

高齢者・障害者を含むすべての歩行者を対象とした歩行空間アクセシビリティ情報提供システムの研究

矢入(江口) 郁子[†] 猪木 誠 二[†]

近年、歩行空間のバリアフリー化のための法制度や設備が国や自治体によって積極的に整備されているが、歩行空間すべてをバリアフリー化することは今後も困難であり、その代替手段としての移動支援への要望が高まっている。本論文は、移動支援の基盤となる歩行空間のアクセシビリティ情報を提供するシステム、歩行者支援 GIS に関する研究成果を紹介するものである。歩行者支援 GIS は、移動支援の専用端末にとどまらず、携帯電話などのインターネット接続可能な普及端末を用いる障害者・高齢者を含むすべての歩行者に、目的地や経路の選択に関わる大局的な歩行空間のバリア・バリアフリー情報を提供することを目指すシステムである。開発の難しさは、ビジネスとして成立・普及することを目指すために、ユーザの身体状況の違い・好みによって事物のバリア・バリアフリーの解釈が異なる点乗り越えて、可能な限り多くの歩行者の要求と現実的なデータの調査・蓄積方法の双方を満たす歩道ネットワークデータ構造の「ユニバーサルデザイン」を実現する点にあった。本論文では、ユニバーサルデザイン実現の考え方を示し、2カ所のプロトタイプ製作・評価実験・インターネット公開を通して、これまでにない新しい歩道ネットワークデータを提案する。

Geographic Information System for Pedestrian Navigation with Areas and Routes Accessibility

IKUKO EGUCHI-YAIRI[†] and SEIJI IGI[†]

This paper introduces the novel geographic information system (GIS) which provides the accessibility information of routes and areas for all pedestrians including the disabled and the elderly. We developed universal-designed route-network for all pedestrians' needs of accessibility information retrieval, and collected the data of barrier/barrier-free objects in Koganei City (a commuterland of Tokyo, approx. 12 square km) and Higashiyama area of Kyoto (a famous sightseeing area, approx. 2 square km) by exploring roads. These prototype systems are being released on our website, and have intelligent user interface which offers suitable routes to all pedestrians with different physical difficulties and preference. Our final goal is to publish the GIS development know-how as a guideline, to release software tools for developing and managing the GIS, and to propose the universal database as a Japanese standard.

1. はじめに

近年、歩行空間のバリアフリー化のための制度や設備が、国や自治体によって積極的に整備されている。しかし、歩行空間すべてをバリアフリー化することは今後も到底達成不可能であり、その代替手段として、歩行者を対象としたユビキタス ITS が注目を浴びている¹⁾。

移動は大きく分けて「自分の体を移動させる能力」と「道順を計画する能力」から構成される。自分の体を移動させる能力には、歩行面の凹凸や、移動可能な

開けた空間を知るなどの近傍の“空間認知”に関する能力と、足を動かし転倒することなく進むための“駆動”に関する能力がある。道順を計画する能力には、地図・案内板・アナウンスなどから情報を得る“情報の入手”に関する能力、そして目印を探し、自分がどこにいるか・どの方向を向いているかを知り、遠隔地の情報と統合して経路を選択するなどの、方向感覚・土地勘といった言葉に代表される“空間認知”に関する能力が必要である。

歩行空間が歩行者に提供するアクセシビリティ(歩行しやすさ・分かりやすさ・便利さなど)と、歩行者の空間認知・駆動・情報入手に関する能力とが適合すれば、歩行者は移動に肉体的・精神的な負担を感じずに済む。しかし特に高齢者・障害者の場合は、(1)視

[†] 独立行政法人情報通信研究機構
National Institute of Information and Communications
Technology

覚・聴覚・下肢駆動機能の障害によって、空間認知・駆動・情報入手に問題が生じること、(2) 現状の社会環境下において歩行空間が提供しうるアクセシビリティが高齢者・障害者の身体状況に十分配慮されていないこと、の二重の理由から移動が困難となってしまう。同様の理由で、高齢者・障害者だけでなく、健康な人や若い世代であっても、一時的に病人や怪我人となった場合、重い荷物を持っている場合、ベビーカーなどを押している場合など、身体状況が変化し、移動に必要な能力が影響を受けさえすれば、容易に移動が困難となる。また方向音痴と一般に呼ばれる人々も、空間認知に関する能力に問題があり、歩行空間の提供する“分かりやすさ”との不適合によって、移動に肉体的・精神的な負担をかかえているといえる。また空間認知能力が未発達の子供と、記憶が退行しがちな高齢者は個人差が大きいものの方向音痴になりやすく、行方不明など生命の危険にさらされる率も高い²⁾。方向音痴でもなく健康な若年層の人々であっても、夜間や未知の場所で不安な思いをし、情報入手の重要性を感じる経験を持つ。このように程度の差はあってもほぼすべての歩行者が、空間認知・駆動・情報入手の機能補助・強化による移動行動の支援のニーズを持っている。

移動支援についてはこれまで、赤外線通信を用いた音声案内による視覚障害者誘導システム^{3),4)} や、電子タグを用いた音声案内による白杖および車いす利用者誘導システム⁵⁾⁻⁷⁾、自律走行ロボットによる視覚障害者のナビゲーション^{8),9)}、センシング機能を持つ端末間の協調による高齢者・障害者移動支援システム¹⁰⁾ などの研究が行われてきた。しかしこれらの研究では、移動中のユーザに対し、ユーザ近傍の局所的なアクセシビリティ情報を提供することに主眼が置かれており、目的地や経路の選択に関わる大局的な歩行空間のアクセシビリティ情報の提供については議論が十分になされていない。

一方、歩行空間のアクセシビリティ情報を提供するシステムについては、これまで自治体やボランティアを中心に、車いすによる利用可能性や点字・手話対応を中心とした店舗や公共施設のバリアフリー情報が検索可能な電子地図が整備され、インターネット公開が進められてきた^{11),12)}。しかし、障害者・高齢者を含むすべての歩行者を対象としたユニバーサルデザインの電子地図、および多様な歩行者の身体状況に応じた最適な経路選択に関する歩行空間のアクセシビリティ情報提供は現状では実現されていない。

