

# 点と線と面のランドマークによる 道路地図に頼らないナビゲーション・システム

米倉 梨菜<sup>1,a)</sup> 赤木 康宏<sup>3,b)</sup> 小野智司<sup>1,c)</sup> 河合由起子<sup>2,d)</sup> 川崎洋<sup>1,e)</sup>

概要：街を移動する際にスマートフォン等によるルート・ナビゲーション・システムを利用するユーザは多い。しかし、移動中に小さな画面で経路を確認することは危険を伴う。このため、人が記憶しやすく視認性の高いランドマークを用いたナビゲーション・システムがこれまで提案されてきた。それらシステムで主に用いられてきたランドマークは、1) 郵便局やコンビニエンス・ストアのような、近くまでいかないと視認できないが、確認することでユーザの現在位置を高い精度で同定できるものが、2) 電波塔や高層ビルなどのように、遠方からでも視認できるが、現在位置をおおまかにしか同定できないもの、の2種類であった。本論文では、これらランドマークを、その視認可能な範囲や位置同定能力から、それぞれ、1) 点のランドマークおよび、2) 面のランドマークと区別して呼ぶ。これら、点と面のランドマークは、その性質の違いから、同時に使用することが難しく、これまでのシステムでは、いずれか一方を用いていた。そこで、我々は、3) 電車通りや河川のように、すぐ近くまで行かないと視認できないが、その範囲が線状に広がりを持つものを新たに、3) 線のランドマークとして定義し、これを用いて従来難しかった、複数種類のランドマークを同時に利用可能なシステムを提案する。本システムを用いれば、少ない数のランドマークを利用して目的地に到達することができるため、スマートフォンなどの画面を見る回数を減らすことができる。

## Navigation System using Point, Line and Area based Landmarks

YONEKURA RINA<sup>1,a)</sup> AKAGI YASUHIRO<sup>3,b)</sup> ONO SATOSHI<sup>1,c)</sup> KAWAI YUKIKO<sup>2,d)</sup>  
KAWASAKI HIROSHI<sup>1,e)</sup>

**Abstract:** Recently, the number of people who use navigation systems with handy devices, such as smart phones on the streets, is rapidly increasing. As the increase of the number of the user of the systems, concerns on safety is arisen because it makes people to reconfirm the route frequently by the small windows on devise and it is dangerous. Therefore, the navigation systems using highly visible and recognizable landmarks have been proposed. The landmarks mainly used for the systems are 1)the buildings which can help users identify own location accurately but not be recognized from far, such as post offices, convenience stores, 2) High buildings which are highly visible from a long distance but give users only rough information, such as radio transmitter towers, high-rise buildings, etc. In this paper, we categorize landmarks according to their properties as follows, "point landmarks" for the above 1), "area landmarks" for the above 2) and "linear landmarks" which are not visible from far but users can easily follow along, such as streets and rivers. Then our proposed system can utilize several types of landmarks at the same time, which was difficult by other conventional methods. By our navigation system, users can reach the destination using a small number of landmarks, which means users need to check screens less than other systems.

<sup>1</sup> 鹿児島大学大学院 理工学研究科 情報生体システム工学専攻,  
Department of Information Science and Biomedical Engineering, Kagoshima University

<sup>2</sup> 京都産業大学大学院 先端情報学研究科 先端情報学専攻,  
College of Science and Technology, Royal Kyoto Sangyo University

<sup>3</sup> 東京農工大学大学院 工学府 機械システム工学専攻,

Tokyo University of Agriculture and Technology

a) sc109077@ibe.kagoshima-u.ac.jp

b) akagi-y@cc.tuat.ac.jp

c) ono@ibe.kagoshima-u.ac.jp

d) kawai@cc.kyoto-su.ac.jp

e) kawasaki@ibe.kagoshima-u.ac.jp

## 1. はじめに

ナビゲーション・システムはスマートフォン等の携帯機器上のサービスとして一般化しており、多くの利用者がいる。さらに、その携帯性から車の運転者だけでなく、歩行者や2輪車の運転者がこれを利用する機会が増えているが、移動中にナビゲーション画面を注視することで周辺への警戒が疎かになり、事故の原因となることが問題となっている。そこで、利用者が端末上から確認可能な地図情報を参照することなく、安全に現在の進路の正しさを確認するための方法として、音声ガイドによる方法や、記憶しやすい地物(ランドマーク)を用いる方法が提案されている。

前者の方法は、音声聞き取りやすい自動車内等での利用に効果を発揮するが、歩行者および2輪車で利用は、周囲の音声情報を遮断することになり安全性に問題がある。後者の方法は、記憶しやすく視認性の高い地物をランドマークとして記憶することで、経路案内を行う方法であり、太古より人が地図を使わずに道案内をする際に用いられてきた。現在でも、郵便局やコンビニエンスストア、神社等をランドマークとして利用したものが店舗等の案内地図として頻繁に見られる。この方法では、利用者は基本的には地図を見る必要が無く、さらに周辺を観察しながら進路確認を行うので、危険回避にも役立つ。しかし、利用者はランドマークを記憶する必要があるため、その数をできるだけ減らす必要がある。そこで、本論文では、ランドマークを用いる経路案内において、少ないランドマークで効率よくこれを実現する手法を提案する。

従来よりランドマークを用いたナビゲーション・システムは、数多く提案されてきた。それらで主に用いられるランドマークとしては、1) 郵便局やコンビニエンス・ストアのような、近くまでいかないと視認できないが、確認することでユーザの現在位置を高い精度で同定できるものか、2) 電波塔や高層ビルなどのように、遠方からでも視認できるが、現在位置をおおまかにしか同定できないもの、の2種類であった。本論文では、これらランドマークを、その視認可能な範囲や位置同定能力から、それぞれ、1) 点のランドマーク、および、2) 面のランドマークと呼ぶ。これら、点と面のランドマークは、その性質の違いから、同時に使用することが難しい。例えば、「東京タワーに向かって直進する」という面のランドマークを用いた経路案内があった場合、ユーザが選択可能なルートは複数あるため、続く案内で、「途中でコンビニエンスストアにぶつかったら左に曲がる」、と言った点のランドマークを用いた経路案内ができない。また、面のランドマークのみを用いる場合でも、「東京タワーに向かって途中で、スカイツリーが見えたらそちらに進む」といった案内しかできないため、使用するランドマークをいつ切り替えるのかユーザが判断す

