

平成 2 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：1 2 1 0 2

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：2 3 5 0 0 1 0 9

研究課題名（和文）ランドマークの認知的有用性に基づき歩行者の不安を軽減する経路案内法の実証的研究

研究課題名（英文）Empirical study of a pedestrian navigation method for user's safe and easy wayfinding based on quantitative estimation of landmark's effectiveness

研究代表者

古川 宏（Furukawa, Hiroshi）

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：9 0 3 1 1 5 9 7

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,900,000 円、（間接経費） 1,170,000 円

研究成果の概要（和文）：利用者の不安や迷いを軽減する歩行者ナビサービスの実現に向け、ランドマークの“見つけやすさ”を定量的に評価することで、最短コースではなく、よりたどりやすいコースを案内する歩行者ナビゲーション手法を開発している。本研究では、実用化に向け、被験者実験による評価モデルの拡張・改善を実施した後、実際の街中で歩行者ナビ模擬システムを用いた実証的実験を実施することで、タスクの実行時間や不安の主観的評価に関するデータを取得し、これに基づき、高い精度を有するモデルを構築した。評価の結果、経路探索機構として妥当かつ有効であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：In order to reduce anxiety of pedestrian navigation users, we have proposed a route planning algorithm, which weighs user's difficulty of locating own current position as well as total physical distance of courses. The cost function for evaluating routes is expanded by adding elapsed time of locating each intersection to the original cost of route distance. The elapsed time at an intersection is estimated based on valuation functions of effectiveness of landmarks. The functions were constructed based on data collected through cognitive experiments with participants. Cognitive experiments with a prototype system were conducted to acquire actual data for evaluation of the modified functions. The results indicate that the functions acquired are quite fit to the data of the experiments, and suggest that the modified method is useful for estimating walking time for routes. This empirical study shows the validity of the proposal method.

研究分野：認知システム工学

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：歩行者ナビゲーション 高度道路交通システム 不安 移動体通信 認知科学 GIS 避難誘導

1. 研究開始当初の背景

(1) 歩行者ナビにおけるユーザ不安

日本における歩行者ナビゲーションサービスの現状として、携帯電話端末が広く普及していること、第3世代(3G)以降ではGPS機能が標準となったこと、災害時の避難向けなどの新たなサービスが開始していることから、さらなる利用者の拡大が期待されている。しかし、サービスの質の向上に障壁となる課題として、利用者が不安を感じる状況があると報告されている[1]。

不安の第一の要因は、画面上の現在地表示点と本来の地点との“ずれ”にある。ビル街や室内等ではGPS衛星からの受信状態が悪化し、現在位置測位に誤差が生じる。表示を正しいとすると、利用者による現在地の特定は混迷し、大きな不安を感じることになる。現在位置測位の精度向上には高コストのインフラ整備が必要であり、実現には困難が伴う。当面は利用者独自での現在地特定が不可欠であろう。ここで問題となるのが、第二要因である“地図上のランドマーク(店舗、公園等の目印となる建造物)と現地で利用可能なランドマーク間の不整合”である。不整合の形態は2種類ある。1つは、地図に表示されたランドマークを発見できない状況である。文献[1]では、利用者は現在地推定に確信が持てず、不安に陥ると報告されている。2つ目は、利用者が有効と考えるランドマークが地図上に記載されていない場合である。報告者による先行研究にて、ランドマークが視認しやすいほど、自身の位置推定の結果への信頼が低下することを確認している。これらの根本原因は、携帯電話のメモリ容量や処理速度、通信コスト等の制約があること、よって表示する地図やナビゲーション情報の詳細度・情報量には制限が生じることにある。ランドマークの選定法が不適切であると、不整合が生じる可能性が高まる。

(2) 関連する研究

この問題に対し“ランドマークの見つけやすさ”を定量的に評価することで、ランドマークを合理的に選択する方法や、不安の起こりにくいノードを経由する経路探索法の開発が進められている。なお、町田ら[2]による位置特定マーカーとカメラ付き携帯電話機による案内法のように、GPSを使用しない方法も提案されているが、先に述べたように、マーカーの設置に伴う価格や手間のコストが障壁となり広範囲への適用は難しい。

