

ランドマークの視認性に基づいた動的な案内地図作成

中澤 啓介^{†1,†2} 北 望^{†1} 高木 健士^{†1}
井上 智雄^{†3} 重野 寛^{†1,†2} 岡田 謙一^{†1,†2}

歩行者 ITS では歩行者の移動を支援するため、デフォルメ地図の作成や最適な経路選択方法など歩行者にとって分かりやすい地図を作成するための研究が様々な面から行われてきた。しかし既存の研究では地図の見やすさ・分かりやすさは考慮されているが、実際の歩行者の環境までは考慮されていない。歩行者は地図を見て移動するが、歩行者をとりまく実際の環境は時刻や天気、周囲の状況によって動的に変化するため、地図の見やすさだけでなく、実際の歩行者環境を考慮して案内地図を作成することが重要となる。そこで本論文では、案内地図の重要な要素であるランドマークの視認性に着目し、ランドマークの視認性を定量化するための評価モデルを作成する。そして、定量化した視認性のスコアが高いランドマークを中心に経路探索を行うことで、動的に歩行者環境に適應できる案内地図の作成手法を提案する。評価実験より、本提案手法では移動経路長は長くなるものの、誤り回数、経路決定までの判断時間ともに低減され、ランドマークの視認性を取り入れた案内地図の有効性を示すことができた。

A Dynamic Map Based on Landmark's Visibility

KEISUKE NAKAZAWA,^{†1,†2} NOZOMU KITA,^{†1} KENJI TAKAGI,^{†1}
TOMOO INOUE,^{†3} HIROSHI SHIGENO^{†1,†2} and KENICHI OKADA^{†1,†2}

Various researches for pedestrian ITS which make easy-to-follow map for pedestrians, such as deformation map and optimal route search have been carried out. In previous researches, the viewability of the guidance map is considered, however the environment surrounding the pedestrian is not considered. The environment surrounding the pedestrian changes dynamically according to time and weather, therefore not only the viewability of the guidance map but also the environment surrounding the pedestrian must be considered when preparing a guidance map. In this paper we focus on the visibility of important landmarks contained in the guidance map, and created an evaluation model to quantify the visibility of the landmarks. We propose a guidance map preparation method which dynamically accommodates to the environment of the pedestrian by carrying out route searching based on high scored landmarks. Through results of evaluation experiments, we showed the effectiveness of using visibility of landmarks, since, though the route length of guidance increases compared to previous methods, the misjudgment and time to make judgments decreases.

1. はじめに

歩行者 ITS では位置検出や経路案内、地域情報などの提供がなされており、道に迷わないための工夫や提供される情報の分かりやすさを向上させるための研究

がなされている。中でも案内地図は歩行者が移動する際に空間を理解するための有効な手段であり、案内地図に関する研究は様々な視点から行われている¹⁾。地図の内容や表現の違いが空間認知に与える影響について検討し、ナビゲーションでは個人の空間的能力が大きく影響することも示されている²⁾。我々がどのように空間を記憶し、理解しているのか、そしてそれがどのように人間の行動に影響を与えているのかは、地図を作成・利用するうえで重要な要素である。

歩行者の行動に影響を与える要因として交差点形状や、建物、看板、標識など様々な景観情報があり、目から得られる情報が移動に大きな影響を与えている。人は道路の形状・目印となる建物などを手がかりに移

†1 慶應義塾大学大学院理工学研究科開放科学専攻

School of Science for Open and Environmental Systems,
Graduate School of Science and Technology, Keio University

†2 独立行政法人科学技術振興機構

Japan Science and Technology Agency, CREST

†3 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科

Graduate School of Library, Information and Media
Studied, University of Tsukuba

動するため、その道路や建物が人の視点からどのように把握されているのかを考えることが重要である。

そこで本論文では歩行者のスムーズな移動を支援するため、ランドマークの視認性を定量化し、案内地図作成を行った。ランドマークは歩行者が自身の位置と地図上の位置とを対応付けるために用いられ、移動する際の重要な手がかりとなる。現在案内地図上で利用されているランドマークは地図作成者の主観で選んだものがほとんどだが、そのランドマークが本当に適しているのかは分からない。また歩行者環境は時間的に変化するものであり、たとえば昼には分かりやすいランドマークだった建物が、夜には目立たなくなってしまうこともある。そこで歩行者が移動の際にランドマークをどのようにとらえているのか、どのようなランドマークがすぐに目に付き、認知しやすいのかについて歩行者環境を考慮して検討し、ランドマークの視認性についての評価モデル式を作成した。そしてこの評価モデル式から視認性の高いランドマークを利用した案内地図を作成することで、実際の移動の際にランドマークが見つからないといった不安感を解消し、間違いなくスムーズな移動を行えるものと考えた。

本論文では2章において本論文の背景と関連研究を、3章においてランドマークの視認性の定量化について説明し、4章でランドマークの視認性をういた案内地図作成を、5章で本提案の有用性の評価について述べる。