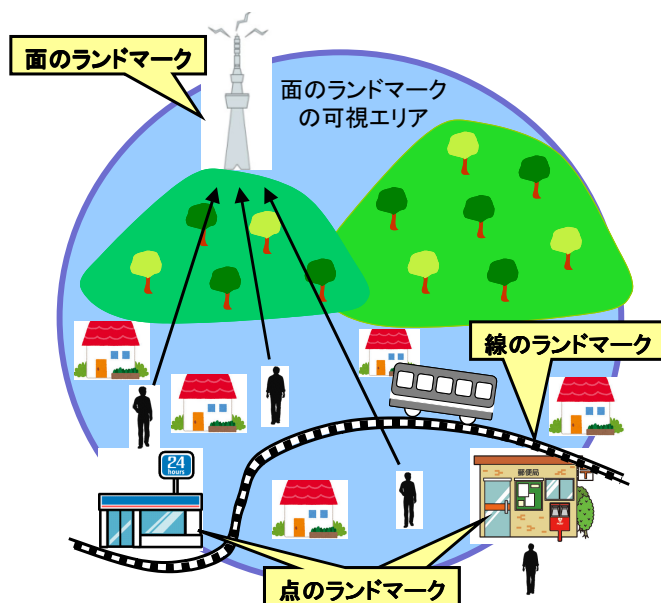


図 1 3種類のランドマーク

る必要があり、実用上の問題がある。

このような問題に対して、我々は、3) 電車通りや河川といった、すぐ近くまで行かないと視認できないが、その範囲が線状に広がりを持つものを新たに、3) 線のランドマークとして定義し、これを用いることで、上記問題を解消する。点と線と面のランドマークを図1に示す。線のランドマークを導入すれば、例えばユーザが、面のランドマークである、東京タワーを目指すためにどの経路を選択したとしても、スタート地点と東京タワーを横切る線のランドマークである「山手線にぶつかったら左に曲がる」、と案内しておけば、ユーザはスムーズにランドマークを切り替えられる。線のランドマークとしては、国道などの大通りや、並木道と言った幅は狭いが視認性の高い道路も含まれる。

具体的なシステム構築にあたっては、点と線のランドマークに関しては、Google API や GIS データから情報を取得できる。さらに、ツイッターなど SNS の発信位置を地図上にプロットし、その頻度が高いルートも線のランドマークとして利用しても良い。面のランドマークに関しては、視認性の高い高層構造物を利用できる。また、その構造物が見える道路や交差点を予め計算しておき、可視領域マップとして保存しておく。経路探索に際しては、実際の道路ネットワークとは独立した、点と線と面のランドマークを用いた新たな経路グラフを生成し計算する。これにより、もとの道路ネットワークを用いた場合よりも大幅に探索時間を短縮できる。また、経路長を短くしながら、利用するランドマーク数を減らし、かつ可視率の高いランドマークを選択するといった複数の目的を満たすため、経路探索に係る評価コストが複雑化するため、通常の経路探索エンジンを用いることが難しい。そこで、本論文では、遺

伝アルゴリズム (GA) を用いて計算した。

提案システムの効果を検証するため、実在する都市の GIS データからランドマークを決定し、提案手法の経路と既存の道路ネットワークを使用した最短経路を比較してアルゴリズムの妥当性を評価する実験を行った。さらに、被験者に実際に経路を辿ってもらう実験を行い、所要時間や地図の参照回数等の評価を行った。その結果、提案手法により、少ない地図の参照回数で目的地に到達可能な道案内を作成できることが確認できた。

## 2. 関連研究

ランドマークを用いた案内方法は、土地勘のある人間が訪問者に案内を行う際に良く用いられてきた。これを、個人の知識によらず、システムにより自動化するための方法として、ランドマークの評価方法、およびランドマークに重点を置いた経路探索手法が提案されている。中澤らの研究では、より象徴性の高いランドマークを発見するための調査方法を提案している [12]。藤井らの研究では、システムがランドマークの 3 次元形状を提示することで、案内を受ける者の経路情報に関する理解を高めることができると報告しており [9], [10]、視認性の高いランドマークを案内に用いることの有用性が示されている。しかし、ランドマークを、その視認範囲や位置同定能力から区別した例はなく、その特性を利用した経路案内手法も提案されていない。

点のランドマークを用いた経路案内システムは数多く提案され、商品化されている。特に車載されているナビゲーション・システムの多くには、通常導入されている。しかし、音声の補助がなければ何度も携帯端末を見直すことになり、危険を伴う。Drager らは、スマートフォンに、ランドマーク画像を表示しながら、その画像と実際のシーンをユーザが比較・確認しながら目的地にたどり着くためのシステムを提案している [2]。しかし、これも常に携帯端末を見直す必要がある。

一方で、面のランドマークにのみ注目した手法も数多く提案されている。例えば、中澤らの研究では、ランドマークとして用いる店舗等の昼夜による外観の違いにも配慮し、案内を行う際の時刻により利用するランドマークを切り替える工夫を行っている [8]。また、多賀らは、面のランドマークによる経路案内において問題となる、ランドマークの切り替えを、携帯端末の GPS 機能を用いて音を出して知らせることで解消する手法を提案している [5]。しかし、GPS 付きの携帯端末といったデバイスが必要なことと、音が聞き取りにくい環境では使用しにくいという課題がある。また、宇戸らの研究では、ランドマークとなる建物が継続して見えることが、歩行者の安心につながるという報告がある [13]。これに基づき、面のランドマークの視認性が連続するよう考慮しながら、経路案内に必要なランドマーク数を少なくすることを目指した研究が行われてい

る [11], [14]。このシステムでは、ランドマークの可視率が高く、かつ案内に使用するランドマークを減らすことで、覚えやすい経路を案内し、ユーザが携帯端末を確認する回数を減らすことに成功している。しかし、ランドマークの切り替え方法が考慮がされていないという、実用上の問題がある。他にも、視認性を考慮した経路探索手法として、河野らが景観の可視性を考慮した経路探索システムを提案している [7]。これは、経路からの景観の可視性を計測し、同じ景観 (例えば富士山等) が連続的に見える経路のランク付けを行うことで、ドライブに適した経路を決定するというものである。同様の考え方による経路案内をクラウド・ソーシングで実現した例も提案されている [4]。

## 3. 提案システムの概要

本稿で提案するランドマークナビゲーションシステムは、ランドマークの決定、面のランドマークの可視領域マップの生成、新しい経路グラフの生成、および経路探索の 4 つの処理からなる。以下にそれぞれの概要を述べ、次節でその詳細を述べる。

### 3.1 ランドマークの決定

ランドマークを決定するにあたり、本論文では、「点のランドマーク」、「線のランドマーク」、「面のランドマーク」の 3 種類のランドマークを定義した (図 1)。点のランドマークは、一般的なナビゲーションシステムで良く扱われている郵便局やコンビニエンス・ストア、ガソリン・スタンド等のことを指す。線のランドマークは、電車や河川、大通りや高速道路、海岸沿いなどの道路、並木道などを指す。面のランドマークは、電波塔や高層ビルなどのような、広い範囲から視認可能な、高層構造物を指す。面のランドマークの可視領域を決定するために、本論文では、可視領域マップを生成する。各ランドマークの具体的な選定方法や、可視領域の計算方法等に関しては、次節で詳しく述べる。