これらの状況を受けて筆者らは、障害者・高齢者を含むすべての歩行者を対象としたユニバーサルデザイン

であり、かつ施設だけでなく歩道も含めた歩行空間のアクセシビリティ情報提供を可能とする、これまでにない新しい歩行者ナビゲーション用 GIS (Geographic Information System) の実現を目指し、研究を行ってきた¹³⁾。本論文では、ユーザの身体状況の違い・好みによって事物のバリア・バリアフリーの解釈が異なる点を乗り越えて、可能なかぎり多くの歩行者の要求と現実的なデータの調査・蓄積方法の双方を満たす「歩道ネットワークデータ構造」の実現方法を提案する。具体的には、2章において、高齢者・障害者を含むすべての歩行者を対象に歩行空間のアクセシビリティ情報を提供する GIS の概要・特徴を述べ、全歩行者対応のユニバーサルデザインの属性を持つ歩道ネットワークデータ構造の実現が最重要課題であることを指摘する。そして3章では、歩道ネットワークデータ構造設計の考え方を、ユニバーサルデザイン対応を中心に論じる。4章では、小金井市全域と国分寺市の一部を含む約 12 km² の領域を対象に、実際に全歩道を調査し、データを収集して GIS プロトタイプを作成し、歩道ネットワークデータ構造を提案する。そして、24 人の被験者に対して行った、3 種類の地図・作成した GIS プロトタイプ・写真付き地図を見せて最適経路を選ぶ評価実験、およびインターネット公開を通しての評価結果を示す。5章では、4章の歩道ネットワークデータ構造を見なおし、清水寺、祇園などを含む約 2 km² を対象とした京都東山地区 GIS プロトタイプを作成し、新しい歩道ネットワークデータ構造を提案する。そして、10 人の車いすユーザに最適経路を提示し、実際に歩道を歩く評価実験、およびインターネット公開・実用化を通じた評価について述べる。そして最後に7章において結論を述べる。

2. 歩行空間アクセシビリティ情報提供システム

2.1 アクセシビリティの定義と分類

歩行空間のアクセシビリティとは、「歩行者がそこを通行する場合の肉体的・精神的負担の少なさ、および快適さ」を一般的に指す言葉である。また、バリアはアクセシビリティを阻害する事物を、バリアフリーはアクセシビリティを高める事物を一般に意味する。歩行空間のどの事物がバリア・バリアフリーとなるかは、歩行者個人の解釈に依存し、必ずしも一意には決まらない。本論文では、歩行空間の事物とアクセシビリティの関係を論じるにあたり、アクセシビリティを表1のように分類し、用語を定義する。

表 1 アクセシビリティの分類・定義

Table 1 Three kinds of accessibility and their definition.

歩行しやすさ	静物体・動物体との接触や衝突、転倒・転落などの危険性、歩行に要する労力が少ないなどの、移動時の歩行(車いすの場合は走行)そのものに関する肉体的・精神的負担の少なさおよび快適さ
分かりやすさ	日中・夜間・悪天候時に認識可能な目印や、駅や公共施設などの一目瞭然の施設があるかどうか、道順が複雑でなく覚えやすいかどうかなどの、移動中および移動前準備時の空間認知に関する肉体的・精神的負担の少なさおよび快適さ
便利さ	非常時に助けを求められる施設、車いすで利用可能なトイレなどを有する施設、誘導用の案内設備、疲労時に休める施設などの、移動中に起こる諸事象に役立つ施設や設備の有無に関する肉体的・精神的負担の少なさおよび快適さ

2.2 システムの概要と特徴

移動および移動準備時に、使用可能な施設・設備や通行困難な歩道などの地域のバリア・バリアフリー事物、およびユーザの身体状況や場面に合わせた最適経路を検索することができれば、視覚・聴覚・下肢駆動機能の低下した高齢者・障害者だけでなく健康な人であっても一時的に病気や怪我によって視覚・聴覚・下肢駆動機能が低下した場合や、重い荷物を持っている場合、ベビーカーなどを押している場合など、ほぼすべての歩行者にとって、移動の安全性や快適性、自由度が向上し、外出の機会が広がり、心理的・身体的な活性化が見込まれる。本論文では、健康者を含むほぼすべての歩行者に、歩行空間のアクセシビリティ情報を提供するシステムを歩行者支援 GIS (Geographic Information System) と呼び、提案する。

図 1 に歩行者支援 GIS の概要を示す。当 GIS は、電子地図を管理する電子地図サーバ、歩行空間のアクセシビリティに関するバリア・バリアフリー事物データを蓄積したアクセシビリティデータベースサーバ、インターネット公開サーバから構成される。ユーザは PC および携帯電話、PDA などのモバイル端末を用いて、自宅や外出先、移動中に当 GIS にアクセスし、最適経路や地域のバリア・バリアフリー事物の検索、ナビゲーションなどのサービスを利用する。また、管理者の権限を与えられたユーザが、工事などによって生じた蓄積データと実際の歩道との相違を発見した場合に、使用する端末からサーバのデータを改変することのできる仕組みを持つ。

提案する歩行者支援 GIS は以下の特徴を持つ。

- <特徴 1> 最短経路ではなく、歩行者の身体状況や場面を考慮した最適経路検索が可能である点
- <特徴 2> 目的地の選択などの移動計画のために、施設だけではなく、歩道のバリア・バリアフリー

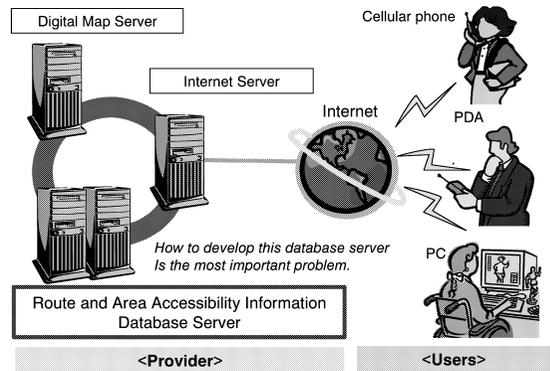


図 1 歩行者支援 GIS 概要

Fig. 1 Outlines of mobility support GIS.

事物までも検索可能である点

- <特徴 3> 障害者・高齢者だけではなく、健康者を含むほぼすべての歩行者を対象とした情報提供が可能なユニバーサルデザインである点

2.3 システム実現の課題

歩行者支援 GIS 実現の困難さは、最適経路検索や施設・歩道のバリア・バリアフリー事物検索サービスを、障害者・高齢者を含むほぼすべての歩行者に提供する「ユニバーサルデザイン」対応にある。この対応が困難となる理由は、歩行空間のどの事物がバリア・バリアフリーとなるかが、歩行者個人の解釈に依存し、必ずしも一意には決まらない点にある。具体的には、歩行者の障害の種類や程度などの身体状況の違いによって、歩行しやすさ・分かりやすさ・便利さを阻害もしくは高める原因となるバリア・バリアフリー事物は異なる。たとえば歩道橋は車いす利用者にとっては通行不可能なバリアと解釈されるが、重度の視覚障害者にとっては自動車と隔離されることでバリアフリーと解釈されるなど、解釈の逆転さえ起こりうる。さらに、移動における肉体的・精神的負担やその限界は、障害の種類や程度だけでなく、障害歴や性別・年齢・性格によっても差異があり、事物のバリア・バリアフリー解釈の多様性は大きい。そのため、たとえば、手動および電動車いす利用者には特化して情報提供を目指すといったように、対象ユーザを限定する場合には、蓄積すべきデータ属性への要求仕様は比較的単純となるが、対象ユーザを増やすに従って、要求仕様は複雑化する。

しかし、複雑化した要求仕様を満たすために、歩道や施設のすべての事物の記述をデータ属性として持つという解決方法をとることは非現実的である。「すべての事物」の定義を明確化することが困難であるため、それに加えて、GIS 整備対象地域のすべての歩道の調査を行い、データを収集する作業が実施可能であ

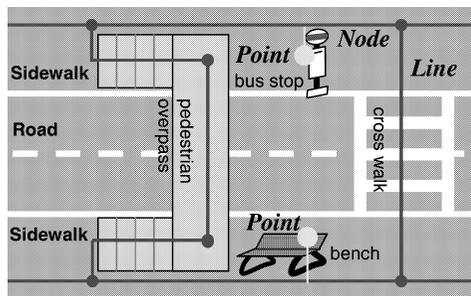


図 2 歩道ネットワーク概要図
Fig. 2 Route-network for mobility support GIS.

