範や、それまでに実施した実験で用いていた認知情報文の内容より 100 個選出された。名古屋市内在住の全盲で白杖を持ち移動することのできる被験者 23 名に対して、平成 10 年 8 月、被験者 1 名に対して調査員 1 名を配してキーワードに関する聞き取り調査を実施した。さらに、被験者に対して日常の外出に関する項目についての聞き取り調査を実施した。被験者は、年齢 25～60 歳の男女で、現在の視力に固定されてから 10 年以上経過しており、一人歩きの経験もほぼ同期間であった。障害程度は 1 級および 2 級であり、マッサージ師や教員、学生等の職業を持っている人が 16 名で残りの 7 名は無職であった。これらの被験者の属性を分類するが、障害程度や外出経験等には定性的な項目が含まれるため数量化理論を用いて分類することにする。

視覚障害者の日常の外出に対する属性と理解しているキーワードとの関係を、日常の外出に関する調査結果を用いて数量化理論Ⅲ類を行って分類し、その結果を表-1 に示し、被験者のサンプルプロットを図-1 に示す。図中の数字は被験者番号を表す。

図-1 の横軸は「音響信号のない交差点を横断できる」の「難しい」が正に反応し、「初めてのところでも苦にならずに出かけられる」の「はい」が負に反応しているので『歩行能力』の大小、縦軸は「歩行訓練を一定期間受けたことがある」の「いいえ」が正に反応し、「片側 3 車線以上の道路の横断ができる」の「難しい」が負に反応しているため『外出頻度』の多寡と定義することができ、被験者を 3 つのグループに区分した。グループ A(被験者番号:1,2,3,10,20,21)は、歩行能力が低く外出頻度が少ないグループであり、グループ B(被験者番号:9,11,12,14,16)は、歩行能力は低いが出外頻度が多いグループ、グループ C(被験者番号:4,5,6,7,8,13,15,17,18,19,22,23)は歩行能力が高いグループと位置づけられる。

次に、分類されたグループごとに理解しているキーワードがどのように異なるかを分析する。表-2 は、被験者 23 名全てが判断できたキーワード 56 個を示すが、日

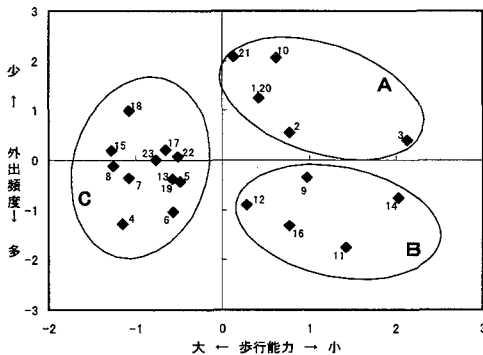


図-1 数量化理論Ⅲ類による歩行能力の分類

で歩行案内システムを用いた視覚障害者を被験者とする歩行実験を行った。実験では歩行時間や被験者の生体情報として心拍、脳波を計測した。また被験者の外出と歩行に関する意識分析も行い、両者の分析結果から被験者をグループ化し、提唱する歩行案内システムによる誘導結果の評価とグループごとに求めた生体情報の特徴を明らかにした。さらに、作成した情報文についての評価を行い、情報文の有効性を検証した。

2. 歩行案内システム

(1) 認知情報文の構築

視覚障害者へ提供する情報文は簡潔に内容を伝えるとともに、視覚障害者が理解し得る表現を用いなければならない。そこで歩行案内システムを構築する過程で、視覚障害者に対するキーワード理解力の調査を実施した。

この調査では、視覚障害者が歩行する際に作成する認知地図に必要と思われるキーワードを視覚障害者

表－3 クラスターごとの平均理解率とキーワード

	クラスター			
	1	2	3	4
グループ A の平均	91.5%	60.6%	26.6%	5.2%
グループ B の平均	87.8%	87.5%	48.0%	24.6%
グループ C の平均	97.8%	93.8%	88.4%	46.8%
キーワード	路地 通路 T字路 三差路 壁面 車線 右折 左折 路面 昇り 降り 時間 誘導ブロック 生垣 ボイ カタナ交差点 コの字型 ドライブ・ウェイ	五差路 ポール 一方通行出口 一方通行入口 しきり 路肩 L字型 相対式交差点	オオチ 線状ブロック 時差式信号 ルート すり抜け	点状ブロック ケル 車音 化粧ブロック スライド法 ガイドライン ゼブラライン ランドマーク 誘導ブロック プロセ カタナケル ケル ケルチガ

頃日常会話で用いられるようなキーワードは、属性に関係なく全ての被験者が理解していることがわかる。

残り 44 個のキーワードの理解率にはグループごとにはばらつきが出た。そこで、グループごとの理解率を用いて、ワード法によるクラスター分析を行い、キーワードの分類を行った。クラスターごとのグループ別の平均理解率とキーワードを表－3に示す。この表より、クラスター1に属す“路地”や“通路”等の道路の呼び方や“T字路”や“三差路”等の道路の形状といったキーワードは、どのグループから高い理解が得られていることがわかり、クラスター2においてもどのグループから60%以上の理解率があり、これらのキーワードの利用については問題がないと思われる。