### 3.2 面のランドマーク可視領域マップの生成

面のランドマークを経路案内に利用するためには、その可視領域マップが必要となる。面のランドマークの候補としては、背の高い建物を電子地図データを用いて選択することができる。その際、都市を小さいブロックに分割し (例えば約 1km 四方など)、各ブロック内の建物のうち高い順に  $n$  個の建物を可視ランドマークとして選択する ( $n$  は都市規模に応じて決定する)。これは、街全体から建物の高さ上位  $n$  件などを選ぶと、街の中心部にばかりランドマークが集中してしまうが、これらランドマークが必ずしも可視領域の広いランドマークと一致するとは限らないためである。

可視領域マップを自動生成するために、各交差点におい

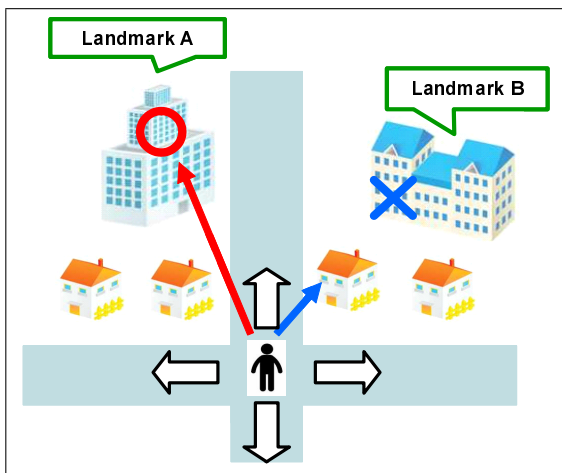


図 2 面のランドマークの可視判定

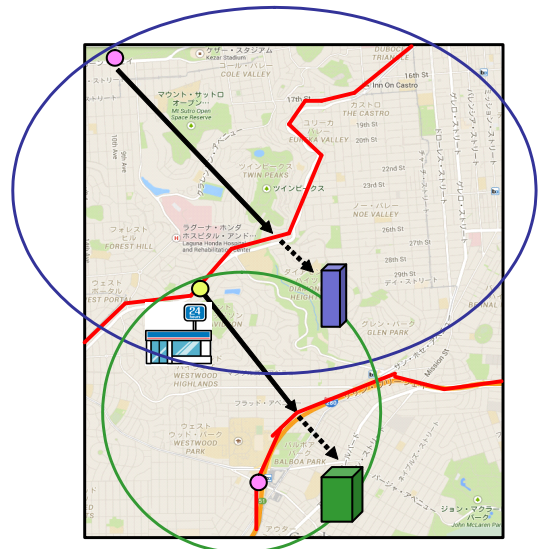


図 3 経路グラフの生成

て、都市を構成する全ての建物を 3 次元コンピュータグラフィックスにより描画し、360 度のパノラマ風景を得て候補ランドマークの可視判定を行う (図 2)。各交差点から各ランドマークが何%見えるかを全ての交差点において計算し、面のランドマークの可視領域マップを生成する。本手法の詳細については、4.2 節で述べる。

### 3.3 経路グラフの生成

まず、本論文で生成する経路案内方法の概要について、図 3 を用いて説明する。桃色の点はスタート (左上) とゴール (中央下)、大円は建物それぞれの可視領域、赤線は大通りを表している。ユーザは最初に、スタートから紫色の建物を目指して進むことにより、1 つ目の大通りにぶつかる。そこで右に曲がり、大通り上にあるコンビニを目指して進み、ぶつかったらそこで緑色の建物に向かって進み始める。すると、別的大通りにぶつかるため、そこで右に曲がり、通り沿いに進むと目的地に到達する。このような経路は、最短経路探索と比べて、経路長は長くなるが、点・面・線のランドマークを組み合わせて使用することにより、迷いにくく、記憶しやすい経路となる (図 4)。

このような経路案内を実現するためには、既存の道路ネットワークを使うよりも、ランドマークを基本にした新しい経路グラフを生成する方が効率が良い。特に、面のランドマークに関しては、経路が複数考えられるため、これを集約した抽象的なパスを 1 つ生成すると都合が良い。そのような抽象的なパスと、実際の線のランドマークとの交点も、経路グラフのノードとなる。このような経路グラフの具体的な生成方法および経路探索手法に関しては、4.3 節で詳しく説明する。

### 3.4 最短経路探索

経路探索は、Dijkstra 法 [1] や遺伝的アルゴリズム (GA) [3] を用いて解くことができる。本論文では、経路を短くしながら、利用するランドマーク数を減らし、かつ面のラン

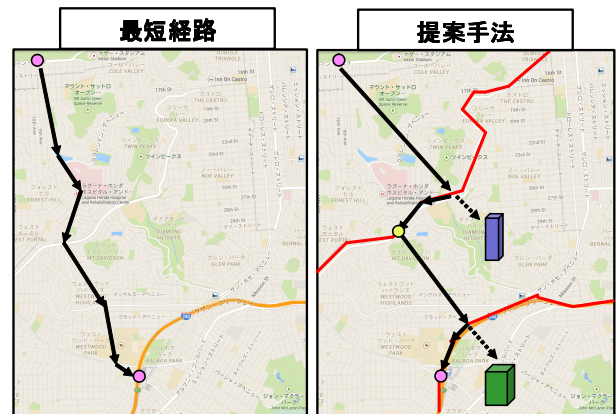


図 4 最短経路探索とランドマークを用いた経路探索の違い

ドマークの可視率を考慮するため、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた。具体的には、次のような評価関数を用いた。地点  $i$  から地点  $j$  に移動するための経由地点数を  $N$  とし、 $N$  地点の経由地点リストを  $T = \{i, \dots, T_p, \dots, j\}$  と表現する。また、隣接する 2 つの地点  $s, t$  間の距離を  $Dist(s, t)$  と表現する。また、 $V(p)$  はノード  $p$  の可視率である。これを用いて、本論文で用いる、経路  $T$  の評価関数  $Cost(T)$  を以下のように定義する。

$$Cost(T) = \sum_{p=0}^{N-1} Dist(T_p, T_{p+1}) + w \times V(p) \times N \quad (1)$$

この評価関数により、経路長を短くするだけでなく、経路案内に用いられるランドマーク数を小さく抑えつつ、経路からランドマークが見える割合を大きくすることができる。重み  $w$  を変更することで、経路長とランドマーク数のいずれを重視するか、バランスを調整することができる。