ランドマークの見つけやすさを評価する方法として、使用頻度を指標とする提案がなされている。中澤ら[3]は、案内看板、雑誌、案内地図、Web ページを多数収集し、「レストラン」「コンビニ」等の属性種別に分類した上で、“種別単位での出現頻度”を認知のしやすさの指標とした。案内地図での出現頻度と実経路において視認した際の見つけやすさにある程度の相関があるとの仮定は妥

当であろうが、現行のナビサービスにおける経験的選択法と実質的に差がなく、現状の課題の本質的な解決法としては不十分と考える。例えば、駅や大型の公共施設のように出現頻度が低くても目立ちやすいランドマークがある一方、商業ビルやマンションのように出現頻度が高くても見つけにくいランドマークは多数ある。実際の“見つけやすさ”を推定するためには、人の認知特性を考慮した本質的な評価法が必要である。

(3) これまでの研究成果

報告者は、利用者の認知特性や制約等を考慮した評価法を提案している。“ランドマークの見つけやすさ”を“目立つ看板の有無や一般的な馴染みなどによる認知のしやすさ(認知容易性)”と“建物等の遮蔽物の有無による視認できる可能性(視認可能性)”という2要因より定義し、位置の特定に要する時間を推定する機構を提案した。実用性を考慮し、高価なデータやインフラを使わず、既存の地図データ(道路ネットデータ、建築物等)のみの利用を想定した。認知実験を通して定量的モデルを構築し、限定的な状況ではあるが、基礎的有効性を確認している。

上記モデルにより推定した位置の特定に要する時間と交差点間の歩行時間から、トータルコスト(移動時間)が最も小さい経路を策定する。すなわち本研究で策定する経路は、“目的地まで最も短い時間で到達することが期待される経路”である(図1)。



図1 本研究で提案する経路のイメージ

- [1] 楯列, 松下, 宗本: 携帯電話歩行者ナビゲーションシステムによる経路探索行動の不安度の変化, 日本建築学会計画系論文集, No.608, pp.59-64(2006).
- [2] 町田, 芹澤, 問邊, ほか: 舗道における新しいM-CubITS歩行者 WYSIWYASナビゲーションシステムについて, 電子情報通信学会技術研究報告 ITS 108(471), pp.47-52(2009).
- [3] 中澤, 北, 高木, ほか: 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.49, No.1, pp.233-241(2008).

2. 研究の目的

本研究の目的は「提案手法の実用化に向け、実地的実験研究を通して提案手法の有効性を検証すること、この結果を用いて実用システムの要件となる仕様の策定を行うこと」である。この実現に向け、下記の小目的の達成を目指した。

- a) ランドマークの認知容易性と視認可能性の評価関数を実用に向けた拡張を行う。
- b) 各ノードでの現在地特定タスクにおける認知的負荷について、これを定量的に推定する評価機構を構築する。
- c) 歩行者ナビ模擬システムを用いた実証の実験により、構築した評価機構の妥当性・有効性の評価とモデルの改善を行う。

3. 研究の方法

上記の小目的の達成に向け、3つの実験的研究（研究(a)(b)(c)）を実施した。

(1) 研究(a)：ランドマーク評価関数の拡張

【目的】構築済みの評価関数に対し、利用時刻、ランドマークの種類、ノードからランドマークへの距離、ノード周辺の建物密集度などの条件を考慮した実用的モデルを求める。
①認知容易性評価関数の拡張：実用時の状況を考慮し、条件を網羅的に変化させた経路探索シミュレーション実験を実施した。認知容易性を視認可能性とは独立に評価するため、ランドマークは遮蔽されず、経路風景中に視認できる状況とした。本実験で評価するランドマークの種類は、先行研究から得られている成果を参考に選択している。

昼間のみを対象とした先のモデルに対し、本研究では、利用時刻を考慮した拡張モデルの構築を目指し、夜間の歩行環境も対象とした実験の実施と、照度を新たな独立変数とする評価関数の提案を行った。

ランドマーク周辺の明るさを表す指標として「周辺明暗度」を定義した。これは、“ライトアップされた明るいランドマークが多く存在する場所ほど照度が高い”との仮説の下、周辺のランドマークの種類と数を変数とした関数と定義する。東京都内220地点で照度測定調査（水平面照度を計測）を実施し、このデータに基づき、各ランドマークに近接する地点の明暗度を“ビル・マンション”との相対値として求めた。ビル・マンション”は、東京都内で出現頻度が非常に高いため、基準として用いた。10種類のランドマークに対して個別の明暗度を割り当てた上、ある地点の周辺明暗度を、周りに存在するランドマークの明暗度の総和として推定する。