一方、クラスター3やクラスター4に属す誘導ブロックの形状を具体的に表す“線状ブロック”・“点状ブロック”や、あるいは歩行技術を表す“スライド法”・“タッチテクニック”や普段あまり使わない“ゼブラライン”・“ランドマーク”といったカタカナ言葉に関しては理解率が下がり、特に歩行能力が低く外出経験が少ないグループAでの理解率がかなり低いことがわかる。

グループ別にキーワードの理解率をみると、歩行能力の高いグループCでは理解率も高く、歩行能力の低いグループAは理解率も低くなっている。グループAにおいては、歩行訓練を一定期間受けていない被験者は3名(被験者番号:3,10,21)であるのに対して、グループCでは1名(被験者番号:18)のみであった。このことから、歩行訓練を受けていない視覚障害者は、日常会話で使用しないよ

表－4 視覚障害者の優先順位

回答数	情報内容
20	地点周辺の状況
19	地点名称
18	次の地点までの道路形態
16	次の地点までの距離
14	誘導ブロック
14	地点の方位(方角)・方向
14	ランドマーク
13	側溝
10	交差点

表－5 認知情報の提供順位

順位	G1の情報内容(全体情報)
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	G2～G5の情報内容(経路情報)
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

うなキーワードの理解は困難であることがわかる。

視覚障害者は、歩行案内の情報文中のキーワードが理解できることによって安心して歩行に集中することができ、キーワードの理解が歩行の円滑化に繋がると考えられる。このため、視覚障害者への歩行案内情報に理解されやすいキーワードを使用することは歩行訓練を受けることと共に、視覚障害者にとって非常に重要な要素となるため、クラスター3や4に属するキーワードの利用は避けることにした。

調査が終了して約2ヶ月後に23名の被験者全員に対して、上記のクラスター1および2に属するキーワードから構成される情報文から、駅や地下鉄以外の地域における歩行案内の地点情報として、必要と思われる項目を抽出してもらった。抽出された情報項目は、地点名称、地点周辺の状況、地点の方位(方角)・方向、次の地点までの道路形態、次の地点までの距離、誘導ブロック、信号機、側溝、交差点、車線幅員、ランドマーク、青信号の長さ、歩道橋、バス停、歩行者数、電柱、駐車場であった。調査結果のうち10名以上が必要な情報としたものを表－4に示す。

開発した微弱電波発信装置からは、歩行に必要な情報が発信される。この情報を聴き、視覚障害者は頭の中で地図のようなものに変換して移動するが、情報文が予想以上に長いと、情報文の全てを咀嚼することができないため、情報提供のはじめに情報文の“長さ”を示すことにした。提供する認知情報の順位と構成は表－4の必要な順位を考慮しながら、表－5に示すような全体から地点へと情報が連続するように2段階の構造とした。

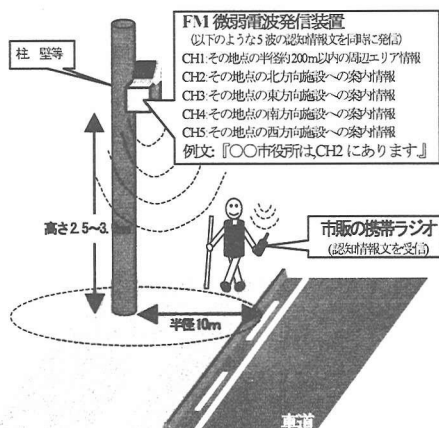


図-2 歩行案内システムの概念図

認知情報は、簡潔で短い文章でも視覚障害者が頭の中で地図を描きやすくするために、「簡潔明瞭な文」、「主語を文頭におく」、「述語は主語の近くにおく」、「指示代名詞はなるべく避ける」等に注意して作成した。なお認知情報の具体的な内容については後述する。

(2) システムの概要

本研究で利用する歩行案内システムの概念図を図-2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、街路灯支柱等の高さ 2.5～3.0m の場所に共架できる。また電源には太陽電池を用い浮動充電が可能で、直射日光がなくとも連続 8 日間は案内情報を繰り返し流すことができる。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から音声による認知情報が得られる。

個々の装置から発信される 5 つの電波では、別々の地点情報を同時に流しているが、歩行案内システムは点情報として提供されているため、都市内の主要地点(例えば交差点付近等)に本装置を設置することによって、都市内をネットワーク化することができ、面的な情報提供が可能となる。

ある地点で目的地方向の認知情報を聞き、次の認知情報提供地点までの認知地図を作成した上で、それを頼りに次の地点まで移動する。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る。次の認知情報提供地点に近づけば再び携帯ラジオから新しい情報が得られ、利用者は歩行している位置と方角をその都度確認でき、これを繰り返すことによって最終的に目的地へ到着することができる。

都市内の主要地点に設置される微弱電波発信装置は基本的に表-5に示す 5 波のチャンネル(CH)を備えている。CH1 は全体情報としてその地点から 200m 範囲内の周辺