る必要があるからである．本論文では，GIS プロトタイプ制作を通して「バリア・バリアフリー事物の種類と記述の詳細さと，歩道調査方法との間のトレードオフがある点」を克服し，GIS に蓄積すべき施設・歩道のデータ属性のユニバーサルデザインを示す．

3. 歩道ネットワークデータ構造設計の考え方

3.1 歩道ネットワークの概要

本論文では，GIS エンジンに依存しない，概念レベルでの歩道ネットワークデータ構造と，そのユニバーサルデザインを提案することを目指す．図 2 に提案する歩道ネットワークの概要を示す．歩道ネットワークは，歩行者が通行可能な歩道を表すライン，ラインを継ぐ点としてのノード，ラインにリンクされるポイントから構成される．車道をはさんで両側に歩道がある道路だけでなく，車両が通行可能なすべての道路に対して，歩道を想定した 2 本のラインが整備される．またその歩道の間を横断する手段としての横断歩道や歩道橋，交差点にもラインがそれぞれ整備される．ラインは，歩道のバリア・バリアフリー事物に関する情報をデータ属性として持つ．ノードはラインを継ぐ点である．ノードは，各交差点に整備されるだけでなく，属性が異なるため同一ラインとして記述できない場所でラインを分割することにも用いられる．ノードは座標を持ち，2 つのノード間のベクトルとしてラインが定義される．ポイントは，位置情報が必要な，施設などのバリア・バリアフリー事物に関する情報をデータ属性として持つ．近傍のラインにリンクされ，経路情報の検索にも用いられる．

3.2 バリア・バリアフリー事物と歩道ネットワーク

各種歩行者のバリア・バリアフリー事物の解釈状況を調べるため，14 人の障害者・高齢者，および 7 人の健常者に，路上への同行も含めてヒアリングを実施した¹³⁾．その結果得られた，障害者・高齢者を含むすべての歩行者にとって共通のバリア・バリアフリー事

表 2 歩行者共通および障害者特有のバリア・バリアフリー事物
Table 2 Barrier/barrier-free objects for all pedestrians.

歩 行 し や す さ	<p><全歩行者共通>：舗装の種類/階段，エスカレータ，動く歩道などの歩行面の種類/歩道幅/坂の傾斜/路肩の状況（蓋なし側溝など）/照明・屋根などの設備/鉄道・車道の横断歩道と信号機などの設備/歩道と車道の分離状況（境界の有無，境界の構成）/歩道と自転車専用道の分離状況（境界の有無，境界の構成）<視覚 1>：遊歩道・歩道橋・全面ガードレール付きなど自動車から隔離されている歩道/混雑してはならないが無人ではない歩道/歩道の中央部や空中など予想外の場所にあり，白杖で検出しにくい障害物（車止め・看板・街路樹など）/白杖がはまる可能性のある隙間や溝（グレーチングなど）<視覚 2>：歩道の中央部など予想外の場所にあり背景との色差がなく見分けにくい障害物（段差・凹凸・車止め・看板など）/夜間照明時に背景との色差がなく見分けにくい障害物（段差・凹凸・車止め・看板など）<視覚 3>：日中は健常者と同様，夜間は視覚 2 と同様<聴覚 1>：一方通行（自動車が背面からくる場合）/自動車の交通量/自転車の交通量<聴覚 2><聴覚 3>とも健常者と同様<下肢 1>：車椅子通行不可能な歩道幅/他交通とのずれ違いが不可能な歩道幅/歩道幅を狭める物体（街路樹，電柱などの固定のもの，および駐車・駐輪・ごみ集積所など一時的なもの）/歩道の左右方向の傾斜/歩道の始終端点の段差・傾斜/自動車出入口用の切り下げ傾斜・幅/舗装の凹凸/車輪がはまる可能性のある隙間や溝（グレーチングなど）/人混み/工事/車椅子用スロープ/車いす用リフト/<下肢 2>：手すりやガードレールなどつかまれたり体をもちかえて休める歩道設置物/他交通を気にせず自分のペースで歩ける歩道幅・人混み</p>
分 か り や す さ	<p><全歩行者共通>：大型店舗・広域展開チェーン系店舗・銀行などの施設/大型もしくは様式が特徴的な建築物/国道・県道などの幹線道路/公共交通機関の駅・路線沿い<視覚 1>：点字ブロック/環境音（鉄道，信号機，店舗，児童施設など）/匂い（店舗，植物など）/舗装の種類/歩道設置物（ガードレール，街路樹，橋脚など）/歩道の始終端点の段差・傾斜・車止め<視覚 2>：建築物，看板，歩道上設置物（街路樹，郵便ポスト，誘導用点字ブロックなど）のうち彩度・明度の高いもの<視覚 3>：日中は健常者と同様，夜間は視覚 2 と同様<聴覚 1><聴覚 2><聴覚 3>とも健常者と同様<下肢 1>：健常者と同様<下肢 2>：健常者と同様</p>
便 利 さ	<p><全歩行者共通>：休憩用施設（公衆トイレ，ベンチなど）/情報入手用施設（交番，案内所，案内版など）<視覚 1>：情報入手用施設・設備の点字対応・有人対応/音声放送<視覚 2>：視覚 1 と同様<視覚 3>：日中は健常者と同様，夜間は視覚 2 と同様<聴覚 1>><聴覚 2>>情報入手用施設・設備の手話・筆談対応/文字放送，店舗や観光等娯楽施設の手話・筆談対応<聴覚 3>：健常者と同様<下肢 1>：トイレ・休憩用施設・店舗や観光等娯楽施設・バス・情報入手施設の車いす対応<下肢 2>：休憩用施設/店舗や観光等娯楽施設内の休憩所/洋式トイレ</p>

物，障害者特有のバリア・バリアフリー事物を分類し，表 2 に示す．視覚障害者では，解釈の違いから，(1) 白杖の利用が必須である全盲・光覚・手動弁・指数弁などの重度障害者（視覚 1），(2) 文字視認識不可能な弱視者（視覚 2），(3) 文字視認識可能な弱視者（視覚 3），の 3 つのグループに分けられることが分かった．聴覚障害者についても，解釈の違いから，(1) 補聴器を使