被験者実験では、ランドマークの種類、昼／夜、距離等の条件に適したパノラマ写真を撮影し、これを画面サイズ46インチ以上の液晶ディスプレイに提示した。被験者のタスクは、ディスプレイに表示されている風景画像の中から手許の地図に表示されているラン

ドマークを探索し、その見つけやすさを5段階で評価することである。各条件下において認知容易性の主観評価を実施することで、各条件をパラメータとしたランドマークの認知容易性評価関数を導出した。

②視認可能性評価関数の拡張：建物の密集度およびランドマークの道路からの奥行をパラメータとして、ランドマークが物理的に視認できる確率（視認可能性）を推定する関数を構築した。地図データと現地での視認調査を実施することにより、各条件を変数とした確率密度関数を求めた。解析環境として、本経費で導入したNAVIシステム内の地理データを用いた。

(2) 研究(b)：現在地特定の認知的負荷の定量的評価機構の構築

【目的】認知容易性および視認可能性の評価関数を用いて、各ノードにおいて実際に利用者が感じる“位置特定のしやすさ”を定量的に推定する関数を構築する。

複数条件下での被験者実験により、“交差点の特定しやすさ”の主観評価データを取得し、推定関数の評価と改善を行った。この関数では、“多数のランドマークが存在するほど見つけやすさは増加する”と仮定し、“位置特定のしやすさ”を周辺に存在するランドマークの見つけやすさの総和としている。

被験者のタスクは、景観を視認し、スマートフォン上の地図情報を用いることで、現在位置を特定すること、特定のしやすさの主観的評価を行うことである。被験者の負担を考慮し、室内で大型ディスプレイを用いた実験を主としたが、実状況との差異を確認するため、実際の街路上での実験も並行的に実施した。使用した地図には、課題を実施する地点から視認できる有効性評価対象の6種類のランドマークを全て記載した。実験において、特定の成否、容易さ（5段階評価）、確信度（5段階評価）、利用したランドマーク（自主回答）、所要時間の5種のデータを取得した。

(3) 研究(c) 歩行者ナビ模擬システムを用いた実証の実験による評価機構の妥当性・有効性の評価

【目的】：提案法によるサービスを体験した被験者の評価に基づき、推定モデルの妥当性評価とモデルの改善を実施する。

被験者のタスクは、スマートフォン上の経路案内システムを使用し、指定された経路にて目的地まで歩行することである。このとき、歩行中の不安度の主観評価結果も取得している。実用性の評価のため、最短および提案手法による2種類の経路を用いて、東京都内の街並みが異なる3エリア（台東、世田谷、池袋）で実施した。狙いは、推定した所要時間と実測値との比較、最短経路と提案経路の所要時間の比較、交差点のコストと被験者の不安度の比較、現在地表示にずれがある状況での提案手法の有効性の検討、実験結果に基

づいたモデルの改善である。

本実験で用いた経路案内図表示システムは、スマートフォンのブラウザからアクセスすることで動作するもので、Perl による CGI 環境を用いて実装している。機能は、現状の歩行者ナビゲーションサービスを参考にし、以下の機能を有している：GPS による現在地表示、目的地までの経路案内図の表示、地図の自動更新、地図の縮尺変更、残り距離など歩行に必要な情報の表示。

4. 研究成果

(1) 研究(a)：ランドマーク評価関数の拡張

被験者による“見つけやすさ”の主観的評価データを基に、夜間における各ランドマークの認知容易性の評価関数を構築した。各ランドマークについて、距離と周辺明暗度を独立変数、見つけやすさを従属変数とした重回帰分析を行い、最小二乗法による線形回帰方程式を導出した。表 1 に、得た認知容易性の評価関数を示す。

本実験で得た関数は、先行研究にて構築した昼間における評価関数とは大きく異なる。本実験の結果をランドマーク視認性モデルに組み込むことにより、時間帯を考慮し、より正確な推定を可能とするモデルを構築することができた。