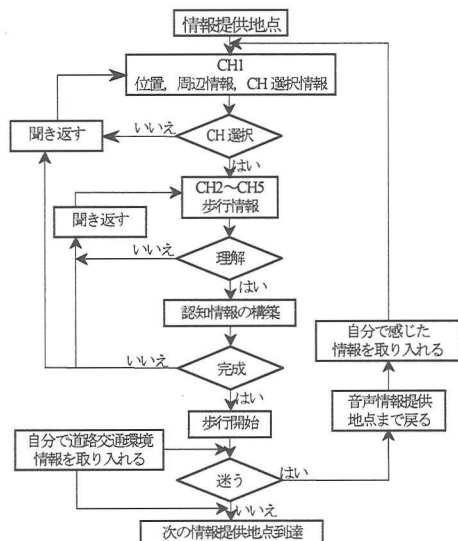


図-3 認知情報確認の流れ

情報を、CH2～CH5 はその地点から東、西、南、北方面に関する施設情報や地図情報を提供する経路情報である。

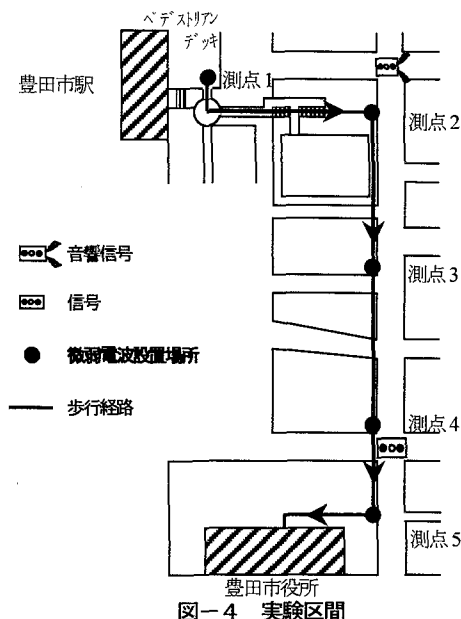
歩行案内システムで提供する認知情報確認の流れ図を図-3に示す。視覚障害者は図で示された要領により認知情報を聞き、これをもとに認知地図を構築して歩行する。ある測点(微弱電波発信装置設置場所)で CH1 の内容を十分理解した後、CH2～CH5 の中から目的地に行くために必要とする CH を選択し、その情報の中身を聞く。なお、FM 微弱電波発信装置から提供される情報は絶え間なく繰り返し提供されるので、被験者はその情報を十分に理解するまで何度も聴くことができ、より確実な認知情報を構築することができる。

3. 歩行実験(1)と被験者区分

(1) 歩行実験(1)

(a) 歩行経路

歩行実験は平成 12 年 7 月 27 日(木)(晴)に、図-4に示す愛知県豊田市内の名鉄豊田市駅前をスタート地点、豊田市役所東庁舎入口を目的地とする区間で行った。区間長は約 550m である。歩行経路のスタート地点(測点 1)は名鉄豊田市駅の駅舎を出たペデストリアンデッキ上で、測点 1 から測点 2 へはさらに階段で 4m 程上り水平移動の後、7m 程の高さから 2 段階の階段で下りて地上に至る複雑な上り下り(エレベーター・エスカレーター設置)がある区間となっている。測点 2 から測点 5 までは歩車分離の歩道を歩行し、歩道幅員は約 3.0m で歩道には誘導ブロックが設置され、その間 4 本の道路を横断しなければならない。なお信号交差点は 1 ヶ所だけで、歩道の沿道は銀行や商店、住宅が混在している。自動車交通量は信号交差点の交差側道路を除いて多くない。



微弱電波発信装置は、測点1から測点5までの5ヶ所に歩道上の街路灯支柱に高さ2.5～3.0mの位置に設置した。この装置から表-6に示す認知情報文を繰り返し発信し、被験者が各測点に到着する都度、携帯ラジオから認知情報を聞き取り、次の測点まで移動した。

(b) 認知情報

豊田市で実施した歩行案内実験で使用した認知情報は表-5の認知情報の提供順位を基に歩行経路の形態と地点名称を加味しながら作成した。構築した測点1のCH1～CH5の認知情報文を表-6に示す。認知情報文中の下線(実線)の言葉は、平成10年の聞き取り調査で全被験者が認識できたキーワードであり、下線(破線)はクラスター1およびクラスター2のキーワードである。CH1の「車両の音」は「車音」では理解しづらいことが判っているため言い換えたキーワードである。なお、この認知情報では地点名称(下波線)が非常に多く、「情報の長さ」が長くなった。

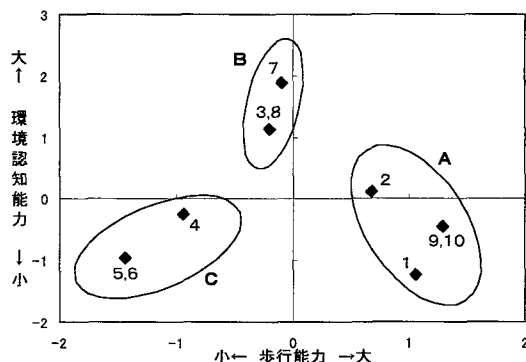
(c) 被験者と生体情報の計測

実験に参加した被験者は豊田市在住の全盲の後天性視覚障害者で年齢は40～70歳の男性8名・女性2名の計10名である。いずれの被験者も日頃白杖を用いて一人で外出できるが、今回の実験経路を歩いたことはない。