用しても環境音の聞き取りが不可能(聴覚1), (2) 補聴器を使用しても会話の聞き取りが不可能(聴覚2), (3) 会話の聞き取りが可能(聴覚3), の3つのグループに分けられることが分かった。下肢駆動機能障害者のバリア・バリアフリーとなる事物の解釈は, 電動・手動車いす, 杖など, 使用する器具のサイズや機能の限界, 使用履歴および障害の程度に応じて分散が大きいことが分かった。表2では, 使用する器具の性質から, (1) 車いす使用者(下肢1), (2) 杖使用者(下肢2)に大分類して示した。

表2の「歩行しやすさ」に分類されたバリア・バリアフリー事物は, 歩道の表面の状態や, 歩道と車道の関係, 自転車・自動車などの他交通との関係である。これらの事物は歩行空間上に帯状に分布しており, ラインの属性として記述されることが妥当である。また, 「分かりやすさ」・「便利さ」に分類されるバリア・バリアフリー事物は, 国道・県道などの幹線道路, 公共交通機関の駅・路線沿い, 重度障害者(視覚1)のあげた舗装の種類, 歩道設置物(ガードレール, 街路樹, 橋脚など), 歩道の始末端点の段差・傾斜・車止めを例外として除けば, 歩行空間上に点として遍在し, 歩道上のどこに存在するかの位置情報が重要な事物であり, ポイントとして整備されることが妥当である。また, ポイントの記述対象から例外として外された事物については「歩行しやすさ」に示された事物との共通部分もあり, かつ歩行空間上に帯状に分布することから, ラインの属性として記述されることが妥当である。

3.3 ラインのデータ属性記述方法と調査実施方法

既存のバリアフリーマップでは, すべての歩行者を対象としたユニバーサルデザインの観点から, アクセシビリティの「歩行しやすさ」に関連したライン属性が検討された例はない^{(11), (12)}。そこで本論文では, 歩行しやすさに関するラインの属性の設定を中心に歩道ネットワークのユニバーサルデザインの検討を行う。ラインのデータ属性としての「歩行しやすさ」の記述の考え方には以下の2種類がある。

A. 歩行空間構成オブジェクトの記述

バリア・バリアフリー事物に関連する歩道上の物体の物理量・種類などを記述する方法である。たとえば歩道の傾斜・幅・厚, 切下げの幅と最大斜度, 歩車道境界の形態, 歩車道境界に存在するガードレール・街路樹などの物体, 車線数などを記述する。メリットは, 「これらの事物ごとの歩行しやすさに関するアクセシビリティ評価をユーザが検索要求時に入力するため, ユーザの多様な要求に自由度高く対応できる点」と, 「物体の存在, 種類, 形態を記述するため, 障害とア

クセシビリティに関する知識がなくてもデータの収集が可能である点」である。デメリットは, 「物体とその記述の詳細さと, 現実的な調査方法との間にトレードオフがある点」である。

B. アクセシビリティの解釈の記述

調査者がバリア・バリアフリー事物の関係をデータ収集時に解釈し, 歩道の「歩行しやすさ」を記述する方法である。たとえば, 電動車いす・高齢者などの対象ユーザグループとそのアクセシビリティ評価基準を作り, 「電動車いす歩行不可能」, 「高齢者快適な歩行」などの評価結果がデータ属性となる。メリットは, 「物体の詳細な記述をすることなく, 歩行しやすさを表現可能である点」と, 「障害者や高齢者自身が実体験を持ちよってデータの収集が可能である点」である。デメリットは, 「データ収集にアクセシビリティの高度な知識を要する点」と, 「データに調査者の主観が入る可能性が高い点」, 「ユーザの多様な検索要求への対応の自由度が限定される点」である。

AとBの方法の融合によってラインの属性のユーザの多様な検索要求への細やかな対応と, 現実的な調査方法のための物体の記述の簡略化の双方を実現することが重要である。そこで筆者らは, 前述のAの方法を中心に, ユーザ数の少ないグループの要望の一部に, Bを用いたりポイントとして整備したりするなどして, 記述すべき物体の種類とその記述の詳細さを抑える方針を採用した。具体的には, 自動車の交通量/自転車の交通量/人の交通量/歩道幅を狭める物体(街路樹, 電柱などの固定のもの, および駐車・駐輪・ごみ集積所など一時的なもの), については調査の時間帯の記述とともに, 交通量や物体の多さに関する解釈の記述を行うBの方法を用いることとした。また, 歩道の中央部や空中など予想外の場所にあり白杖で検出しにくい障害物(車止め・看板・街路樹など)/歩道の中央部など予想外の場所にあり背景との色差がなく見分けにくい障害物(段差・凹凸・車止め・看板など)/夜間照明時に背景との色差がなく見分けにくい障害物(段差・凹凸・車止め・看板など)/手すりやガードレールなどつかまれたり体をもたれかけて休める歩道設置物/工事などの存在する頻度の少ないものについては, ポイントによる記述を用いた。

その他のラインの属性として記述すべきバリア・バリアフリー事物については, Aの方針を用い, 国土交通省の「歩道における段差及び勾配等に関する基準」(1999年)などの歩道設計のガイドラインを参考に, 歩道を構成する物体の種類の選定, 物理量の離散化を行った。具体的には, たとえば歩道幅であれば「(1)

0 cm (歩行不可能, 歩道なし), (2) ~ 100 cm (車いす走行困難), (3) ~ 160 cm (車いす走行可能, 他交通とのすれちがい困難), (4) 160 cm 以上 (車いす快適走行)」、歩道の縦断傾斜は「(1) ~ 5% (車いす快適走行), (2) ~ 8% (車いす走行困難), (3) 8%以上 (車いす転倒)」, 歩道と車道の分離状況に関しては、「(1) 区分 (あり, なし), (2) 白線 (あり, なし), (3) ブロック (あり, なし), (4) ガードレール (あり, なし), (5) ポール (あり, なし), (6) パーキングメータ (あり, なし), (7) 植込み・街路樹 (あり, なし), (8) 電柱 (あり, なし), (9) 電灯 (あり, なし), (10) 最大開口幅 (1. ~ 1 m, 2. ~ 2.5 m, 3. ~ 4 m, 4. 4 m 以上), (11) 歩道厚 (1. ~ 2 cm, 2. ~ 5 cm, 3. ~ 15 cm, 4. 15 cm 以上), (12) 切下げ = 自動車乗り入れ口 (あり, なし), (13) 切下げ傾斜縦断方向 (数値), (14) 切下げ傾斜横断方向 (数値)」といった属性を設定した。

4. 小金井市版 GIS プロトタイプ作成

筆者らは提案した歩道ネットワークデータ構造のユニバーサルデザインについて、東京都小金井市全域および JR 国分寺駅北口付近 (国分寺市) を含む約 12 km² の地域を対象に、実際に歩道の調査によるデータ収集を実施し、GIS に実装し、インターネット公開を含めた評価を試みた。具体的には、(1) 歩道ネットワークデータのデータ収集における問題点、(2) 実装上の問題点、(3) データ属性の問題点、について評価を行った。