表 1：夜間用の認知容易性の評価関数

| 種類 | 評価関数 d:距離, b:周辺明暗度, C:見つけやすさ | R ² 値 |
|------|---------------------------------|------------------|
| コンビニ | $C = -0.015d - 0.94b + 5.479$ | $R^2 = 0.83$ |
| 飲食店 | $C = -0.016d - 0.12b + 5.238$ | $R^2 = 0.87$ |
| 銀行 | $C = -0.030d + 0.30b + 4.780$ | $R^2 = 0.92$ |
| GS | $C = -0.014d + 0.18b + 2.876$ | $R^2 = 0.75$ |
| 駅 | $C = -0.001d + 0.78b + 4.969$ | $R^2 = 0.25$ |
| 学校 | $C = -0.020d - 0.74b + 4.737$ | $R^2 = 0.98$ |
| ビル | $C = -0.018d + 0.58b + 3.844$ | $R^2 = 0.86$ |
| 公共施設 | $C = -0.020d - 0.89b + 4.730$ | $R^2 = 0.90$ |
| 公園 | $C = -0.012d + 0.20b + 3.743$ | $R^2 = 0.62$ |

(2) 研究(b)：現在地特定の認知的負荷の定量的評価機構の構築

被験者による“交差点の特定しやすさ”の主観評価データと先行研究にて提案した評価関数による推定値を解析した結果、当該関数の推定能力が不十分であること、新たに“現在地からの距離”をモデルに追加することで、推定精度が向上し得ることがわかった。そこで、この知見に基づいてモデルを改善し、交差点の特定しやすさを定量的に推定する“位置特定難易度推定モデル”を構築した。このモデルにおける推定は、以下に示す 2 つのステップからなる。

まず(1)式によって、認知容易性の評価結果に現在地からの距離を考慮し、位置特定時におけるランドマークの“価値”に変換する。

$$C'(l) = 1.514C(l) - 0.028d(l) - 2.174 \quad (1)$$

ここで $C'(l)$ はランドマーク l の位置特定時の価値、 $C(l)$ はランドマーク l の認知容易性、 $d(l)$ はランドマーク l までの距離である。

被験者へのインタビューから、複数のランドマークが存在する環境において、ユーザは“現在地からの距離が近いものを優先的に利用して位置特定をする傾向がある”ことがわかった。そこで、(1)式のモデルを(2)式に示す重み付き線形和に代入することで、現在地からの距離に応じてランドマークの価値に重み付けを行う。ここで、現在地から 4 番目以降の距離にあるランドマークを利用した被験者が存在しなかったことから、4 番目以降はモデルに考慮しない。

$$CV'(n) = \alpha \cdot C'(L1) \cdot V(L1) + \beta \cdot C'(L2) \cdot V(L2) + \gamma \cdot C'(L3) \cdot V(L3) + \delta \quad (2)$$

ここで $CV'(n)$ は交差点 n の位置特定のしやすさの推定値、 Li は現在地から i 番目に近いランドマーク、 $C'(l)$ は(1)式で算出されるランドマーク l の位置特定時の価値、 $V(l)$ はランドマーク l の視認可能性である。また、重み係数 α 、 β 、 γ の値はそれぞれ 0.958、0.004、-0.007 であり、定数 δ の値は 0.194 である。なお、周辺に存在するランドマーク数の関係から Li が存在しない環境において、 $C'(Li)$ は 0 とする。

次に、構築した位置特定難易度推定モデルの精度について評価した。図 2 は、“(1)式および(2)式によって得られた位置特定難易度の推定値 $CV'(n)$ ”と“実験により得られた位置特定の容易さの評価値”を比較した結果である。これらの間の相関係数は 0.861 であり、強い相関が見られた。改訂前のモデルによる推定に対する相関係数は 0.574 であることから、“現在地からの距離”を考慮することで位置特定の容易さの推定精度が大きく向上することが明らかとなった。