## 4. ランドマーク・ナビゲーション・システムの詳細

本章では、ランドマークの決定方法、ランドマーク可視性マップの自動生成、およびランドマークを利用した経路

表 1 ランドマークの定義

	幾何的	意味的
点	郵便局, コンビニ, ガソリンスタンド	人気のカフェ, 待ち合わせスポット
線	大通り, 電車通り, 河川沿いの道路	その土地で有名な 店舗が並ぶ通り
面	電波塔や高層ビルなど 可視範囲の広い建築物	寺社など, 地域内で存在 位置が容易に分かるもの

グラフの生成と経路探索について詳しく説明する。

#### 4.1 ランドマークの決定方法

一般に, ランドマークは, 記憶しやすく, 視認性が高い構造物であると定義される [12]. そのようなランドマークは具体的には, 幾何的なランドマークと意味的なランドマークに分類できる (表 1). 幾何的なランドマークとは, 文字通りその形や色などが特異的であるものをさし, 画像処理などで検出可能である. 一方で, 意味的なランドマークとは, 形や色合いなどに特に目立つ特徴は無いものの, 人気のカフェなど, 人間にはすぐに発見できるものを指し, 例えば, Twitter や Flickr などの情報から取得可能である. 意味的なランドマークは, 特にその地域のユーザーにとっては有効な情報となる. 以下, 本論文におけるそれぞれのランドマークの抽出方法について説明する.

##### 4.1.1 点のランドマーク

点のランドマークは, 郵便局やコンビニエンス・ストア, やガソリン・スタンドなどの曲がり角に存在するような, 既存のカーナビゲーションシステムなどで利用されるランドマークのことを指す. これらの情報は, 既存の GIS データや, Google API・Yahoo API 等で取得することが可能である. 本論文では, GoogleAPI で, 上記キーワードで検索し, 見つかったものを点のランドマークとして利用した. このため, 幾何的なランドマークと意味的なランドマークの両方が含まれていると言える.

##### 4.1.2 線のランドマーク

線のランドマークは, 電車や河川, 高速道路や海岸沿いの道路などのいわゆる”大通り”を指す. 経路案内では, 線のランドマークに一度ぶつかれば, その後は大きな通りに沿って進むことになるため, 道に迷いにくいというメリットがある. これら大通りの情報に関して, GIS データから取得可能である. 本論文では, 河川や電車通り沿いの道路, GoogleMap で太く表示される道路等を線のランドマークとした. しかし, これだけでは利用できる線のランドマークが少ないことが起こりうるため, Tweet された位置を地図上にプロットし, その頻度の高い交差点が続くルートも線のランドマークとした. 今回はそのルート選択は人手で行った. この自動化は今後の研究テーマである.

##### 4.1.3 面のランドマーク

面のランドマークとは, 広範囲から認識可能な構造物を



図 5 GIS データからの都市景観の描画 (サンフランシスコ市)

指す. 面のランドマークとしては, 「東京タワー」のように視認性に基づくものもあれば (幾何的なランドマーク), 「浅草浅草寺」といったように, 見えなくてもその近隣から存在する方向が知覚できるもの (意味的なランドマーク) も考えられる. 本論文では, 前者のみを対象とし, 自動的な面のランドマークの抽出と, その可視領域マップの生成を行った. 詳細を次節で述べる.

#### 4.2 面のランドマークの抽出と可視領域マップの自動生成

##### 4.2.1 面のランドマーク候補の選定

広い範囲から視認される面のランドマークとして, 背の高い建物や, 高い地点に立つ建物などが考えられる. その際に, 街全体から建物の高さ上位 100 件などを選んでしまうと, 街の中心部にばかりランドマークが集中してしまう. そこで, まず, 対象となる都市の矩形領域を 1km 四方のブロックに分割する (図 6). そして, 各ブロック内に含まれる建物のうち, 高い順に上位  $n$  件の建物を面のランドマーク候補として選択する (図 7).  $n$  は, 作成する都市の状態に応じて, 適切な数値を設定する.

##### 4.2.2 面のランドマーク可視領域マップの生成

次に, 面のランドマークの可視領域マップを生成する. これは, 全ての交差点から全周を見渡した景観画像を 3 次元コンピュータグラフィクスにより描画し, その画像に含まれているランドマークを発見することで実現する. 建物情報を実際に描画することで, 任意の交差点位置から, 任意の建物の可視性が正しく判別でき, さらに, その可視率も計算できる. 建物・道路・地形等のデータは, 3 次元 GIS で用いられる電子地図 (DEM や Google Earth の建物データなど) から入手可能である. 描画するオブジェクトは以下の 2 種類である.

- 建物データ

提案システムでは建物の可視性のみが重要となるため, 個々の建物を 3DCG により描画する.

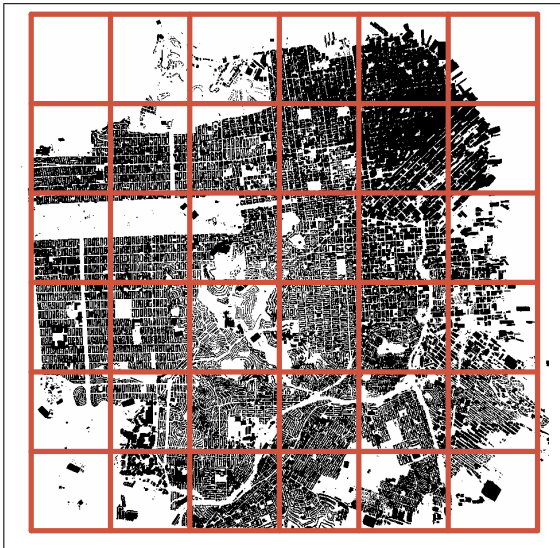


図 6 都市のブロック分割例



図 7 面のランドマークとなる建物の自動選択結果。

● 地形データ

建物の可視判定を行う際には、高低差により下側から建物が見えてしまうことを避けるために、地形データも併せて描画する。

具体的な処理は以下の通りである。まず、前節で述べた手法により選択した面のランドマーク候補に固有の番号を割り振り、各番号に対応する個別の色をそのランドマークの建物の色とする。また、候補以外の建物をおよび地形データ（背景）はそれ以外の色をアサインする。こうすることにより、レンダリングされた全周画像中に含まれる画素の色とその数を調べることで、交差点から見えるランドマークの ID と、その可視率を計算できる。視点を変えたときのレンダリング結果の様子を図 8, 9 に示す。得られた可視領域マップの例を図 10, 11 に示す。ここで、可視率が高い程赤色に近く、低いほど青く示されている。