2. 関連研究

従来のナビゲーションシステムは出発地から目的地までの経路探索を行い、簡略地図や案内文の生成を行っている^{3),4)}。一般地図は多量の情報が併記されているため、詳細な地図情報から道案内に必要な情報だけを取り出して再構成することで作成された略地図は経路の間違いを減少させることが可能である。既存の略地図はランドマークや道路の構成などのみを考慮して作成されているため、実際に地図を携帯して歩行しなくてはならない。Kwokら⁵⁾は地図は移動を開始する前の「事前情報」であり、実際の歩行時に参照することは歩行中の注意力の欠落などの観点から極力減らす必要があるとしている。そこで地図の覚えやすさに関して評価実験を行い、視認性に優れた地図の作成を試みている。これらの研究は理解しやすい地図作成に重点が置かれているため、歩行者が迷わない道案内という観点では案内地図を生成していない。本論文では地図自体の視認性ではなく、実空間で人がどのようにランドマークを認知しているのかに着目している。Kwok

らの研究では確かに地図の記憶特性は高まるが、実空間での移動が効率的になるかどうかは疑問が残る。ランドマークの視認性を考慮することは、実空間を理解する手がかりとなり、スムーズな移動が可能となる。本研究のように空間認知の観点から道案内を行っている研究で、杉山ら⁶⁾は歩行者が迷う要因の中から交差点の形状に注目し、歩行者がどのような交差点で進路変更に不安を感じるのかを調査した。調査結果から進路変更の角度、他の道路との交差角度、道路幅の変化に注目し、経路上の各交差点で案内が必要となる割合、すなわち案内の必要度を推定して、案内必要度に応じて案内を生成する道案内システムを実現している。また藤井らは実験から外界に存在する目標物がナビゲーションに与える影響を調べ、その結果目標物の探索には外観や高さといった視覚的に利用しやすい3次元情報が有効であることを確認している⁷⁾。本研究ではこのことから、ランドマークとして認知しやすい建物の視認性を定量化することで、実際の移動に有効な案内地図が作成できると考えた。

3. ランドマークの視認性

本章ではランドマークの視認性を決定する各要因の概要について述べ、各要因から評価モデル式を作成するための定量化方法について説明する。

3.1 ランドマークの視認性の要因

人は移動をする際、外界に存在する様々な情報を利用する。この外界からの情報をうまく利用することで、自分の位置を正確に認知し、目的地までの移動をスムーズに行うことができる。地図上の位置と実際の位置を対応付けるために用いられる情報として、人は建物や看板などのランドマークをよく利用する。たとえば他人に道を教えるつもりで案内地図を描くと、交差点・分岐点ごとに目印となりそうな建物を記すことで相手の移動を支援しようとする。道路や建物など地図を構成する要素を人が位置関係や距離感など自分の中の内的な認知地図と照らし合わせて地図上に表現するため、人が描く地図は正確な一般図ではなく、道路の長さや建物の位置や大きさなどがデフォルメされた地図となる。ランドマークはこの人の内的な認知地図を構成する重要な要素であり、地図上の位置と実際の位置を対応付けるための有効な情報である。ランドマークを上手に利用することでスムーズに移動を行うことができる。

本論文ではこのランドマークの視認性に着目した。ユーザから見たランドマークの視認性を定量化し、出発地から目的地まで歩行者目線で分かりやすいランド

マークを利用する利点としては以下の3点があげられる。

- 視認性の高いランドマークが経路上に存在するので、それを目印とすることで経路の誤りが減る。
- 分岐点ごとに目立つランドマークを配置することで、経路選択の判断時間が短縮される。
- 地図上の位置と実際の位置との対応付けが容易となり、移動による不安感が解消される。

ランドマークの視認性を決定する要因として3つの要因に着目した。

- 種類別要因
- 視対象要因
- 環境要因

以下それぞれの要因についての概要とその決定方法について述べていき、これら3つの要因からランドマークの視認性の評価モデル式を作成する。

3.2 種類別要因

種類別要因とは地図上に表示されるランドマークで、人が認知しやすいランドマークの種類を表したものである。案内地図を作成する際、何をランドマークとするかは人それぞれである。たとえば歩行者が土地勘のある地域では、一部の人にしか分からないような店や建物もランドマークとして利用される。土地勘がない人のために案内地図を描く場合、ランドマークとして提示する情報は、一部の人にしか分からない建物よりも、誰にとっても分かりやすいコンビニエンスストアやデパートといった一目でそれが何か認知できるものを選ぶべきである。藤井ら⁸⁾はランドマークに利用されている分類表現を案内図・案内文から分析している⁷⁾。そしてその分類に従って、案内地図の構成要素を抽出している。