今回の実験では、ビデオを用いて被験者の行動を録画し、実験終了と同時に聞き取りによりアンケート調査を行った。また、歩行中の生体情報を計測するため被験者にメモリー心拍測定器(株GMS社製 LRR-03 メモリー心拍計)や脳波測定器(株GMS社製 MWM-01 脳波モニター)を取り付けて歩いてもらった。心拍計の装着では心拍の計測のみが可能で、脳波計の装着では心拍と脳波の両方が計測できる。

表-6 提供する認知情報文の例

測点1, CH1の情報
こちらは「 <u>豊田市駅2階東口</u> 」。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「 <u>豊田市</u> 」があります。バス停「 <u>豊田市</u> 」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段降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、豊田市中心図書館、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、豊田そごうは西向き情報でCH5です。以上
測点1, CH3の情報
こちらは「 <u>豊田市駅2階東口</u> 」。CH3東向き情報30秒あります。豊田市役所、豊田市中心図書館、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、「 <u>喜多町2丁目交差点南側</u> 」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段昇り、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段降り、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



(2) 行動時間と生体情報

(a) 被験者のグルーピング

歩行実験終了後に被験者に対し聞き取り調査を行った。この調査結果を用いて数量化理論Ⅲ類を行い、その結果から得られた被験者のサンプルプロットを図-5に示す。図中の数字は被験者番号を表す。

数量化理論Ⅲ類のカテゴリスコアから、図-5の軸の指標を検討した。その結果、横軸は「交差点を判断・横断できるか」の「はい」(カテゴリスコア1.7028, 以下()内はカテゴリスコア)と「公共交通機関を利用することができるか」の「はい」(1.5083)が正に反応し、「音響交差点を横断できるか」の「いいえ」(-1.9381)と「週に何回か外出するか」の「しない」(-1.7166)が負に反応しているのが『歩行能力』の大小、縦軸は「歩行訓練を一定期間受けたことがあるか」の「はい」(3.1381)が正に反応し、「音響交差点を

表-7 行動時間と生体情報(平均値)

行動・心拍	グループ	行動時間・心拍					周波数	グループ	脳波				
		実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時			実験中	旅行中	歩行中	聞いている時	迷っている時
行動時間(sec)	A	1765.8	572.5	568.5	1083.3	110.0	δ 波(%)	A	26.2	29.0	28.9	26.1	27.3
	B	2545.7	804.0	791.3	1218.3	523.3		B	29.6	26.2	26.1	30.6	28.8
	C	3550.7	1071.3	1017.0	1900.3	579.0		C	31.8	31.8	31.8	31.8	21.4
HF(msec ²)	A	12.5	10.8	11.0	12.6	11.2	θ 波(%)	A	32.8	36.5	36.6	32.6	30.6
	B	15.2	15.2	16.1	16.5	16.4		B	33.0	27.8	29.8	34.2	32.4
	C	21.6	22.8	22.5	22.9	24.0		C	39.2	39.2	39.8	33.6	40.1
LF/HF	A	8.4	6.8	6.9	9.0	7.4	α 波(%)	A	16.0	18.2	17.4	13.7	17.4
	B	13.5	14.1	14.3	13.5	13.9		B	11.3	10.7	10.7	10.7	10.8
	C	21.7	21.6	21.6	22.0	22.9		C	9.4	9.1	9.3	9.2	10.2
エントロピー(%)	A	11.8	10.9	10.9	12.4	13.0	β 波(%)	A	25.2	24.2	25.0	28.9	24.9
	B	9.5	9.1	9.1	9.8	9.9		B	26.1	35.5	33.7	27.0	28.1
	C	6.3	6.4	6.3	6.7	6.8		C	19.6	20.0	19.2	22.4	17.3

横断できるか」の「いいえ」(-1.9357)と「交差点を横断・判断できるか」の「はい」(-1.6674)が負に反応しているので『環境認知能力』の大小と定義することができ、被験者を3つのグループに区分した。グループA(被験者番号:1,2,9,10)は、歩行能力が高く、環境認知能力が普通のグループであり、グループB(被験者番号:3,7,8)は、歩行能力は普通、環境認知能力が高いグループ、グループC(被験者番号:4,5,6)は歩行能力が低く、環境認知能力が普通のグループと考えられる。

(b) 行動時間

数量化理論Ⅲ類で分類したグループごとに実験で得られた行動時間・心拍、脳波の平均値を求めた。表-7にその結果を示す。なお、被験者番号1,4,5,8,10の5名は心拍計のみの装着であったため脳波の測定はできていない。行動時間の区分を以下のように定義した。「実験中」は実験のスタートから終了までの時間を、「聞いている時」は携帯ラジオで音声情報を聞いている時間、「迷っている時」は歩いている時に迷っている時間、「歩行中」は目的地に向かって歩いている時間、「旅行中」は歩行中の時間に信号等で立ち止まる時間が含まれている時間である。