4.3 経路グラフの生成と経路探索

経路グラフの生成アルゴリズムを、図 12 を用いて説明

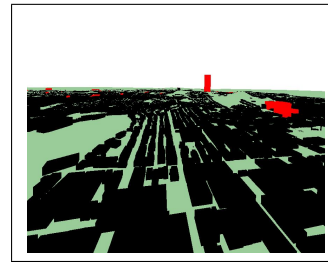


図 8 レンダリング結果その 1

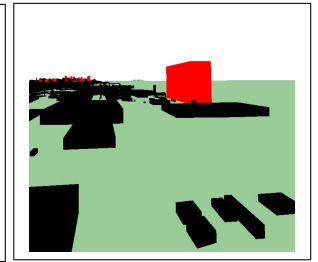


図 9 レンダリング結果その 2

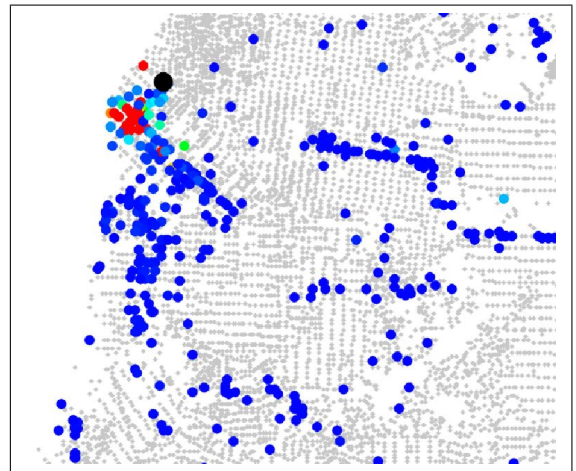


図 10 面のランドマークの可視領域マップの例 1. 可視率が高い程赤色に近く、低いほど青い。

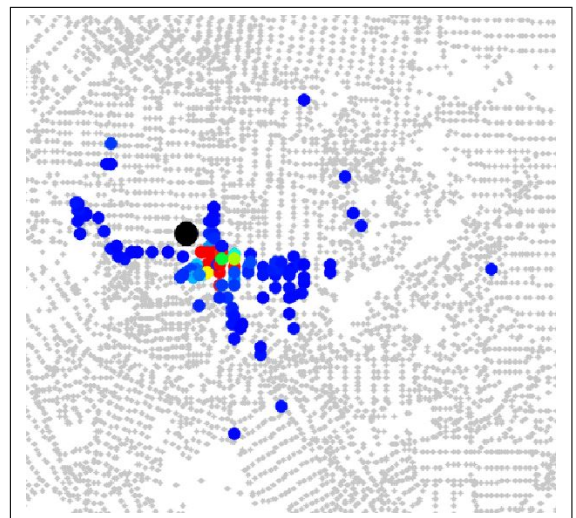


図 11 面のランドマークの可視領域マップの例 2. 可視率が高い程赤色に近く、低いほど青い。

する。まず、出発地と目的地を設定し（図中では S および G で示す）、この 2 地点を含む Bounding Box を生成する。次に、Bounding Box に含まれる点のランドマーク（橙色四角）・線のランドマーク（太い実線）・面のランドマーク（青色の小円）を、システムがデータベースより抽出する（図 13）。ここで示される水色の太円は、面のランドマークを可視領域であり、実際には前節で得られるような複雑な形状をしている。次に、点と面のランドマークから新しい線のランドマークを生成する。これは、ユーザが選択する可

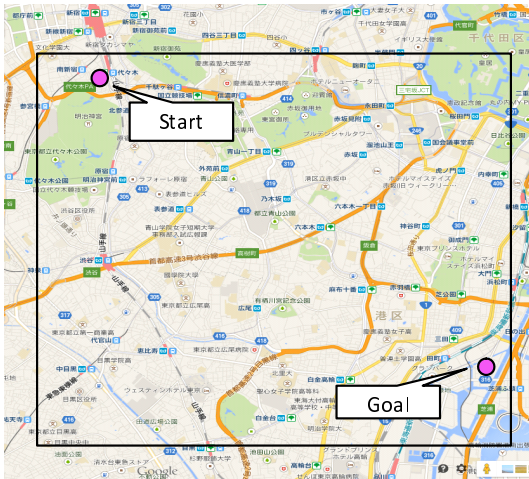


図 12 BoundingBox の設定

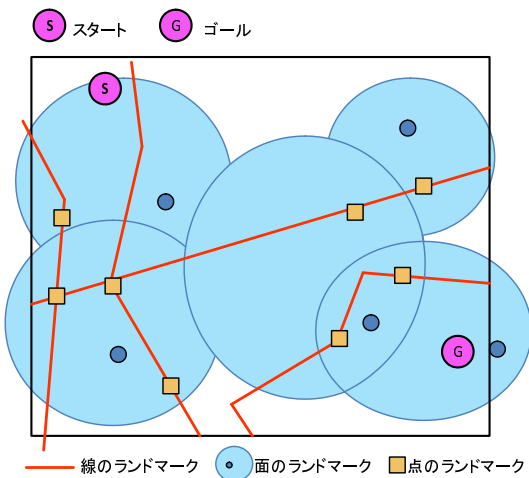


図 13 スタートとゴールを含む, Bounding Box 範囲内にある点と線と面のランドマーク.

能性のある複数の経路を一本にまとめた仮想的なパスであり, 面のランドマークと, その可視領域内に存在する点のランドマークとを線で繋ぐことで生成される (太い破線). この時, 出発地・目的地も点のランドマークに含めておく. 新しい線のランドマークと, 既存のランドマークが交わる時, これを新たな点のランドマークとする (図では三角)(図 14). この新しい点のランドマークは, 既存の点のランドマークと異なり, 目印としては使用できないが, 経路探索では使用される. このようにして生成されたランドマークのみからなる経路グラフを使用して, 式 (1) で定義した評価関数に基づく経路探索を行う. 線や点のランドマークを導入することで, 既存の道路ネットワークよりも大幅にコンパクトな経路グラフが生成できるため, 複雑な評価コストを用いても, 短時間に最適経路を見つけることができる (図 15).

## 5. 実験

本章では, 提案手法により実際に生成した経路グラフで経路探索を行い, 探索された経路を評価する. 提案システ

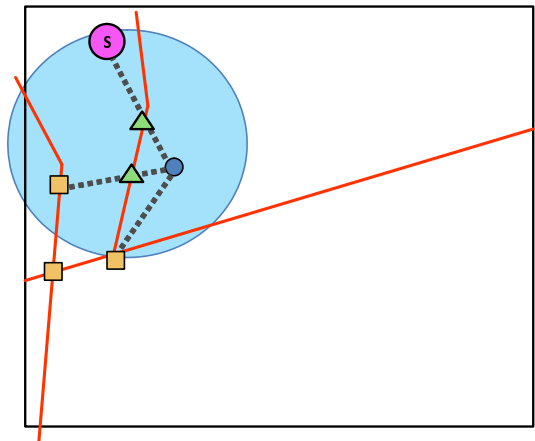


図 14 点と面のランドマークをつないで, 新しい線のランドマークを生成し (破線), それと既存の線のランドマークとの交点に新しいノードを作成.