そこでこの種類別要因を定量化するために、藤井らの分類に従ってランドマークの出現頻度を調べた。案内地図はweb、雑誌からランダムに100サンプル集め、表示されているランドマークの種類別の出現頻度を表1にまとめた。以下、本論文では O_i は地図上に表示されたランドマークを表すものとする。サンプルとして集めた案内地図は他人に目的地までの道順を伝えるために作成されたものであり、よってそこに示されている出現頻度の高いランドマークは、人が分かりやすいと感じる種類のランドマークだと考えられる。この出現頻度から種類別要因のスコアを決定する。最大のランドマーク出現頻度 A_{max} で、各ランドマークの出現頻度 $A_{att}(O_i)$ を正規化した値をそのランドマークの種類別要因のスコア $V_{att}(O_i)$ とする。

表1 種類別の出現頻度(一部)

Table 1 Example of Frequency of landmark's appearance.

種類	出現頻度 $A_{att}(O_i)$	種類別要因 $V_{att}(O_i)$
教育施設	0.08	0.53
コンビニ	0.15	1.0
公共施設	0.06	0.40
商店	0.07	0.47
飲食店	0.08	0.53
銀行	0.12	0.80

3.3 視対象要因

視対象要因とは視対象の物理的要因であり、視対象の大きさ、形状といった視対象の空間的要素と、静止しているのか動いているのかという時間的な要素とがある⁹⁾。ここで、歩行者は遠くのランドマークを見る場合は周囲のランドマークに比べて高いランドマークの方が目に付くと考えられる一方、近くのランドマークを見る場合は、高いランドマークよりむしろ幅が広いランドマークの方が、視野に多く入るために目に付くと考えられる。また、ランドマークの高さのデータを地図から得ることは難しいため、本提案では地図から判断可能であるランドマークの幅を利用する。そのため、視対象要因のスコア $V_{size}(O_i)$ は各ランドマークの幅 $S(O_i)$ をその地域で最大のランドマークの幅 S_{max} で正規化した値とする。ここで、たとえば長方形の形をした建物では、ある角度からは広く見え、またある角度からは狭く見えてしまうという問題が発生する。そこで本提案では、ランドマークが接するすべての道路に対して視対象要因のスコアを算出し、複数のスコアを保持することで対処する。こうすることで見る角度によるランドマークの幅の違いに対応することが可能となる。

3.4 環境要因

環境要因とは、人口照明、採光、空間の大きさなど、空間の状態を決定する物理的要因である。これらは時間的に安定したものとして取り扱える場合と、時間的変動の考慮が必要な場合とがある⁹⁾。本論文ではこの環境要因として、ランドマークが接する道路幅と、時刻による明暗の変化を考える。

3.4.1 道路幅による影響

ランドマークの周辺環境として、ランドマークが接する道路幅は広い方が視界が開けていてランドマークを認知しやすい。たとえば細い小道では視野が狭くなってしまい周囲の様子が分からないが、大道路の交差点のような場所では周囲を見渡すことができ認知しやすい。そこで接する道路幅が広いほど視認性が高いものとする。

本論文では各ランドマークが接する道路幅を $R(O_i)$

とし、案内地図内で最大の道路幅 R_{max} で正規化した値をそのランドマークの道路幅による視認性のスコア $V_{width}(O_i)$ とする。

3.4.2 明暗による影響

歩行者の環境は基本的に屋外であるため、朝、昼、夜と時刻とともに周囲の明暗は変化しており、それともなってランドマークの見え方も変わってくる。昼は目立っていたものが、夜の暗い環境ではまったく目立たない、逆に昼は目立っていなかったが夜ライトアップされることで目立つということがある。夜間の店舗照明が歩行者に与える影響を調べた研究として、小林はライトアップされている店舗の印象と歩行者の注視行動に着目している¹⁰⁾。

本論文では昼と夜でランドマークの視認性がどの程度変化するかを調べるために予備実験を行った。被験者にはある同一ランドマークに対して昼と夜にそれぞれ撮影した2種類の写真を見比べてもらい、昼に比べて夜がどの程度目立っているかを7段階で評価してもらった。評価尺度は-3:まったく目立たない、~, 3:とても目立つとし、写真は種類別要因のスコアが高いランドマーク30個から得た30サンプルを利用した。被験者数は12人である。

表2に30サンプル中の9サンプルについて各被験者の視認性の評価値の平均値と標準偏差を示す。コンビニエンスストアのように夜にライトアップされるランドマークは正の評価値であるため夜の視認性が上がっており、逆に学校のように夜にライトアップされないランドマークは評価値が負で視認性が下がっている。また同じライトアップされているランドマークでも周囲の環境によって視認性が異なっている。駅前のような明るい場所に存在するランドマークはライトアップされても視認性は大きくは上昇せず、逆に住宅地のように周囲が暗い環境に存在するランドマークはライトアップされることによって大きく視認性が上昇している。また、図1は30サンプルの分布をまとめたものである。

明暗による視認性のスコア $V_{light}(O_i, t)$ は各集団の平均値から表3のようにまとめることができる。ここで、本提案ではランドマークがまったく目立たない場合、つまり評価値が【-3】の場合、視認性が1/2倍になり、とても目立つ場合、つまり評価値が【3】の場合は視認性が2倍になると仮定した。この仮定に基づき、4つのパターンに分類した分布を示す図1から分類ごとに平均値を出し、さらにそれぞれの値を1/2~2の範囲に変換した。変換の際の計算式は、評価値を x とおいた場合に以下の式で定義される。

表2 明暗による影響の実験結果(一部)

Table 2 Experimental result of influence by light.