4.1 歩道調査によるデータ収集

対象地域の私道を除く全道路を調査し、データを収集した。作業には約 80 人日を要した。調査を行ったのは、高齢者・障害者のアクセシビリティに関する高度の知識を持たない主婦や技術者であった。

調査員は調査時に、街区をもとに全道路に自動的に 2 本のラインが引かれ、線と線が交差する点にノードが置かれ、ノードに番号が割り振られた地図を印刷して携帯した。ラインは 2 つのノード番号から管理された。調査員は、あらかじめ街区情報から自動生成されたラインについてその属性を調査するだけではなく、属性が変化する場合にライン上にノードを追加し、ラインを分割することも行う。交差点に自動的に置かれたノードとラインについては、実際には歩行者が横断できない場合もあるので、車線数や交通量に基づいた調査員の判断によって削除されるようにした。また、交差点付近に横断歩道が確認された場合には横断歩道を優先して案内すべきであるので、該当交差のノード

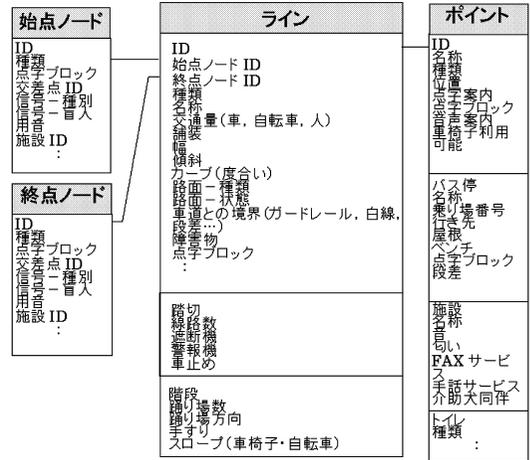


図 3 小金井版データ構造概要
Fig. 3 Data structure of KoganeiGIS prototype.

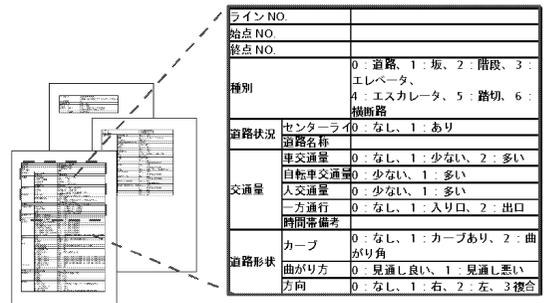


図 4 現場調査用記入シート抜粋
Fig. 4 Excerpt from checklist for on-site data collection.

とラインは調査時の車道の交通量にかかわらず削除され、横断歩道のある場所に新たにノードとラインが整備されるようにした。

図 3 に小金井版プロトタイプ作成に用いた歩道ネットワークデータ構造の概要を示す。ラインとラインを継ぐノード部分が歩道の始終端点となることが多く、始終端点に信号や段差、急な切下げなどのバリアが頻発するため、始点および終点ノードにこれらの属性を定義することで 2~4 ラインで始終端点情報を共有し、データ量を節約することにした。ポイントについては、インターネット公開の際に利用者の役に立つ、公共施設・情報提供施設・休憩施設に関するデータ整備を目指した。

調査は図 4 に示す調査用紙に 1 ラインごとの属性を書き込む方式で実施された。図 4 の拡大部分に「交通量」「道路形状」など調査者の判断が必要な項目がある。車・自転車・人の交通量については、対象エリア内の鉄道駅付近や国道付近、大規模店舗付近の状況

を目安に基準を作り使用した。

調査を行った結果、(1) 始終端点に頻発する信号や段差、急な切下げなどに関する属性をノードに定義し、2~4 ラインで情報を共有させたが、実際にはラインごとに属性が異なる場合もあるため、ノードにこれらの属性を持たせるべきではないこと、(2) 調査時に調査票の記入にとまどうなど、属性に関する用語の定義のあいまいさ、調査マニュアルの不備があること、(3) 人通りの少ない一般住宅街での調査時に、地元住民に不信がられ、心理的に負担となること、が問題となった。(1) に関しては、実際に実装時にはラインの属性とすることで回避した。(2) については調査員と問題を具体的に協議し、その結果を調査票と調査マニュアルに反映した。(3) については、調査に自治体や住民を巻き込んだり、周知して理解を得たりするなどの活動が将来課題として必要であろう。

4.2 システムの実装

地図制作専門の CAD オペレータが、CAD を用いて、電子地図を背景にライン、ノード、ポイントのマッピングを行った。具体的には、調査員が調査時に携帯し、ノード・ラインの追加や削除、ポイントの位置・番号指定を書き込んだ紙の地図と、調査員が CSV 形式で電子化した収集データをもとに、電子地図にライン・ノード・ポイントを書き込み、収集データをリンクさせ、位置座標を持った歩道ネットワークデータを生成し、使用する GIS エンジン、InetMap 向けのデータフォーマットに変換し、データベースに格納した。ラインは 9,150 本、ポイントは 1,416 個、データベースに格納した状態での歩道ネットワークデータの容量は約 25 Mbyte であった。

マッピング作業を行った結果、(1) 調査員による紙の地図への書き込みをもとにしたポイントやノード位置の再現が困難であること、(2) 調査員が書き込みを行った紙の地図と電子化された収集データとの間に、番号の間違いやデータの欠損などの齟齬があることがマッピング作業で初めて判明すること、が問題となった。(1)、(2) の回避のためには、調査者がデータの電子化だけでなく、マッピング作業まで実施することが望ましいことが分かった。地図制作専門の CAD オペレータでなくてもマッピング作業を可能とするデータ整備システムの制作が将来の課題である。

整備した歩道ネットワークデータを評価するために、市販の GIS エンジン (InetMap) をカスタマイズし、バリア・バリアフリー事物検索インタフェース、および最適経路検索機能とそのインタフェースを実装した。図 5 に検索パラメータ設定インタフェース画面を示



図 5 検索パラメータ設定インタフェース

Fig. 5 A GUI window for accessibility parameter setting.

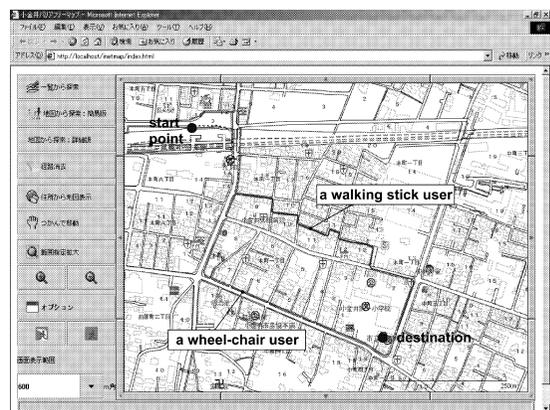


図 6 最適経路検索画面例

Fig. 6 Examples of the suitable route retrieval.