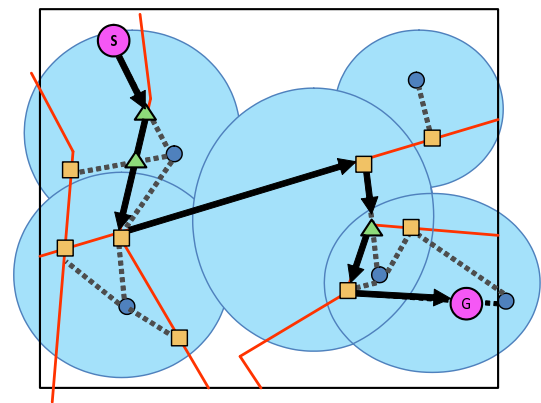


図 15 経路探索結果 (太い実線矢印).

ムが実用的な規模の都市 GIS データに対して適用可能であることを示すために, San Francisco Data が公表しているサンフランシスコ市の全域の GIS データ [6] を用いてランドマーク可視性マップの作成を行った. 本 GIS データには, 都市にあるほぼ全ての建物および経路グラフの情報が含まれている. 具体的には, 85,116 件の建物の 3 次元形状情報, および 12,188 件の道路情報から構成されている. また, ランドマークの決定方法において, 実験で使用するサンフランシスコ市のデータでは高い順に上位  $n = 10$  件の建物をランドマークとして選択した.

### 5.1 経路探索

サンフランシスコの経路グラフを生成するにあたって実際に使用した各ランドマークを (図 16, 図 17, 図 7) に示す. 点のランドマークは Google Map より検索し, 検索ワードを gas station, police office, hospital, departmentstore, church, station として, 交差点にあるもののみを採用した (図 16). 線のランドマークは, GoogleMap 上で太く示される, 高速道路やメインストリートに加えて, Twitter の位置情報をプロットした地図から, 頻度の高いルートを手により選択した (図 17). 面のランドマークは本論文で提

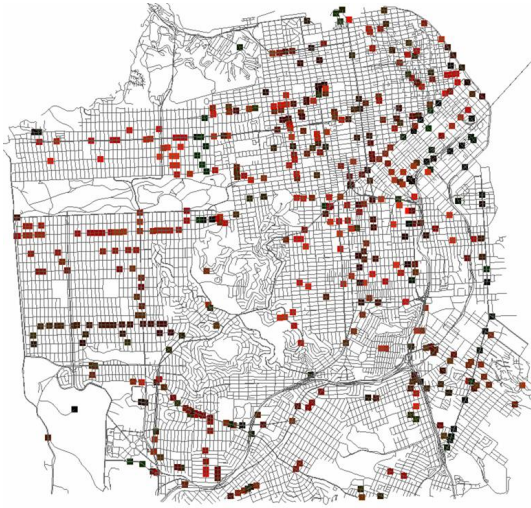


図 16 使用した点のランドマーク

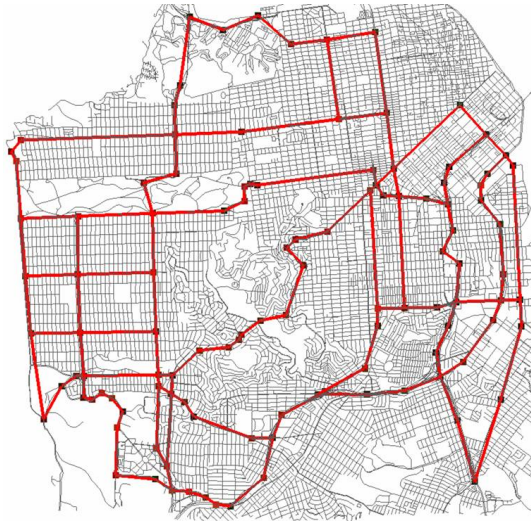


図 17 使用した線のランドマーク

案した手法により、全て計算により求めた（図 7）。図 10，図 11 は、求めた 171 個の面のランドマークのうち、2 つに関して可視領域マップを示した例である。

これらのランドマークを使用して、新しい経路グラフを生成した。面のランドマークと、その可視領域マップ上にある点のランドマークとの間をつないで、新しい線のランドマークをを引いた様子を図 18 に示す。赤色の線が線のランドマーク、黄色の点が点のランドマーク、そして緑色の点が面のランドマークの位置を表している。水色の線が、新たに生成された線のランドマークである。さらに、本実験では、経路探索の効率化のために、実際に経路案内で利用されることのないノードやエッジを予め除去することで、最終的な経路グラフ図 19 を得た。ここで、除去された要素例としては、必ず U ターンすることになる、面のランドマークに接続された線のランドマークなどである。