「実験中」に最も長い時間を要しているのがグループCの3,551秒、最も早く実験を終了しているのはグループAの1,766秒となっている。「歩行中」は最長がグループCの1,017秒、最短がグループAの569秒である。

また、被験者の移動速度について見ると、グループAの旅行速度は0.96m/sec、歩行速度0.97m/secであり、グループBの旅行速度は0.68m/sec、歩行速度0.70m/sec、グループCの旅行速度は0.51m/sec、歩行速度0.54m/secである。グループAは横断歩道通行者(1.0m/sec)に近い速度で移動していることがわかる。グループCの移動速度はかなり遅いが横断歩道通行者のおよそ半分で移動し目的地を達している。

歩行能力と環境認知能力の差によって「旅行中」「歩行中」の移動時間や「聞いている時」の認知地図を頭の中で構

表-8 行動時間割合(%)

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

築している時間にも差が見られた。歩行能力や環境認知能力が高い程、短時間で認知地図を構築して迷わずに短時間で目的地まで到着している。

表-8は「実験中」におけるグループ別の各行動時間の割合を示したものである。各グループとも全体に占める「歩行中」の割合は28~32%程度で共通していることがわかる。従って「聞いている時」と「迷っている時」を足し合わせた割合が各グループとも同じとなる。しかし、「聞いている時」と「迷っている時」の割合を見ると、グループAは他のグループに比べて「迷っている時」が小さくなっている。歩行能力が高いグループAは認知情報をしっかり聞いて認知地図を組み立て、僅かな迷いだけで目的地に到達している。一方、他のグループは案内情報のある程度しか聞かず、迷いながら歩行している。

(c) 生体情報

心拍は解析システムによって、10秒間隔で心拍数、エントロピー、低周波領域LF(Low Frequency 0.04~0.15Hz)、さらに高周波領域HF(High Frequency 0.15~0.40Hz)とLF/HFを求めることができる。

表-7に示すHF、LF/HFおよびエントロピーは次のような性質を持っている。HFの値の大きさは副交感神経(休息の神経)活動を反映し、LF/HFの値の大きさは交感神経(戦いの神経)活動を反映している。エントロピーは心拍の時系列計測データより計算することができ、パルス間隔がランダムな時にはその値が大であることを示す。従って、心拍のゆらぎが激しい時にはエントロピーが大となる。

表-7から「実験中」のHFとLF/HFの値は、すべての

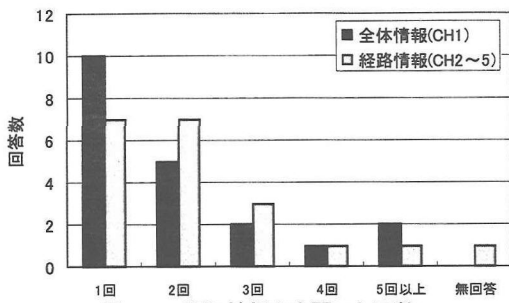


図-6 認知情報文を聞いた回数

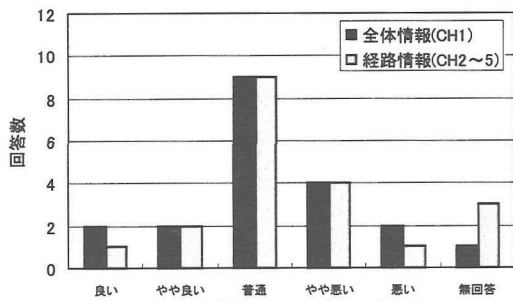


図-7 認知情報文のわかりやすさ

行動時間区分でグループ A, B, C の順に高くなり、「歩行中」と同じ傾向にあることがわかった。LF/HF を見ると、どの行動時間区分においてもグループ C が最も高く、グループ C の被験者は歩行時にかなり緊張していることがうかがえる。エントロピーについては各行動時間の区分ともに、グループ A, B, C の順に高い値から低い値へと変化している。従ってグループ A は心拍のゆらぎが大きく、一方グループ C は心拍が安定しゆらぎが少ないことがわかる。

脳波は脳波測定器により δ 波(1~4Hz), θ 波(4~8Hz), α 波(8~13Hz), β 波(13~30Hz)が得られる。この結果を表-7に示す。このうち、本研究では、脳がすっきりしてリラックスしている時に発生する脳波である α 波に着目した。なお、 α 波は値が大きくなればリラックスした状態である。

表-7から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、グループ A の脳波がすっきりし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。この結果、脳波においてもグループごとの特徴が表れていることがわかった。