種類	視認性	標準偏差
教育施設	-2.4	0.73
コンビニ	2.3	0.75
公共施設	-2.1	0.85
商店	0.12	1.5
飲食店	2.4	0.89
銀行	-1.1	0.43
駅	0.63	0.69
マンション	-1.1	1.1
公園	-1.6	0.86

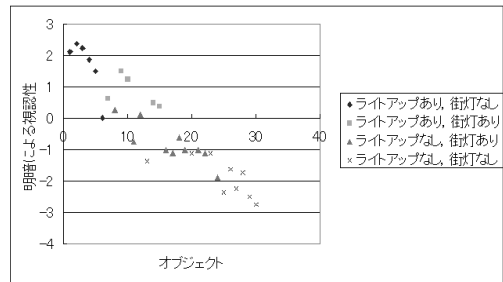


図1 明暗による影響の実験結果の分布

Fig. 1 Distribution of experimental result.

表3 環境要因による分類

Table 3 Classification of environment factor.

	自身のライトアップあり	自身のライトアップなし
周辺環境(明るい)	1.3	0.8
周辺環境(暗い)	1.5	0.6

$$V_{light}(O_i, t) = 2^{x/3} \tag{1}$$

こうして得られたスコアは、たとえば表3の自身のライトアップがあり、かつ周囲のライトアップがない場合、夜のランドマークの視認性が昼の1.5倍となることを示す。

また、 $V_{light}(O_i, t)$ が時刻 t を指数にとるのは、時刻によってランドマークの状態が変化するためである。この例として店舗の営業時間による開店・閉店の状態の変化があげられる。本提案では、閉店時はランドマークがライトアップされ、閉店時はライトアップされない想定したため、営業時間によって開店・閉店の条件が変わることで、ランドマークの「自身のライトアップあり/なし」の条件が変化する。その結果として、表3で示した分類上での変更が発生するため $V_{light}(O_i, t)$ のスコアが変化する。

道路幅による視認性のスコア $V_{width}(O_i)$ と明暗に

よる視認性のスコア $V_{light}(O_i, t)$ を用いて、環境要因による視認性のスコア $V_{env}(O_i, t)$ を以下のように定義する。

$$V_{env}(O_i, t) = V_{width}(O_i) + V_{light}(O_i, t) \quad (2)$$

ここで $V_{env}(O_i, t)$ が時刻 t の関数となるのは、 $V_{light}(O_i, t)$ が時刻により変化するためである。

3.5 ランドマークの視認性の評価モデル式

ランドマークの視認性について、種類別要因、視対象要因、環境要因の3つの要因をあげた。この3つの要因から視認性を定量化するための評価式を作成する。本論文ではランドマークの視認性のスコア $V(O_i)$ を以下のように表現する。

$$V(O_i) = \{W_{att} \times V_{att}(O_i) + W_{size} \times V_{size}(O_i)\} \times V_{env}(O_i(t)) \quad (3)$$

ここで $V_{att}(O_i)$ は種類別要因、 $V_{size}(O_i)$ は視対象要因、 $V_{env}(O_i(t))$ は環境要因である。 W_{att} は種類別要因の重み係数、 W_{size} は視対象要因の重み係数である。各重み係数は、人にとって認知しやすいランドマークがサイズが大きいものなのか、それともサイズが小さくても出現頻度が高いものなのかを重み付けするために用いる。

種類別要因 $V_{att}(O_i)$ と視対象要因 $V_{size}(O_i)$ はそれぞれ独立性の高いものであるとし、重み係数を用いて線形結合した。環境要因 $V_{env}(O_i(t))$ は種類別要因 $V_{att}(O_i)$ と視対象要因 $V_{size}(O_i)$ と従属関係があるとした。これはサイズが大きくてライトアップされれば視認性はその分上昇するうえ、建物として認知されやすい種類のものがライトアップされればさらに認知度が上がるためである。

3.6 種類別要因 $V_{att}(O_i)$ と視対象要因 $V_{size}(O_i)$ の重み係数の決定

種類別要因 $V_{att}(O_i)$ と視対象要因 $V_{size}(O_i)$ はそれぞれ独立なものであるが、人がランドマークを認知するとき、どちらの要素を重視するのかがけっして1:1の関係ではない。サイズが小さくても目立つものもあれば、サイズが大きいのに目立たない場合もある。ランドマークの視認性のスコアを決定するにあたり、両者の重み係数を決定することは重要である。そこで予備実験により重み係数を決定する。