この生成されたサンフランシスコの経路グラフを使用して、GA を用いて経路探索を行った。既存のサンフランシ

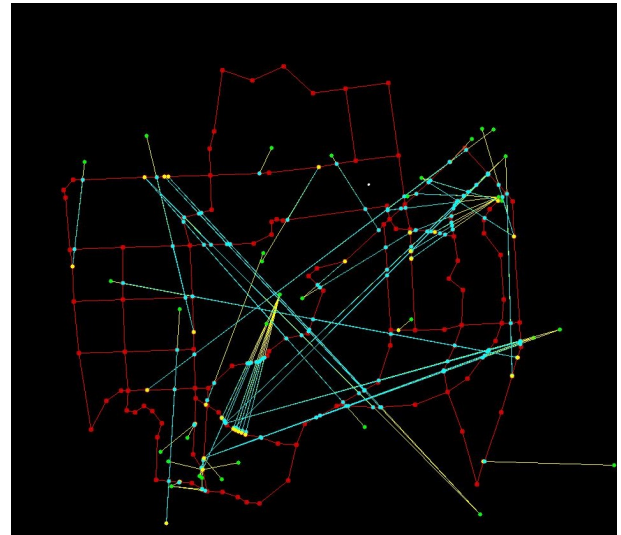


図 18 経路グラフ生成の様子

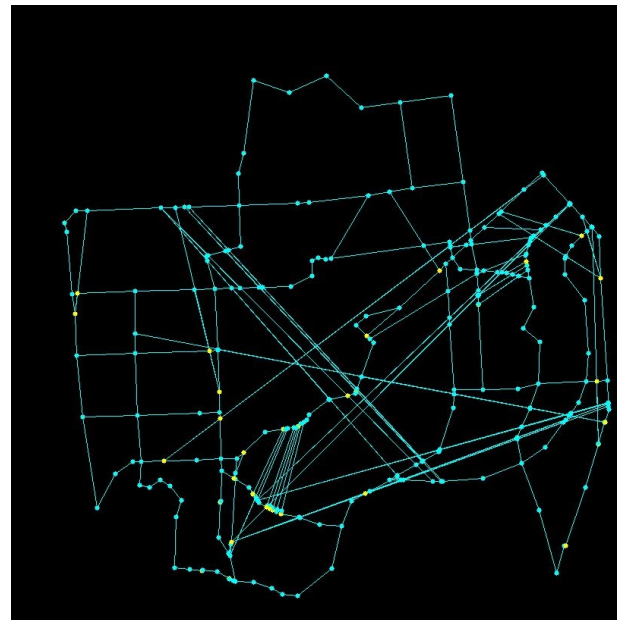


図 19 生成した経路グラフ結果

スコの道路ネットワークを使用した最短経路探索結果と、生成した経路グラフを使用した経路探索結果の例をそれぞれ図 20 と図 21 に示す。

赤い太線が経路探索の結果である。図 21 には、新たに生成した経路グラフも青線で重ねて示している。探索された経路の実際の長さは、サンフランシスコの道路ネットワークを使用した最短経路探索が 7.4miles であったのに対して、生成した経路グラフを使用した経路探索では 9.6miles となった（仮想パスでは、実際の道路ネットワークを用いて最短経路探索を行った）。提案手法のほうが、総距離は長くなったが、最初に大通りに沿って進み（左下の線のランドマーク）、次に遠くに見える高層ビルを目指して進み（中央の面のランドマーク）、最後に再びぶつかる大通り（線のランドマーク）に沿って進む、といったイメージがしやすい



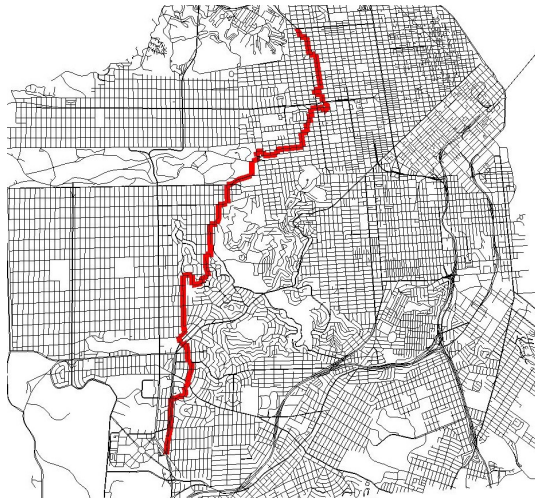


図 20 サンフランシスコの道路ネットワークを使用した最短経路探索

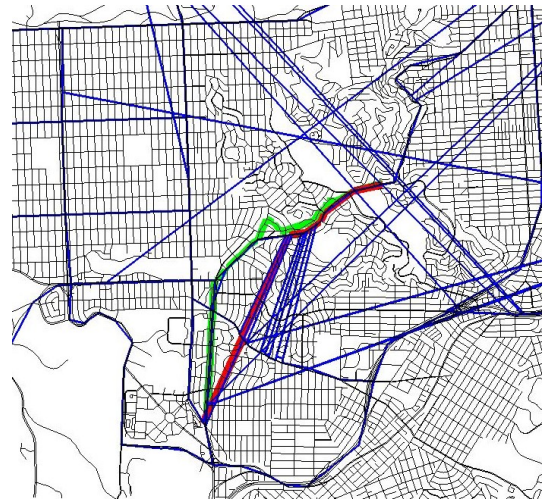


図 22 実験に使用した経路例 2. 赤線が提案手法, 青色が経路グラフ, 緑線が最短経路である.

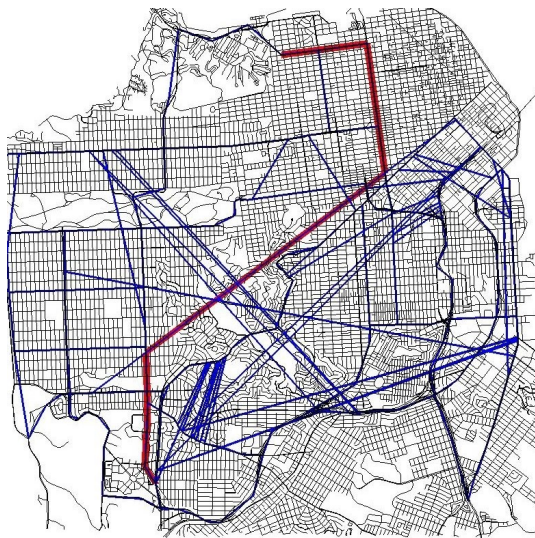


図 21 生成した経路グラフを使用した最短経路探索

く、記憶し易い経路となっていることが分かる。

## 5.2 Google ストリートビューを用いた道案内の評価

本手法の有効性を評価する手法として、最短経路探索における経路長のような、客観的な評価基準を設定することは難しい。一方で、実際にユーザに道案内を提示し、その経路を使ってゴールに到達してもらい、かかった時間や地図の参照回数等を調べる方法は評価としては有効ではあるものの、実際に、多くの被験者に、長距離を異なる経路で歩いてもらうことは困難である。さらに、一度使用したルートは、被験者が学習してしまうため、似たような経路で同じ被験者に何度もテストすることも避ける必要がある。このため、実地によるテストを行うことは現実的には難しい。そこで、本論文では、Google Street View を使用し、実際にスタートからゴールまで被験者にブラウザ上で辿り着いてもらい、擬似的な道案内を体験してもらうことで評価することとした。実際の実験の手順は以下の通りである。

被験者には、最初に、1. スタートの位置情報、2. ゴールの位置情報、3. ランドマークを含めた経路情報の記載された案内地図と、4. 経路案内に使用されるそれぞれのランドマークの写真、といった情報を印刷した資料を与える。ユーザとしては、歩行者や二輪車を想定し、被験者には、スタートする前に出来るだけ地図やランドマークの情報を覚えるよう指示し、スタート後は、配布した情報や Google ストリートビュー上の自己位置は出来るだけ確認しないものとした。しかし、そうすると、途中で自己位置が分からなくなったり、経路を失念したりして、ゴールまで辿りつけなくなる恐れがあるため、必要に応じて被験者は、自己位置の確認や、最初に渡した情報を参照できるものとし、その回数を記録した。