(3) 認知情報文の評価

(a) 評価結果

実験に用いた認知情報文について、実験時間内に目的地へ到着できた被験者に対して聞き取りにより評価を聞いた。なお、実験時間の関係により 3 名の被験者は目的

地まで到着できなかったが、測点 4 までは到着していたので同様に評価を聞き、さらに測点 5 の情報文を聞かせて評価してもらった。評価の内容は、測点 1 から測点 5 までの 5 箇所それぞれについて全体情報である CH1 と、目的地にたどり着くのに必要であった経路情報の CH2~CH5 のいずれかについて、「情報文を何回聞いたか」「内容のわかりやすさ」「情報文の長さ」「情報の量」について 5 段階で評価してもらい、全体情報(CH1)と経路情報(CH2~CH5)ごとに各測点での評価を合計した。「情報文を聞いた回数」を図-6に、「内容のわかりやすさ」を図-7に示す。

「認知情報文を聞いた回数」では、全体情報(CH1)では「1 回」と回答した人が多く、回数が増えるにつれて回答数は減少している。このように、多くの人数が全体情報を 2 回程度聞くだけで目的地に近い経路情報を選択していることが明らかになった。また、経路情報(CH2~CH5)では、全体情報を聞いた回数に比べて「1 回」の回答数は少ないが「2 回」「3 回」の回答数では多くなっている。これは、全体情報で自分の目的地に関する情報の部分のみを聞いて直ぐに経路情報を聞いているためであり、経路情報では、実際に移動する経路を理解しながら聞いているために聞く回数が増加すると思われる。しかしながら、2 回聞くだけでほとんどの人が理解でき歩行していることがわかる。

「認知情報文のわかりやすさ」では、全体情報と経路情報ともに「普通」が多く、次いで「やや良い」となっている。また、経路情報では「良い」よりも「やや悪い」が多くなっているが、特に測点 1 と測点 2 の回答でこの傾向が強かった。これは、今回の実験ルートで測点 1~2 までにペDESTリアンデッキの上り下りがあり、移動経路が複雑であったことが起因していると思われる。このため、複雑な移動経路となる場合には装置の設置間隔を短くし、一度に提供する情報量を軽減する必要がある。

本研究で提唱した歩行案内システムでは、各 CH とも情報提供時間は最大で 1 分 45 秒以内であるので、被験者は各測点で約 5 分程度の情報文を聞いて理解することが可能で、行動へと移れることがわかった。

実験終了後には被験者から提供した認知情報と歩行案内システムに対して非常に高い評価を得ることができた。

(b) 空間認知

被験者 10 名全員に自由回答で普段の外出時に自分の周囲の空間を認知するのに必要な情報を場面ごとに聞き取りにより調査した。その結果を表-9に示す。この結果以外の意見として、普段は全ての場所で介添人と行動するという被験者が 1 名、普段は地下街には行かないという被験者が 2 名いた。

空間認知に必要な情報として、全ての場面で必要であるという意見があったのは、「音声情報」と「誘導ブロック」である。これは、普段から移動する際には音声情報や

表-9 空間認知に必要な情報(回答数)

建物内・建物周辺		交通機関	
建物の構造	6	音声情報	4
誘導ブロック	5	誘導ブロック	3
音声情報	2	案内図	3
側溝	2	人から聞く情報	1
人から聞く情報	1	行き先の情報	1
住宅街		手すり、柵	1
誘導ブロック	3	時刻表	1
音声情報	2	繁華街	
人から聞く情報	2	音声情報	4
表札・案内装置	1	誘導ブロック	2
道路と住宅の境界	1	案内図	2
地下街		建物の名称	1
音声情報	4	道路と住宅の境界	1
方角の情報	2		
誘導ブロック	2		

誘導ブロックを頼りに移動しているためであると思われる。建物内・建物周辺で建物の構造により判断するという回答が多いが、構造の変化を触感や足の感覚の変化で捉えて判断している。歩道を歩く際にも誘導ブロックや側溝等を捉えて把握し、舗装の変化も視覚障害者にとって重要な情報源であることがわかった。

煩雑な情報が飛び交う街中では、音声情報が聞き取りづらかったり、誘導ブロックの上に物が置かれていたりして機能していない場面が多い。視覚障害者にとっては頼りとなる情報源は少しでも多い事が求められる。視覚障害者は建物や舗装の材質の変化も情報源としても利用していることがわかった。

4. 誘導ブロックの無い経路による歩行実験(2)

(1) 歩行経路

認知情報を提供した場合に誘導ブロックが視覚障害者の移動速度に与える影響を把握するために誘導ブロックが敷設されていない経路での実験を行った。

平成12年7月に実施した豊田市の歩行案内実験と同様の歩行案内システムを用いて実験を行った。歩行実験は平成12年11月11日(木)(晴)に、図-8に示す名古屋市地下鉄伏見駅、5番出口をスタート地点、名古屋市科学館を目的地とする区間で行った。区間長は約440mである。歩行区間は歩車分離の歩道を歩行し、その間3本の道路を横断しなければならない。なお、信号交差点は1ヶ所で、歩道の沿道は銀行やオフィスビルが混在している名古屋市の繁華街である。測点1から測点5までは歩道上を移動し、測点5から目的地の名古屋市科学館までは白川公園内を移動する経路である。実験経路に沿う道路は国道19号で非常に自動車交通量の多い道路であるが交差側道路の自動車交通量は多くない。歩行者の通行量は多いが歩道が広く通行の邪魔となるようなことは生じな