3.6.1 実験方法

本実験は種類別要因 $V_{att}(O_i)$ と視対象要因 $V_{size}(O_i)$ 、両者の重み係数を決定することを目的としている。実験方法としては、被験者にあるランドマークの写真を見てもらい、主観的に視認性を評価してもらい手法をとった。写真を利用したのは、実際の環境で被験者12人が同一の条件の下実験を行うのは

表4 重み係数決定の実験結果(一部)

Table 4 Experimental result of coefficient determination.

種類	種類別要因 $V_{att}(O_i)$	視対象要因 $V_{size}(O_i)$	環境要因 $V_{env}(O_i, t)$	評価値
教育施設	0.53	0.90	1.3	4.6
コンビニ	1.0	0.41	1.3	5.8
公共施設	0.40	0.77	0.83	2.4
商店	0.47	0.30	0.60	0.80
飲食店	0.53	0.53	2.0	5.8
銀行	0.80	0.43	1.3	4.7
駅	0.48	0.69	1.8	5.6
マンション	0.49	0.79	1.4	4.0

難しいと考えたためである。評価尺度は【-3:まったく目立たない】から【3:とても目立つ】の7段階とした。各ランドマークは属性として種類別要因 $V_{att}(O_i)$ のスコアと視対象要因 $V_{size}(O_i)$ のスコアを持っている。写真は種類別要因 $V_{att}(O_i)$ のスコアが高いランドマーク30個から得た30サンプルを利用した。被験者数は12人である。ここで、ランドマークの写真は極力建物に正対するように撮影することで撮影者の主観が入らないよう考慮したが、実際に被験者がその場に行った場合とは結果が異なる可能性があることに注意する必要がある。

3.6.2 実験結果

実験結果を表4に示す。表4は30サンプル中の8サンプルについて、3つの要因のスコアと、実験結果である視認性のスコアを示したものである。ここで種類別要因 $V_{att}(O_i)$ と視対象要因 $V_{size}(O_i)$ は互いに独立であると仮定し、この2つの属性を変数とした重回帰分析を行うことで、重み係数の値を決定する。その結果 $W_{att} = 3.6$ 、 $W_{size} = 1.9$ となり、ランドマークの視認性は種類別要因の方が重視される傾向があった。これらの値を重み係数として評価モデル式に利用する。

4. 案内地図作成

前章での提案に基づき、案内地図作成システムを実装した。本システムはランドマークの視認性に基づき目的地までの案内地図を作成するものである。

4.1 システム概要

あらかじめデータベースに登録してあるランドマークは、属性情報に基づき本提案による評価モデル式を用いて視認性のスコアを計算する。そしてユーザが発地と目的地を入力することで、その時刻における視認性の高いランドマークを考慮した経路が決定され、ユーザに提供される。

4.2 ランドマークの属性

本システムのデータベースに登録されるランドマークの属性について説明する．種類別要因はコンビニエンスストアや銀行といった種類情報を，視対象要因は歩行者から見た各建物幅を，環境要因は時刻によるライトアップのあり/なしと周辺環境の明暗，そのランドマークが接する道路幅をそれぞれ保持する．視対象要因では同じ建物でも見る角度によって見え方は変わってくるので，属性としてその建物が接している各道路から見た建物幅をそれぞれ持たせる．

環境要因ではライトアップのあり/なしに加え，そのランドマークの営業時間も属性として持たせる．これは店舗開店時と閉店時とでは「自身のライトアップあり/なし」の条件が変化し，それに従って表3における分類上での変更が起きるため， $V_{light}(O_i, t)$ のスコアが変わるからである．ランドマークの周辺環境の明暗では，そのランドマークが夜でも明るく照らされる環境に存在するのか，もしくは住宅街のように暗い環境に存在するのかを登録しておく．

これら3つの要因の各属性から，評価式により視認性のスコアを計算する．

4.3 ランドマークの視認性を重視した経路探索

本システムでは，ランドマークの視認性のスコアを利用して出発地から目的地までの経路探索を行う．基本となるアルゴリズムは局所探索法であり，出発点に隣接するノードから中継地点を探索し，その中継地点に隣接するノードから再び中継地点を探索することで再帰的に経路を決定する．本手法では交差点が中間地点のノードであり，また各ランドマークは自身の位置から最も近いノードに属するものとする．本手法による経路探索アルゴリズムを以下に示す．