評価の基準は、スタートからゴールに到達するまでの時間、地図を見直した回数、Google Street View で自己位置確認した回数の 3 つとした。また、個人の方向認知能力や Google Street View の扱いの熟練度によって、被験者ごとの結果が大きく異なるため、同じ人物に異なる経路を複数与え、それぞれを最短経路と提案手法の 2 つの手法で試行させた。その際、同じ被験者が同じ経路を歩くことは無いようにした。これは、経路にも難易度の差はあるものの、全て同じ市内にある経路での実験のため、その差は個人差に対して著しく小さいと考えられるためである。実験にあたり図 20、図 21、および図 22、図 23 に示す合計 3 種類のルートを用意した。なお、経路 2 や 3 においては提案手法の経路の方が短く見えるが、これは、面のランドマークを目指す経路を直線に表示しているためであり、実際にこのような直線ルートが存在している訳ではない。被験者 10 名にそれぞれ 2 経路、合計 20 回の試行を行った。結果を図 24 に示す。縦軸は最短経路手法の結果が 1 となるように、それぞれ正規化したものであり、エラーバーは分散の  $1\sigma$  を表している。

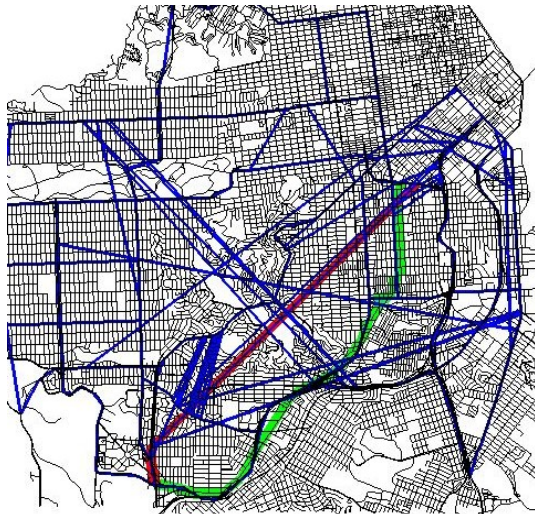


図 23 実験に使用した経路例 3. 赤線が提案手法, 青色が経路グラフ, 緑線が最短経路である.

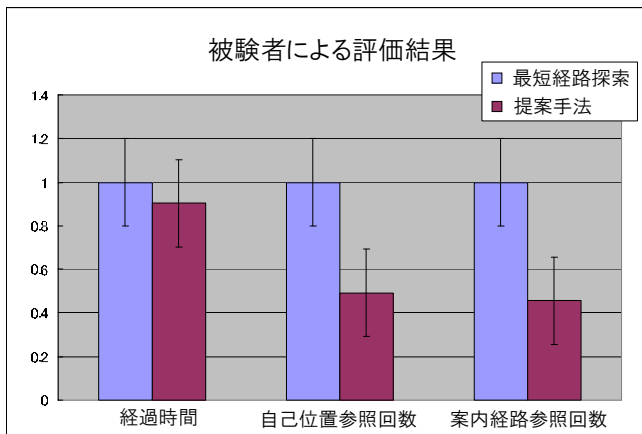


図 24 評価実験の結果

結果を見ると, 提案手法のほうがスタートからゴールに辿りつくための時間が短くなり, さらに地図の見直し回数と自己位置確認回数のそれぞれが大幅に減少していることが分かる. この結果より, 提案手法は, シミュレーション実験においては, より少ない地図の確認回数, 短い時間でゴールまで辿り着くことができたといえる. しかし, 最短経路探索では, ランドマークを提示していないため, 今回の実験を通して使用したランドマークの数が, 経路探索に与える効果までは評価できていない. 同じくらいの距離で, ランドマーク数を変えた場合の被験者実験を今後行う必要があると思われる. また, 実地でのテストも必要である.

## 6. おわりに

本研究では, 点・線・面の 3 種類のランドマークを定義し, そのランドマークを扱って経路探索を行うことで, 経路の再確認頻度を減らすことのできるナビゲーションシステムを実現した. システムの構築にあたり, 建物の可視領域マップの生成手法, 経路グラフの生成手法を提案した.

提案手法を用いることで, 実在する道路ネットワークでの最短経路探索で求めた経路に比べ, 地図や自己位置の参照回数を減らす案内システムを実現することができた. これは, 例えば二輪車での移動など, ゴールまで辿り着くまでの間に, 自己位置を確認することが困難な場合に特に有効である.

今後の課題としては, 他の都市でも実験を行い, 提案するランドマーク・ナビが有効な都市とそうでない都市の区別や, SNS による意味的ランドマークの自動取得などが挙げられる.

## 7. 謝辞

本研究の一部は, 内閣府最先端研究 (LR030), 文科省科研費 (25870570,24500120) の助成を受けて実施された.

## 参考文献

- [1] E. W. Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. *NUMERISCHE MATHEMATIK*, Vol. 1, No. 1, pp. 269–271, 1959.
- [2] M. Dräger(Saarland) and A. Koller(Potsdam). Generation of landmark-based navigation instructions from open-source data. In *EACL '12 Pages 757-766*, 2012.
- [3] John H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1992.
- [4] Daniele Quercia, Rossano Schifanella, and Luca Maria Aiello. The shortest path to happiness: Recommending beautiful, quiet, and happy routes in the city. In *11 pages, 7 figures, Proceedings of ACM Hypertext 2014*, 2014.
- [5] YONEKURA Rina, AKAGI Yasuhiro, ONO Satoshi, KAWAI Yukiko, and KAWASAKI Hitoshi. Navigation system which uses visibility map of landmarks to reduce reference count of the map. In *IEVC2014 4B-06*, 2006.
- [6] SFGOV. San Francisco Data, 2014. <https://data.sfgov.org/>.
- [7] 河野亜希, 谷村孟紀, 崔楊, 河合由起子, 川崎洋. 景観の可視性を考慮したルート探索システムの提案. *情報科学技術レターズ*, Vol. 6, No. LK-005, pp. 351–354, 2007.
- [8] 中澤啓介, 岡田謙一. ランドマークの視認性に基づいた動的な案内地図作成. *情報処理学会論文誌* Vol.48 No.1, 2008.
- [9] 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. A, 基礎・境界* J87-A(1), 40-49, 2004-01-01, 2004.
- [10] 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.
- [11] 多賀大泰, 高橋直久. ランドマーク視認マップを用いた位置特定システムの実現. In *DEWS2006 4B-3*, 2014.
- [12] 中澤優一郎, 山本隆徳, 細川宜秀. 象徴性と相対的場所性に基づく強いランドマーク検索システムの実現方式. In *DEIM Forum 2012 B2-4*, 2012.
- [13] 宇戸裕人, 古川宏. ランドマークの定量的評価に基づく歩行者の不安を軽減する経路探索アルゴリズム (自動車運転/位置情報/通信技術). *シンポジウムモバイル研究論文集* 2010, 27-32, 2010.
- [14] 米倉梨菜, 赤木康宏, 小野智司, 河合由紀子, 川崎洋. 可視性に基づくランドマークの自動検出とこれを利用した案内システム. In *DEIM Forum 2014 E9-4*, 2014.