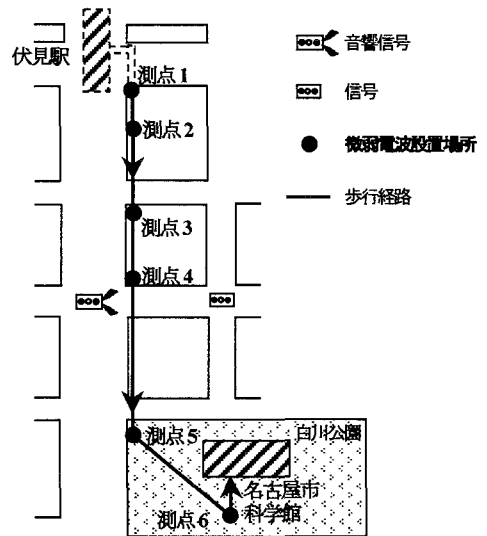


図-8 実験区間

った。全区間とも歩道の幅員は約8.0mで、誘導ブロックは敷設されておらず、白川公園内の歩行者通路にも誘導ブロックは敷設されていない。実験に参加した被験者は全盲の後天性視覚障害者の10名である。いずれの被験者も日頃白杖を用いて一人で外出することができるが、今回の実験経路は歩いたことがない。豊田市での実験(歩行実験(1))と同様にビデオを用いて被験者の行動を録画した。

(2) 行動時間

被験者の行動時間を表-10に示す。「実験中」に最も長い時間を要した被験者の時間は3,099秒であり、最も早く実験を終了した被験者の時間は2,006秒であった。最長と最短の被験者では1,093秒の差が見られた。

被験者の速度について見ると、被験者全員の平均旅行速度は0.74m/sec、平均歩行速度は0.78m/secである。旅行速度と歩行速度の差があまり見られなかったが、これは実験経路の横断歩道の青時間が赤時間に比べて非常に長いために信号待ち時間がほとんど無かったためである。

また、誘導ブロックの敷設されていた経路で行った豊田市での実験時(歩行実験(1))の行動時間を表-11に示す。被験者全員の平均旅行速度は0.69m/sec、平均歩行速度は0.71m/secである。これは、経路に誘導ブロックの無かった歩行実験(2)より遅い速度であるが、歩行実験(1)では高低差のある実験経路であったことを考慮すると、比較的早い速度であった。

歩行実験(1)より前に行った誘導ブロックが漸次的に設置された経路で行った実験¹⁾(平成8年実施)では平均旅行速度が0.41m/sec、平均歩行速度が0.45m/secであった。この後に認知情報の再構築を行って実施した実験が歩行実験(1)と歩行実験(2)である。的確な認知情報を提供することによって平均旅行速度と平均歩行速度が速くなり、

表-10 行動時間(歩行実験(2))

被験者 番号	実験中 (秒)	旅行中 (秒)	歩行中 (秒)	聞い ている時 (秒)	迷っ ている時 (秒)
1	2,443	560	560	1,483	400
2	3,099	544	544	1,861	694
3	2,338	633	511	1,080	625
4	2,688	579	579	1,351	358
5	2,488	592	592	915	981
6	2,500	596	558	1,333	571
7	2,449	619	619	1,292	538
8	2,772	549	549	1,476	702
9	2,006	684	619	1,115	207
10	2,546	595	528	1,502	449
平均	2,532.9	595.1	565.9	1,340.8	592.5
平均速度	—	0.74m/sec	0.78m/sec	—	—

表-11 行動時間(歩行実験(1))

グループ	実験中 (秒)	旅行中 (秒)	歩行中 (秒)	聞い ている時 (秒)	迷っ ている時 (秒)
A	1,765.8	572.5	568.5	1,083.3	110.0
B	2,545.7	804.0	791.3	1,218.3	523.3
C	3,550.7	1,071.3	1,017.0	1,900.3	579.0
全体平均	2,535.2	791.6	769.9	1,368.9	374.7
平均速度	—	0.69m/sec	0.71m/sec	—	—

誘導ブロックが敷設されていない経路と誘導ブロックが敷設されている経路の2箇所の実験経路においてもほぼ同等の速度での移動が可能となった。

5. おわりに

本研究では、初めての場所で外出した視覚障害者でも、安心して目的地に到着できるような社会環境の実現化のために、視覚障害者歩行案内システムを提案した。はじめに、認知情報文を構築するにあたり、歩行能力や外出経験によって分類された視覚障害者グループごとに理解可能なキーワードについて検討し、この結果を用いて認知情報文を構築した。続いて、実際の視覚障害者を被験者とした歩行案内システムの運用実験を行い、次いで認知情報文の有効性の評価を行った。さらに、歩行案内システムによって認知情報を与えた場合における、誘導ブロックが歩行挙動に及ぼす影響についても考察した。今回実施した2ヶ所の実験(歩行実験(1)・歩行実験(2))では実験終了後に被験者から歩行案内システムに対する高い評価を得られた。本研究で得られた主な知見をまとめる。