- (1) 出発地 (start) と目的地 (goal) を入力する．また再帰的検索の準備として sub start に start を代入する．
- (2) start と goal を両対角とする矩形を構成し，これを focus と定義する (図2)．
- (3) focus 内の sub start ノードに接するノード群の中で，最も視認性のスコアが大きいランドマークが属するノードを relay point とする．
- (4) relay point を sub start とする．
- (5) 行程 (2) から (4) を再帰的に繰り返す．

4.4 時刻による経路の変化

本システムで提供する案内地図は時刻によって変化する．これはランドマークの営業時間や周囲の環境要因によって視認性が変化するためで，同じ出発地と目的地を入力したとしても，時刻によって提示される経

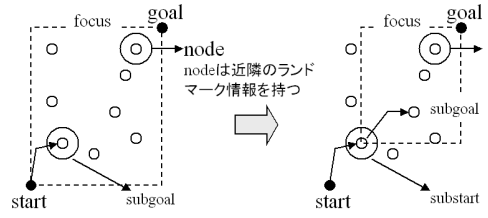


図2 ルーティングの手順
Fig.2 Routing algorithm.

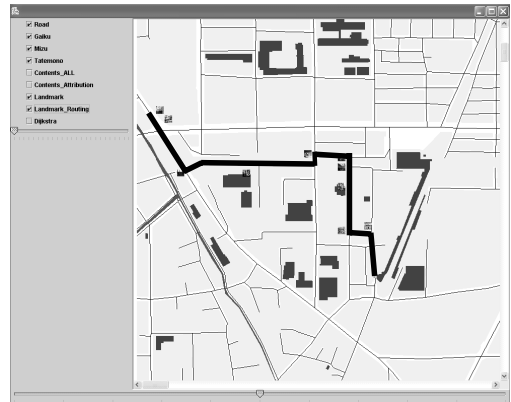


図3 14:00 の案内地図
Fig.3 Guide map at 14:00.



図4 20:00 の案内地図
Fig.4 Guide map at 20:00.

路は変化する．本システムを利用し，異なる時刻を指定して作成した地図を用いて比較を行う (図3, 図4)．図3は14時の駅周辺の地図である．太線で示したものが，この時刻における出発地 (駅前) から目的地 (病院) までの視認性を考慮した経路である．図4は20時の駅周辺の地図である．図3と比較すると，時刻が変わったことで経路が変化したことが分かる．これは，今回の例においては選択されたランドマークが銀行から商業ビルに変わったからである．このように，昼は

大きなランドマークや分かりやすい種類のランドマークが存在する経路を選択し、夜は明るい環境にあるランドマークや営業中のランドマークが存在する経路を選択するため、結果として歩行者が認知しやすい経路を提示することができる。このため歩行者が不安感なく移動することを支援できるようになる。

5. 評価実験

本実験の目的はランドマークの視認性を考慮して作成した案内地図を用いることで既存の案内地図に比べてどの程度迷いなく、間違いなく移動を行えるかを評価することである。

5.1 実験概要

被験者に既存の案内地図と本提案を用いて作成した案内地図を見せ、それぞれ映像を用いて仮想的に出発地から目的地までの移動を行ってもらった。評価項目は以下の3点である。

- 経路長
- 経路選択の誤り回数
- 経路選択までの判断時間

経路長は各案内地図での出発地から目的地までの距離である。経路選択の誤り回数は、被験者が経路を誤ることで指定された経路から外れた回数である。経路選択までの判断時間とは、被験者が各分岐点でどの方向に進むかを決定するまでの時間で、分岐点に到着してから経路を決定するまでの時間を計測した。被験者数は20人(20~24歳の男女)である。

5.2 実験環境

本実験では被験者に実際に現地へ行って移動をさせるのではなく、移動中の映像を見せ、分岐点ごとに進路を選択してもらうことで仮想的に経路を決定してもらった。図5に実験システムの例を示す。画面左に各交差点の写真が表示されており、画面右で右折・左折・直進を選択できるようになっている。

5.3 実験に使用する地図

本実験では被験者に対して以下の案内地図を提示

し、それぞれ提示された地図を見ながら経路決定してもらった。

- dijkstra法で経路決定した案内地図：昼(14:00)/夜(20:00)
- dijkstra法で決定した経路上にランドマークを示した案内地図：昼(14:00)/夜(20:00)
- ランドマークの視認性を考慮した案内地図：昼(14:00)/夜(20:00)

ただし案内地図として時刻によって変化するのは視認性を考慮している本提案地図のみである。使用した地図と被験者数の関係を表5にまとめる。dijkstra法で経路決定した案内地図と、dijkstra法で決定した経路上にランドマークを示した案内地図は経路が同一であるため、同一の被験者による評価は避けた。

5.4 考察

5.4.1 誤り回数

移動する際に、経路から外れた回数を図6に示す。誤り回数を各地図において昼と夜それぞれについてまとめたもので、左からDijkstra法、視認性を考慮していないランドマークの提示、提案手法となっている。値は全被験者の平均値である。