す。画面上部は、ユーザがライン属性のどの項目をアクセシビリティ評価に用いるかどうかを設定する部分で、図中では「ライン種別を評価する」よう、チェックボタンが選択されている。画面右下は、ライン種別ごとの通りやすさを設定する部分である。図中では坂、階段、エレベータに「通りにくい」を選択している。画面左下は、通りやすさの重み付けを設定する部分である。図中では、「通しやすい」、「普通」、「通りにくい」、「通れない」の 4 段階のそれぞれについて、快適さの指数 (普通を「1」、通れないを「0」とした点数付け)、歩行時の時速が設定されている。

このようにデータの各属性とその項目についての重みがユーザ個人ごとに設定された最適経路検索パラメータを用い、ダイクストラ法¹⁴⁾を適用して、最適経路が検索される。図 6 に、電動車いす使用者と杖使用者について、筆者らがヒアリング結果をもとに一般的なユーザを想定して作成した検索パラメータを用い

た検索結果を示す。杖使用者は踏切を避け、歩道橋を利用して線路を越える。そして、人混みと一方通行を避け、住宅街を通り、目的地へ向う。電動車いす使用者は、踏切を渡り商店街を抜け、ガードレールが設置され歩道車道区分が明確な歩道を通り、目的地へ向う。

4.3 評価実験とインターネットによる公開

作成された GIS プロトタイプに蓄積された歩道ネットワークデータが、多様な身体状況を持つ歩行者の要求を満たすことを評価する実験を行った。実験には、脊椎カリエスや脊髄損傷、パーキンソン病など多様な原因による下肢駆動機能障害者、ろうや難聴などの聴覚障害者、視野欠損や片目失明など弱視の視覚障害者、合計 24 人（20 代～70 代）が参加した。実験手順の概要を以下に示す。

- (1) 国土地理院発行の 2,500 分の 1 の白地図（道路幅が忠実に再現）による最適経路選択
- (2) 国土地理院発行の 10,000 分の 1 の地勢図（町名・番地名、公共施設名、商業地区、等高線などの情報が追加）による最適経路選択
- (3) 8,000 分の 1 の市販の都市地図（道路名称、信号、交差点名、店舗の情報が（2）に追加。ただし、道路幅はデフォルメ）による最適経路選択
- (4) 作成した GIS プロトタイプに蓄積されている歩道ネットワークデータの属性をインタラクティブに見ながらの最適経路選択
- (5) 図 7 に示すインターフェースを用いて、経路の写真を見ながらの最適経路選択

実験は、PC 上に地図や GIS の蓄積情報、写真を表示し、被験者が行った PC の操作と発話、インタビューとの対話のすべてをビデオに記録する方法で行われた。手順（1）～（3）は、被験者が日常生活で意識・無意識のうちに利用しているバリア・バリアフリー事物の解釈を臆することなく自発的に発話し、かつ PC の操作、画面に慣れるための準備である。被験者は、提示された地図が経路選択に十分か、地図に足りない情報は何かを指摘し、限られた情報をもとに最適と感じる経路を選択し、画面に書き込む。手順（4）は提案した歩道ネットワークデータ属性評価のための実験である。被験者は、調査によって収集され GIS に蓄積された属性を閲覧し、不足するデータ属性を指摘し、被験者が最適と感じる経路を選択する。また、手順（1）～（4）では、経路選択に不足するデータ属性をユーザに指摘してもらう。手順（5）は写真から読み取れる情報の中で、提案した歩道ネットワークデータ属性にはないものを評価するための実験である。

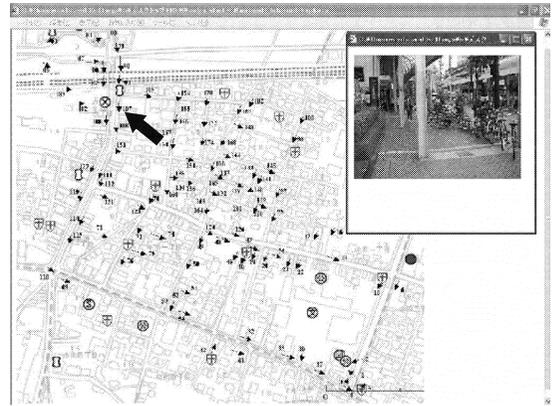


図 7 経路写真提示画面例

Fig. 7 Interface for showing pictures which was used in the experiment.

実験の結果、手順（4）の最適経路選択において GIS に不足しているとしてあげられた項目は、「工事、事故、天候などの動的な情報」、「観光・ショッピングなどの娯楽情報」、「店舗、商業施設内のトイレ・休憩所情報」といった、ポイントとして整備すべきデータ属性であった。本論文で検討を行った歩行しやすさに関連するラインとして整備すべきデータ属性に関しては、不足とされるものはなく、全被験者の要求を満たすことが分かった。手順（5）では、すべての被験者が GIS で現地の写真が閲覧できることに好意的であった。手順（4）と（5）で、同じ経路を選択した被験者は 24 人中 16 人であった。異なった経路を選択した 8 人の理由の内訳は、「視力の限界から写真を見ながら経路を選択できなかった」（弱視者 1 人）、「写真を見て分かりやすそうな目印があったから」（健康者とほぼ同じアクセシビリティの解釈の難聴 1 人）、「写真に偶然写った人や自転車、自動車を見て、人通りがあるので良い、自転車や車を避けたいなどの理由から」（弱視 1 人、車いす・杖利用者 5 人）である。「人、自転車、自動車」を重要視する被験者ほど、手順（4）で提示した蓄積データよりも、手順（5）の写真から読み取れる情報を重要視し経路を変更する傾向が分かった。写真を GIS のデータとして使用する場合に十分検討されるべき課題である。また、小金井市版 GIS プロトタイプは 2003 年 5 月よりインターネット公開され、新聞、雑誌などで報道され注目を集めた¹⁵⁾。

5. 京都東山地区版 GIS プロトタイプの作成

小金井版のプロトタイプ作成および評価によって指摘された問題点・要望をもとに改良を行い、京都市東山地区の一部、清水寺、知恩院、高台寺、祇園、四条、

白川などの人気の観光スポットを数多く含む約 2 km² のエリアの歩道ネットワークを整備し、GIS プロトタイプを作成した。そして、歩道調査によるデータ収集方法・マッピング作業による実装も含めて、改めて提案する歩道ネットワークデータ構造のユニバーサルデザインが実用に則していることを評価する、

5.1 データ収集と実装

小金井版の歩道調査作業やデータ整備作業、および被験者実験で指摘された問題点・要望をもとに以下の改良を行った。

< 改良点 >

- ・ 図 3 中のノード属性を 4.1 節に述べた理由からラインに移行。
- ・ 調査のしやすさの観点から、属性に用いる用語・分類を見直し。
- ・ 3.2 節で触れながら未対応だった「分かりやすさ」についての国道・県道などの幹線道路沿い、公共交通機関の駅・路線沿いなどの地域属性を追加。既存の地図から読み取れる属性のため地図を利用して整備。
- ・ データの質の向上のため、調査・データの電子化・マッピングを同一人物が担当。
- ・ ポイント情報に閲覧用写真を可能なかぎり整備。
- ・ 地下街、地上、ベダストリアンデッキ、建物内部などの階層構造を表現するための属性を追加。