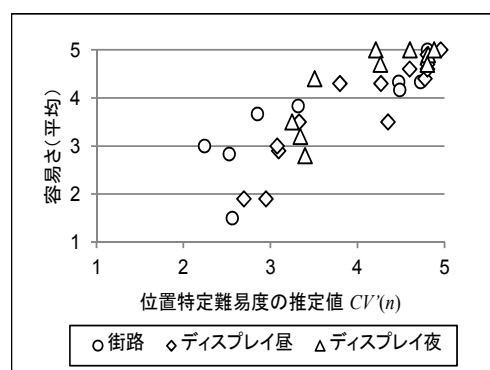


図 2：位置特定難易度の推定値と実測値

(3) 研究(c): 歩行者ナビ模擬システムを用いた実証的実験による評価機構の妥当性・有効性の評価

①所要時間に関する分析: 各経路において、位置の特定に要した時間（位置特定時間）を測定した。これと提案モデルによる推定時間の相関を求めた結果、相関係数は 0.075 であり、提案モデルの推定能力が十分ではないことが明らかとなった。そこで、実験結果に基づき、ユーザの位置特定時間の推定精度を向上させる方法について検討した。

②実験結果に基づくモデルの改善: モデルの評価結果と獲得データに基づき、以下の 2 点の変更を実施した。結果、位置特定時間に対する推定精度が大きく向上した。

【変更 1】進路変更交差点に限定した評価方法への変更: 被験者は、進路を変更する（右左折する）交差点のみで位置特定を実施しており、直進する交差点では実施しないことを確認した。そこで、全交差点のコストを評価する方策を止め、進路変更交差点のみで評価するモデルへと変更した。この有用性を評価するために位置特定時間を推定したところ、実測値との相関係数は 0.68 となり（変更前は 0.075）、変更によりモデルが改善されたことを確認した。

【変更 2】位置特定時間の推定関数の変更: 先の手法では、評価関数により求めた位置特定難易度の推定値を、(3)式により、位置特定時間に変換している。

$$dcv'(n) = \frac{5}{1 + CV'(n)} \quad (3)$$

この式は、“位置特定難易度の推定値が増加するほど、ユーザが交差点の特定に要す時間は減少する”との仮説に基づいている。しかし、このような単調減少関数は(3)式以外にも考えられる。そこで、複数の単調減少関数を新たに候補とし、それぞれ有効性について検討した。その結果、(4)式に示した関数を用いることで、ユーザの位置特定時間を推定する精度が向上することが分かった。

$$\begin{aligned} CV'(n_i) < 1 \text{ の場合} &\rightarrow dcv'(n_i) = 23 \\ \text{それ以外} &\rightarrow dcv'(n_i) = \frac{23}{CV'(n_i)} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで n_i は進路変更交差点である。図 3 は、(4)式によって得られた各経路における位置

特定時間の推定値と、位置特定時間の実測値を比較した結果である。2 者の相関係数は 0.83 となり、強い相関が見られた。

以上から、(3) (4)式を用いることで、変更前のモデルに対し、ユーザの位置特定時間の推定精度をさらに向上することに成功した。

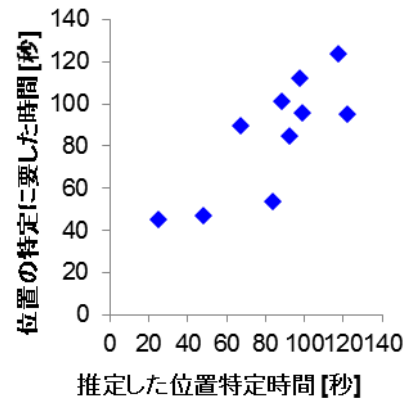


図 3: 位置特定時間の推定値と実測値

(4) 研究のまとめ

本研究では、ユーザにとって不安の少ない経路を案内するナビゲーション方法の開発を目指し、地図上で位置特定しやすい交差点を経由する経路探索法を開発した。

まず、被験者実験の結果に基づき、ランドマークの見つけやすさを評価する認知容易性と視認可能性の評価関数の拡張、交差点の特定しやすさを定量的に推定する“位置特定難易度推定モデル”の構築を行った。

提案手法の有効性を検証するため、東京都内の街路上にて、模擬システムを使用した被験者実験を実施した。結果から、先の手法では位置特定時間の推定能力が低いことが明らかとなり、モデルの改善を図った。交差点における位置特定の所要時間を推定する関数を変更することで、精度を大きく向上した経路探索アルゴリズムを構築することに成功した。

(5) 本研究テーマの現状と今後の展望:

Miura らは、通りの明るさに注目し、照明度による安全性コストと経路距離のコストを評価する手段を用いた経路探索法を提案した[4]。Akasaka らは、ユーザによる道の充足度をファジー測度により評価する手段を用いて、ルート選択に対する個々の好みを反映させた方法を提案した[5]。一方、本提案手法では道のわかりやすさを評価値として採用しており、複数の評価指標を用いた手法として同じ形式である。ユーザの必要性は多様であることから、これらに対応した、異なる評価指標を用いた手法が必要とされる。

Caduff らは、人間の知覚・認識の能力に基づき、ランドマークの目立ち度を評価する概念フレームワークを提案している[6]。このような認知科学の知見に基づく理論的な研究は、本提案手法のような観測実験データに基づくモデル手法に対し相補的な関係となり、さらなる手法の改善に向け、互いに重要な知見を提供しうる。

本研究の今後の展開としては、対象ユーザの拡張と、避難誘導での利用を検討している。これまでのモデル構築および評価は、青年層の被験者による実験を基盤としていた。高齢ユーザの利用を想定した時、評価機構における認知的モデルにおいて、加齢による認知能力の変化を考慮すべきである。既に高齢被験者による認知実験を開始しており、実測データに基づくモデルの拡張と評価を実施することで、多様な利用者を対象にした経路探索手法の構築を達成する計画である。また、利用者の迷い・不安を軽減し得ることから、災害時のようなパニックになりやすい状況において、歩行者ナビシステムを用いた誘導によって迅速な避難を可能とするシステムの構築をも検討している。

- [4] Miura, H., Takechima, S., Matsuda, N., & Taki, H. (2011). A study on navigation system for pedestrian based on street illumination. In A. König, et al. (Eds.), Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems (15th International Conference, KES 2011) (pp. 49-55). Springer Berlin Heidelberg.
- [5] Akasaka, Y., & Onisawa, T. (2008). Personalized pedestrian navigation system with subjective preference based route selection. In D. Ruan, F. Hardeman, K. Meer (Eds.), Intelligent Decision and Policy Making Support Systems (pp. 73-91). Springer.
- [6] Caduff, D., & Timpf, S. (2008). On the assessment of landmark salience for human navigation. Cognitive Processing, 9, 249-267.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Hiroshi Furukawa, “Pedestrian Navigation Guidance for Elderly People’s Safe and Easy Wayfinding,” Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014, July, 2014 (12 pages), 査読有。(掲載予定) .
<http://www.ahfe2014.org/index.html>
- ② Hiroshi Furukawa, Yutaka Nakamura, “A Pedestrian Navigation Method for User’s Safe and Easy Wayfinding,” Human-Computer

Interaction. Users and Contexts of Use (the 15th International Conference on Human-Computer Interaction), 2013, pp. 156-165, 査読有, DOI: 10.1007/978-3-642-39265-8_17.

- ③ Hiroshi Furukawa, Yutaka Nakamura, “Pedestrian navigation system based on quantitative estimation of landmark’s effectiveness,” Proceedings of the 4th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics 2012, 2012, pp. 391-400, 査読有.

<http://www.crcpress.com/product/isbn/9781466552623>

- ④ Hiroshi Furukawa, Hiroto Uto, “A Quantitative Evaluation Method of Landmark Effectiveness for Pedestrian Navigation,” Computer Modelling and Simulation (Proceedings of UKSim 14th International Conference on Computer Modelling and Simulation), 2012, pp. 265- 270, 査読有, DOI: 10.1109/UKSim.2012.45.

[学会発表] (計 3 件)

- ① 中村 裕, 古川宏, ランドマークに基づく歩行者の位置特定難易度推定モデルの提案と実践的検証, シンポジウム「モバイル 13」, 2013 年 3 月 7 日, 青山学院大学.
- ② 中村裕, 古川宏, 街路空間におけるランドマーク視認性モデルの被験者実験による有効性評価, シンポジウム「モバイル 12」, 2012 年 3 月 16 日, 大阪市立大学.
- ③ 有田和晃, 古川宏, GPS を利用できない屋内空間における携帯端末を用いた誘導法の検討, シンポジウム「モバイル 12」, 2012 年 3 月 16 日, 大阪市立大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古川 宏 (FURUKAWA HIROSHI)
筑波大学・システム情報系・准教授
研究者番号 : 90311597