図6からDijkstraアルゴリズムで経路のみを示した案内地図が最も誤り回数が多かった。これは経路のみを手掛かりに移動を行っているため、実際の位置と地図上の位置の対応がとれなくなってしまったためである。ランドマークを提示することで誤り回数は低減されたが、環境が夜の場合は提示されたランドマークが見えにくかったため、昼に比べて誤り回数が多くなっている。ただし、ランドマークの視認性を考慮することで夜の場合でも誤り回数は低減されている。

表5 実験で使った地図 Table 5 Used maps in experiment.

	dijkstra法	dijkstra法+ランドマーク	提案地図
昼(14:00)	5	5	10
夜(20:00)	5	5	10

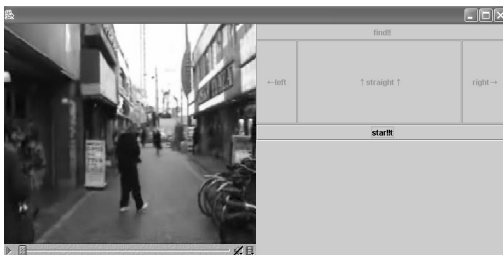


図5 実験環境

Fig. 5 Experimental circumstance.

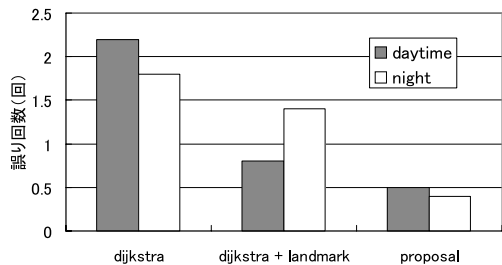


図6 誤り回数

Fig. 6 Number of mistaken times.

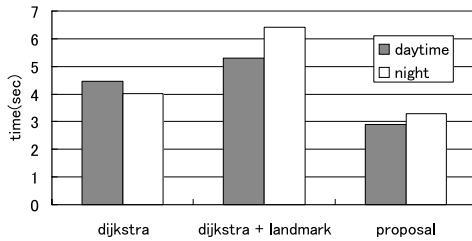


図 7 判断時間

Fig. 7 Judgment time.

表 6 各案内地図の経路長
Table 6 Routing distance.

案内地図	経路長 (m)
dijkstra 法	754 m
提案地図 (昼)	796 m
提案地図 (夜)	818 m

5.4.2 判断時間

各分岐点における経路選択までの判断時間を図 7 に示す。値は全分岐点、全被験者の平均値である。

図 7 から Dijkstra 法で決定した経路のみを提示している場合は、経路情報のみをたよりにすればよいので、誤り回数は多くなるが判断時間はランドマークを提示した場合よりも短くなっている。ランドマークが提示された地図でも経路情報は提示されているが、ランドマークが提示されたことにより、経路情報よりもランドマーク情報を頼りに移動を行おうとする。そのため、提示されているランドマークがどこにあるのかを探すのに時間がかかってしまい、判断時間が長くなる。ランドマークの視認性を考慮することでこの判断時間は短縮され、迷いなく移動が行えていることが分かる。また視認性を考慮しない場合に比べ、視認性を考慮した場合は特に夜の暗い環境での判断時間の改善が大きく、環境要因をランドマークの視認性に用いることの有効性が示されている。

5.4.3 経路長と判断時間の関係

表 6 にそれぞれの案内地図の経路長を示す。この経路長とは、各案内地図上で出発地から目的地までの距離を測定した値を指す。

本研究では経路探索の際にランドマークの視認性を考慮して経路を決定するため、経路長が最短経路よりも遠回りになる場合がある。実験では、最短 754m の経路と比較して、昼の場合で 42m、夜の場合で 64m 経路長が長くなった。ここで各案内地図を利用した場合に目的地までに要したと考えられる推定旅行時間を計算し、それらの比較を行う。推定旅行時間は以下の数式から算出される。

表 7 推定旅行時間
Table 7 Estimated travel time.

案内地図	旅行時間 - 昼 (s)	旅行時間 - 夜 (s)
dijkstra + landmark	631	644
proposal	633	654

$$\text{推定旅行時間} = \text{経路長} / \text{歩行速度} + \text{判断時間} \times \text{分岐回数} \quad (4)$$

ここで経路長は表 6 の値を、歩行速度は歩行者の一般的な歩行速度とされる 1.33 (m/s) を利用し、判断時間は図 7 のグラフの値を利用した。また、分岐回数はいずれの案内地図においても 12 回であった。表 7 に、最短経路にランドマークを示した地図を利用した場合と提案の地図を利用した場合の推定旅行時間を示す。

表 7 より、推定旅行時間は昼ではほとんど差がなく、夜でも 10 秒の差に抑えることができた。経路長に大きな差があったことを考慮すれば、判断時間の改善が有効に働いていることが分かる。このように、誤り回数を低減しつつ、判断時間が短く不安感のない移動が行える点から、本提案地図の有効性が確認できた。