改良して作成したデータ構造の概要を図 8 に示す。対象地域の私道を除く全道路を調査し、データを収集した。作業には約 40 人日を要した。小金井版と比較して対象地域の面積が 6 分の 1 であるのに対し、作業量が 2 分の 1 にしかなかった。その理由には、整備されたラインの本数が小金井版は 9,150 本であるのに対し、京都版は 4,882 本であったことから明らかで、京都東山地区の街区の細かさがある。また、調査を CAD オペレータに依頼することで、調査・収集データの電子化・マッピングの一連の作業は同一人物によって実施し、4.1 節で指摘された問題の対処を行った。特殊技能を持たない一般の人々に調査・収集データの電子化・マッピングの一連の作業を実施してもらうための仕組みは今後の課題である。また、京都東山地区では、観光地という土地の特性からか、地元住民に不信がられ、心理的に負担となるというトラブルは報告されなかった。

整備した歩道ネットワークデータを評価するために、小金井版と同様の市販の GIS エンジンのカスタマイズしたインタフェースを実装した。図 9 に、京阪電鉄三条駅から知恩院までの最適経路を「電動車いす」

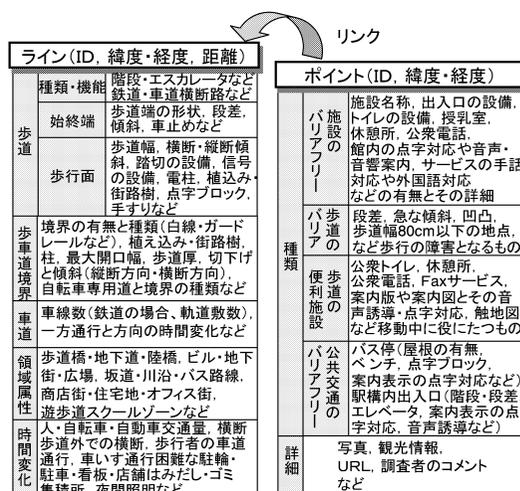


図 8 京都改良版データ構造概要

Fig. 8 Refined data structure of Kyoto GIS prototype.

「全盲」「ベビーカー」「健常者夜間」など、筆者らが各種歩行者にヒアリングした結果をもとに一般的なユーザを想定して作成した身体状況別の検索パラメータを用いて検索した結果例を、図 10 にバリア・バリアフリー事物を検索し、八坂神社の施設情報を表示した例を示す。

5.2 評価実験

作成した京都版 GIS プロトタイプが、移動困難な歩行者の支援に役立つことを評価する実験を行った。被験者の内訳は、電動車いす利用者 7 人、手動車いす利用者 3 人の計 10 人であった。実験は京都東山区の祇園周辺、図 11 に示す和順会館をスタート地点、白川南通を折り返し地点とし、往路は作成したプロトタイプによって検索された車いす利用者向けの最適経路(距離、約 825 m)、復路は健常者向けの最短経路(距離、約 575 m)を、実際に被験者に走行してもらう方式で実施された。対象領域内からこの経路が選択された理由は、困難はともなうが、健常者向けの最短経路も走行不可能ではないこと、そして実験中の安全およびトイレなどの休憩施設の確保が保証されることからである。実験では、(1) 往路の車いす利用者向けの最適経路を走行する過程、(2) 復路の健常者向けの最短経路を走行する過程、(3) 走行終了後、システムにふれる過程で、被験者ごとに自由発話の聞き取り調査を行い、以下の項目について評価した。

項目 1: 最適経路検索機能の有効性

項目 2: データ未整備のバリア・バリアフリー事物の指摘

項目 3: 最適経路検索パラメータ設定の妥当性



図 9 京都東山観光地版プロトタイプ、最適経路の検索結果例

Fig. 9 Examples of suitable routes search of Kyoto GIS prototype.



図 10 京都観光地版プロトタイプ、バリア・バリアフリー事物の検索例

Fig. 10 An example of barrier-free object search of Kyoto GIS prototype.

その結果、項目 1 については、9 人が「有効かつ必要」と回答した。「有効だが不必要」と評価した 1 人は、その理由を「普段から移動のための事前準備の必要性がないため」と回答した。項目 2 に関しては、往路（最適経路）・復路（最短経路）ともに共通の、和順

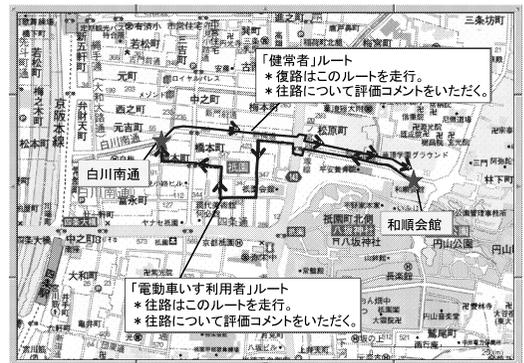


図 11 京都版被験者実験ルート

Fig. 11 A route for walking with wheel-chair users in the experiment.

会館と大通りの信号の区間の坂、石畳、スロープを、すべての被験者が通りにくいバリアと回答するなど、被験者の身体状況および好みによってバリア事物の指摘がなされたが、データとして未整備の事物の指摘は皆無であった。項目 3 については、すべての被験者が「最適経路のほうが人通りが少なく通りやすくはあるが、最短経路のほうが好き」と答えた。その理由とし

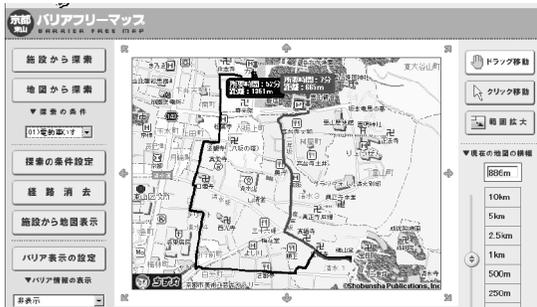


図 12 実用化された歩行者支援 GIS 閲覧システム
Fig. 12 Released GIS webcasting tool.