(1) キーワードの理解率に関する調査結果を用いて、クラスター分析によりキーワードを分類した。その結果、認知情報文として利用可能なキーワードと不可能なキーワードを明確にすることができた。日常会話で使われるキーワードや、道路の呼び方や形状に関するキーワードはすべての視覚障害者で理解され、認知情報文に利用できることがわかった。一方、歩行能力が低く

外出経験の少ないグループのキーワードに対する理解率は全般的に低いことがわかり、歩行技術や日常あまり使わないカタカナ言葉の使用は、避けた方がよいことがわかった。

- (2) 視覚障害者が必要とする認知情報の項目を明らかにし、全体から地点へと情報を連続的に提供する2段階の構成をとることによって、わかりやすい認知情報文の構築が可能となった。
- (3) 視覚障害者は建物の構造の変化や誘導ブロックや側溝等から舗装の変化を捉えて周囲の空間を把握していることがわかった。
- (4) 提供した認知情報文は全体情報では1回、経路情報では2〜3回程度聞くだけで理解できるものであり、各地点で約5分間の認知情報文を聞く時間が必要なだけであった。また、提供する情報内容も十分であった。
- (5) 複雑な移動経路の場合には経路情報の認知情報文も複雑になるため微弱電波発信装置の設置間隔を短くし、一度に提供する情報量を少なくする必要があることがわかった。
- (6) 日常の歩行に関する簡単なアンケートを行い数量化理論Ⅲ類による分析から、視覚障害者の歩行分類区分が可能となった。分類結果から、歩行能力や空間移動能力が高い程、認知地図を構築するのも早く、円滑に移動可能であることがわかった。また、歩行能力の高いグループは認知情報を十分に聞いてから行動に移るため、迷う時間も少なく移動時間も短くなった。
- (7) LF/HFの値から歩行能力によって緊張感の違いが確認でき、歩行能力の低いグループほど歩行時に緊張していることが確認できた。また、心拍数には個人差があり、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、エントロピーを用いることで、歩行挙動を解析するための良好な資料となりうるということがわかった。
- (8) 脳波によっても視覚障害者の特徴が把握でき、リラックス時に発生するα波によって被験者の心理状態を解析する資料となり得ることがわかった。
- (9) 的確な認知情報を用いた歩行案内システムにより案内された視覚障害者は異なる2箇所の実験経路においてもほぼ同等の歩行速度での移動が可能であった。

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。

最後に、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」および平成12年度文部省科学研究費補助金の補助を受けました。記して感謝します。

参考文献

- 厚生省大臣官房障害保健福祉部監修：日本の身体障害者・児，第一法規，pp.34-62，1999
- 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
- 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
- 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
- 北川博巳・三星昭宏・岡本英晃：車いすの利用者の外出意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
- 石倉麻志・杉恵頼・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回年次学術講演会講演概要集，第4部，pp.60-61，1997
- 杉恵頼・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，第18回交通工学研究発表会論文報告集，pp.233-236，1998
- 栗本譲・荻野弘・野田宏治・手塚二郎・神作博・溝端光雄：中小地方都市における高齢者の運転特性と交通計画上の課題，高齢化社会に向けての交通問題研究会，トヨタ財団助成研究報告書，pp.1-277，1986
- 新田保次・都君愛・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
- 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
- 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
- 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回年次学術講演会講演概要集，第4部，pp.68-69，1997
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 足立育子・深津千津子・小田浩一：音声表示による視覚障害者に適したマニュアル，第10回視覚障害者リハビリテーション研究発表大会論文集，pp.32-35，2001
- 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
- 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報告集，pp.237-240，1998
- 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報告集，pp.177-180，1999

視覚障害者の歩行案内システムにおける生体情報と認知情報に関する研究*

小倉俊臣**・野田宏治***・松本幸正****・栗本譲*****

本論文では，歩行途中で地図を構築するための歩行案内情報を提供する歩行案内システムを提唱し，豊田市内でそのシステムを用いた視覚障害者を被験者とする歩行実験を行った．実験では歩行時間や被験者の生体情報として心拍，脳波を計測した．また被験者の歩行に関するアンケート分析も行い，分析結果から被験者をグループ化し，提唱する歩行案内システムの誘導評価とグループごとに求めた生体情報の特徴を明らかにした．さらに，実験後に被験者に対して認知情報文についてのアンケートを実施し，内容の評価を行った．この結果，これまでに構築してきた認知情報文の有用性を示すことができた．

Physiological condition and cognitive information of the visually impaired walking with a route and destination guidance system *

By Toshiomi OGURA**・Koji NODA***・Yukimasa MATSUMOTO****・Yuzuru KURIMOTO*****

A walking guidance system with FM wave information was developed for the visually impaired people. Low powered transmitters are introduced to the system which is operated with a solar battery for sending information to portable radios. In order to evaluate this system, experiments were conducted by cooperation with the visually impaired. Their performance and physiological indices were observed during the experiments. A questionnaire about their background was also conducted and analyzed by HAYASHI-III so that subjects were divided into three groups. The objective physiologic indices were obtained though the experiment in order to measure their psychological condition. Besides, the information sent from the system was verified after the experiments. As a result, the information was ascertained to be effective for the visually impaired.