6. まとめ

歩行者 ITS では歩行者の移動を支援するため、デフォルメ地図の作成や経路選択方法など歩行者にとって分かりやすい地図作成のため様々な面から研究が行われてきた。しかしこれらは地図の見やすさは考慮されているが、実際の歩行者の環境まで考慮していない。歩行者は地図を見て移動するが、歩行者をとりまく実際の環境は時刻や天気、周囲の状況によって動的に変化する。歩行者を支援するためには、この実環境を考慮し地図を作成する必要がある。そこで本研究ではランドマークの視認性に着目し、歩行者自身から見て目立つランドマークを定量化することで案内地図の作成に活用した。そして評価実験より、ランドマークの視認性を考慮した案内地図を用いて被験者に移動してもらった結果、本提案手法では経路長は長くなってしまったが、誤り回数、判断時間ともに改善されることを確認し、本提案地図の有効性を示すことができた。

参考文献

- Devlin, S. and Bernstein, J.: Interactive Wayfinding: Use of Cues by Men and Women, *Journal of Environmental Psychology*, pp.22-28 (1995).
- 若林芳樹: 道案内図を用いた地理情報の伝達とナビゲーションの成立条件, GIS-理論と応用, Vol.10-1, pp.19-27 (2002).
- 田中 清, 馬場口登, 北橋忠宏: ユーザーの意見

を反映する略地図生成法の提案, 信学技法, HC93-78 (1994).

- 4) 梶田健史, 山守一徳, 長谷川純一: デフォルメ地図自動生成システムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.9, pp.1736-1774 (1996).
- 5) カク・ミサブレイス, 土屋良貴, 今宮淳美: 人間の空間記憶特性に基づく略地図生成システム, FIT2004 (第3回情報科学技術フォーラム), pp.303-306 (2004).
- 6) 杉山博史, 土井美和子: 交差点形状が与える心理的影響を考慮した道案内システム, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-A, pp.59-67 (2004).
- 7) 藤井憲作, 東 正造, 荒川賢一: 経路案内情報がナビゲーションに及ぼす影響, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-A, No.1, pp.40-49 (2004).
- 8) 藤井憲作, 杉山和弘: 携帯端末向け案内地図生成システムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.9, pp.2394-2403 (2000).
- 9) 都市・建築空間の科学—環境心理生理からのアプローチ, 技報堂出版 (2002).
- 10) 小林茂雄: 昼夜の遊歩道における店舗開口部の特徴と歩行者の注視行動との関係—原宿キャットストリートを対象にしたケーススタディ, 日本建築学会計画系論文集, Vol.575, pp.77-83 (2004).

(平成 19 年 4 月 2 日受付)

(平成 19 年 10 月 2 日採録)



中澤 啓介 (学生会員)

2005 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。2007 年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日本 IBM 株式会社入社。在学中歩行者 ITS の研究に従事。



北 望 (学生会員)

2006 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在, 同大学大学院理工学研究科修士課程に在籍。P2P ネットワークのコンテンツ管理, ルーティングの研究に従事。



高木 健士 (学生会員)

2005 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在, 同大学大学院理工学研究科修士課程に在籍。アプリケーションレイヤマルチキャストの研究に従事。



井上 智雄 (正会員)

筑波大学大学院図書館情報メディア研究科准教授。国立情報学研究所連携研究部門客員准教授。1998 年慶應義塾大学院理工学研究科計測工学専攻博士課程修了。博士 (工学)。社会的インタラクションの理解とデザイン, CSCW, 先進的学習システムの研究に従事。本会論文賞, 同山下記念研究賞, ほか受賞。グループウェアとネットワークサービス研究会, 日本 VR 学会サイバースペース研究会運営委員。人工知能学会, ACM, 教育システム情報学会ほか各会員。



重野 寛 (正会員)

1990 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。1998 年同大学理工学部情報工学科助手 (有期)。現在, 同大学理工学部情報工学科准教授。博士 (工学)。計算機ネットワーク・プロトコル, モバイル・コンピューティング, ネットワーク・セキュリティ, マルチメディア・アプリケーション等の研究に従事。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。



岡田 謙一 (フェロー)

慶應義塾大学理工学部情報工学科教授, 工学博士。専門は, CSCW, グループウェア, ヒューマン・コンピュータ・インタラクション。情報処理学会誌編集主査, 論文誌編集主査, GW 研究会主査等を歴任。現在, 情報処理学会 MBL 研究会運営委員, BCC 研究グループ主査, 日本 VR 学会理事, CS 研究会委員長。情報処理学会論文賞 (1996, 2001 年), 情報処理学会 40 周年記念論文賞, 日本 VR 学会サイバースペース研究賞, IEEE SAINT'04 最優秀論文賞を受賞。情報処理学会フェロー, IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 人工知能学会会員。