では、「最適経路は裏通りで雰囲気が悪い」、「迂回が多いので迷う」、「観光地なのだから表通りを通りたい」という意見があげられた。観光地という特性を生かした最適経路の検索，分かりやすい経路の検索の開発は今後の重要な課題である。

5.3 社会からの反響

作成された京都東山版プロトタイプは、「京都東山地区観光地バリア・バリアフリーマップ（略称：京都BFM）」として2003年12月にインターネット公開を開始した¹⁶⁾。その結果，各種新聞・ラジオ・テレビなどで報道されるなど，好評を博した。また，インターネット公開の成果を受け，2004年11月，歩行者支援GIS作成のためのインターネット公開用のデータ閲覧システム（図12）と，データ入力システム（図13）の2システムが実用化された。図12は筆者らが収集した京都BFMのデータを，実用化システムを用いて実装し，健常者と電動車いす利用者の清水寺から高台寺までの最適経路を検索した例である。また，図13のデータ入力システムは，CADに関する特殊技能を持たない一般の人々にもマッピング作業を可能とすることで，歩行者支援GIS整備・メンテナンスのコストを下げ，GIS導入の可能性を広げるシステムである。

6. おわりに

本論文では，高齢者・障害者をはじめとするすべての歩行者に，歩行空間のアクセシビリティ情報を提供する歩行者支援GISについて，歩行者ネットワークデータのライン属性のユニバーサルデザインを提案した。そして，2件のプロトタイプ製作と評価実験・インターネット公開を通して，歩行者ネットワークデータ収集のための歩道調査方法，実装方法，サービス提供に関する統合的な評価を行った。その結果，提案した歩道ネットワークデータの有効性・実用性を確認した。今後は，重度視覚障害を持つユーザへの対応も含めて，すべてのユーザが快適にサービスを利用するための検

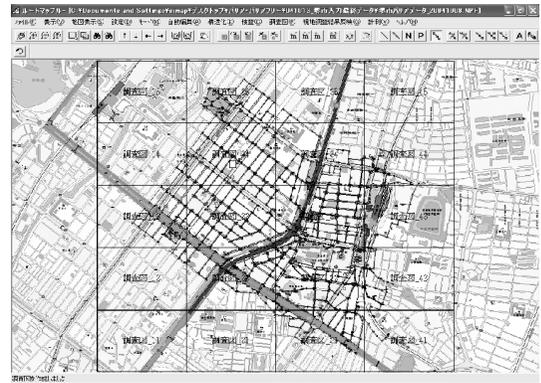


図 13 実用化された歩行者支援 GIS データ入力システム
Fig. 13 Released GIS development tool.

索インタフェースのユニバーサルデザイン，歩行しやすさ・分かりやすさ・便利さを考慮した最適経路検索アルゴリズム，携帯端末・環境監視端末との連携によるGISデータ更新などに関する研究を行う予定である。

謝辞 研究・開発にご協力くださった(株)TG情報ネットワークの吉岡裕氏，小松正典氏(株)昭文社の永尾一彦氏，鶴岡安信氏(株)UFJ総合研究所の柏野聡彦氏，村井佐知子女史に感謝します。また，被験者としてご協力くださった皆様に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 矢入(江口)郁子：歩行者ITS—情報通信技術を駆使した移動支援への新展開，ヒューマンインタフェース学会誌，Vol.7, No.1, pp.27-32 (2005).
- 2) 村越 真：方向オンチの謎がわかる本，集英社(2003).
- 3) 畠山卓朗，萩原史朗，伊藤啓二，大久保紘彦，春日正男：赤外線音声情報案内システム．ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol.3, No.3, pp.163-170 (2001).
- 4) 小山慎哉，矢入(江口)郁子，猪木誠二，西村拓一：赤外線音声通信と低電力小型端末による歩行者支援の移動支援，日本赤外線学会誌，Vol.13, No.2, pp.71-80 (2004).
- 5) 後藤浩一，松原 広，深澤紀子，水上直樹：駅環境における携帯端末を用いた視覚障害者向け情報提供システム，情報処理学会論文誌，Vol.44, No.12 (2003).
- 6) 村上満佳子，立石敏隆，井村誠孝，安室喜弘，黒田知宏，眞鍋佳嗣，千原國宏：視覚障害者のための状況推定を導入した電子白杖の構築，システム制御情報学会論文誌，Vol.16, No.6, pp.287-294 (2003).
- 7) 国土交通省，自律的移動支援プロジェクト．
<http://www.jiritsu-project.jp/>

- 8) 小谷信司, 清弘智昭, 森 英雄: 視覚障害者のための歩行ガイドロボットの開発, 映像情報メディア学会誌, Vol.51, No.6, pp.878-885 (1997).
- 9) Shoval, S., Ulrich, I. and Borenstein, J.: Nav-Belt and the GuideCane, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, Vol.10, No.1, pp.9-20 (2003).
- 10) 矢入(江口)郁子, 猪木誠二: 高齢者・障害者の自立的移動を支援する Robotic Communication Terminals (1), 人工知能学会誌, Vol.16, No.1, pp.139-142 (2001).
- 11) みちなびとよた全国バリアフリー情報.
<http://www.michinavitoyota.jp/junc06.html>
- 12) 内閣府, 都道府県・指定都市バリアフリーマップ等ホームページ一覧.
<http://www8.cao.go.jp/souki/barrier-free/link/bfmapken.html>
- 13) 矢入(江口)郁子, 吉岡 裕, 小松正典, 猪木誠二: 歩行者支援 GIS のための歩行空間アクセシビリティ情報の蓄積と評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.5, No.4, pp.17-23 (2003).
- 14) Dijkstra, E.: A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*, 1, pp.269-271 (1959).
- 15) 小金井バリア・バリアフリーマップ.
<http://bfms.nict.go.jp/koganei/>
- 16) 京都バリア・バリアフリーマップ.
<http://bfms.nict.go.jp/kyoto/>

(平成 17 年 4 月 4 日受付)

(平成 17 年 10 月 11 日採録)



矢入(江口)郁子(正会員)

1994 年 3 月東京大学工学部卒業.
1996 年 3 月東京大学大学院修士課程修了.
1999 年 3 月同大学院博士課程修了.
1999 年 4 月郵政省通信総合研究所に研究官として入所(2004 年 4 月より名称が独立行政法人情報通信研究機構に変更).
2003 年より主任研究員. 入所から現在まで, 高齢者・障害者の自立的移動を支援する RCT プロジェクトを実質的なリーダーとして推進.
江口は旧姓. 1997 年 4 月~1999 年 3 月日本学術振興会特別研究員.
ヒューマンインタフェース学会第 5 回学術奨励賞(2004 年度), 人工知能学会第 15 回全国大会優秀賞(2001 年度)などを受賞.
AI 学会近未来チャレンジで全国大会 5 回連続サバイバルを初めて達成(2004 年度).
ヒューマンインタフェース学会, 人工知能学会, ACM 各会員. 博士(工学).



猪木 誠二

1973 年 3 月名古屋工業大学工学部卒業.
1975 年 3 月名古屋工業大学大学院修士課程修了.
1975 年 4 月郵政省電波研究所に入所(2004 年 4 月より名称が独立行政法人情報通信研究機構に変更).
以来, 電離圏, 太陽の研究に従事.
1990 年太陽電波研究室長, 1995 年ユニバーサル端末研究室長, 2001 年ユニバーサル端末グループリーダー.
2005 年けいはんな情報通信融合研究センター長.
障害者用インターフェースの研究等に従事.
電子情報通信学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM 各会員. 博士(工学).