

デフォルメ地図検索のための 地理特徴と画像特徴の依存関係抽出とその応用

松尾 純輝^{1,a)} 北山 大輔^{2,b)} 角谷 和俊^{1,c)}

受付日 2012年12月20日, 採録日 2013年4月3日

概要: 近年の Web においては、様々なデジタル地図を利用することができる。しかしながら、一般的なオンライン地図はユーザの目的や読解能力を考慮しないため、検索要求を必ずしも満足させられない。一方で、観光ガイドマップやアクセスマップなどのデフォルメ地図は、特定の地域や目的に特化しているため、情報要求に合致する際に有用である。そこで、デフォルメ地図を地理特徴と画像特徴の2種類の特徴を用いて処理し、適合性フィードバックを用いて検索する手法を提案する。検索において要求に合致する地図を得るためには、地図の指定を繰り返す必要がある。本研究では、このようなユーザへの負担を軽減するために、「駅を示すオブジェクトを重視するユーザは通りを示すオブジェクトも重視する」というような特徴間の依存関係を用いて、デフォルメ地図検索の支援を行う。また、抽出した依存関係のアプリケーションを提案する。

キーワード: 地理情報システム, 特徴抽出, デジタル地図

An Extracting Method of Dependencies of Geographical and Image Features for Retrieving Artificial Maps and Its Applications

JUNKI MATSUO^{1,a)} DAISUKE KITAYAMA^{2,b)} KAZUTOSHI SUMIYA^{1,c)}

Received: December 20, 2012, Accepted: April 3, 2013

Abstract: A variety of digital maps are available on the Web. However, common online map systems cannot satisfy all users because these systems do not consider search purposes and map reading ability. On the other hand, modified maps are useful when maps's viewpoint matches user requests. Therefore, we propose a retrieval method of modified maps matches user requests. In this work, modified maps are interpreted by using two kinds of features, geographical features and image features. Users can retrieve modified maps by using relevance feedback. In order to obtain appropriate artificial maps, users must repeat to select maps. Then we extract the dependencies among features, and utilize them for reducing weights of the users. In addition, we propose applications of the dependencies of geographical features and image features.

Keywords: GIS, feature extraction, digital map

1. はじめに

Web 上では様々なデジタル地図を利用することができる。たとえば、Google Maps^{*1}や Bing Maps^{*2}のようなオンライン地図は地理情報取得のために有用なツールであ

¹ 兵庫県立大学大学院環境人間学研究所
Graduate School of Human Science and Environment, University of Hyogo, Himeji, Hyogo 670-0092, Japan

² 工学院大学情報学部
Faculty of Information Studies, Kogakuin University, Shinjuku, Tokyo 163-8677, Japan

a) nd11g028@stshse.u-hyogo.ac.jp

b) kitayama@cc.kogakuin.ac.jp

c) sumiya@shse.u-hyogo.ac.jp

*1 <http://maps.google.co.jp/>

*2 <http://www.bing.com/maps/>

る。しかしながら、オンライン地図を用いた場合、ユーザは絞り込みや移動というような操作を繰り返す必要がある。既知の地域を検索する場合は有用であるが、未知の地域の探索は容易ではない。一方で、目的や用途に応じた部分的なデフォルメがなされている観光ガイドマップやアクセスマップのようなデフォルメ地図が存在する。たとえば、観光ガイドマップでは、対象地域における観光スポットの位置関係を把握するという用途に基づき、必要な情報である観光スポットが強調され、他の場所の情報は省略されていることが多い。特に、デフォルメ地図において、作成者は対象の地域に詳しいと考えられるため、ユーザが知ることが難しい地理情報も記載されていることが多い。たとえば、アクセスマップを作成する際に、目につきやすい建物を記載することにより、ユーザの移動を支援することが可能である。このように、特定の目的や用途に特化するように実空間の情報がデフォルメされているため、ユーザは容易に地理情報を取得可能である。

さらに、デフォルメ地図は実空間を正確に表現した地図とは異なり、それぞれのデフォルメ地図が異なる特徴を持つ。地図ごとに異なる特徴について、図 1 に示す 2 枚のデフォルメ地図を用いて説明する。この 2 枚のデフォルメ地図は、京都における同等の領域を表現した地図である。(a) の地図では描かれているオブジェクト数が少なく、寺や神社のようなランドマークとなるオブジェクトの割合が多い地図である。また、ランドマークオブジェクトの多くが彩度の高い色で描かれているため、ユーザはオブジェクトの認知や位置関係の把握がしやすいと考えられる。また、一部の線路は描かれているが、交通機関を示すノードオブジェクトは京都駅しか描かれていない。一方で、(b) の地図はランドマークオブジェクトに加えて、線路に沿って多くのオブジェクトが描かれており、その半数近くがノードオブジェクトであるため、京都における移動の際に有用であると推定できる。このように、同じ地域を描いても、作成者による部分的な強調や削除などの処理が加

えられることにより、地図を構成する特徴が大きく異なるため、それぞれの地図のユーザに対する有効性も異なると考えられる。

従来の研究において、Kobayashi ら [1] は地図を読解する能力には個人差があることを示している。しかしながら、情報取得の容易さはユーザの読解能力だけではなく、使用する地図自体にも起因すると考える。たとえば、ある地点へ移動をする際に有用となる情報に特化しているアクセスマップを用いることにより、地図の読解が苦手なユーザでも、適切な経路を容易に把握することが可能である。このように、要求に合致するデフォルメ地図を提供することにより、地理情報の読解を支援することも可能であると考えられる。

一般的に、デフォルメ地図を取得したいと考えたとき、多くのユーザは自身の要求に関連する Web ページ内を探すが、必ずしも要求に合致する地図が利用できるとは限らない。そこで本研究では、デフォルメ地図を構成する特徴に着目し、これらを用いたデフォルメ地図検索エンジンを提案する。地図を構成する特徴を地理特徴と画像特徴の 2 種類に分類し、検索要求に対して有効な特徴をフィードバックすることによるデフォルメ地図検索を行う。地理情報検索において、ユーザは一般的に対象の地域に関する知識に乏しいと考えられる。たとえば、京都や清水寺というような地名をキーワードとして入力できる場合でも、その他の詳細な地名を入力できず、移動や絞り込みなどの操作も未知の地域では効率的ではないため、検索要求に対して十分な情報を得ることは困難であると考えられる。そのため、本手法においてはシステムから提示される地図をユーザが選択し、選択に基づいて適合性フィードバックを行うことにより、キーワード入力よりも容易に検索要求を表現できると考える。

しかしながら、適合性フィードバックにおいて要求に合致する地図を得るために、ユーザは地図の指定を繰り返さなければならない。そこで、このようなユーザへの負担を軽減するために、「駅を示すオブジェクトを重視するユーザは通りを示すオブジェクトも重視する」というような、特徴間の依存関係を用いた検索支援を行う。本研究では地理特徴と画像特徴を用いるため、地理特徴どうしの依存関係、画像特徴どうしの依存関係、地理特徴と画像特徴の依存関係の 3 種類を特徴間の依存関係として扱う。本手法は、地図選択におけるユーザの考えを特徴間の依存関係として集約するため、検索支援だけではなく、地図の生成にも応用可能であると考えられる。

一般的には、地理情報検索においてデフォルメ地図のみを用いることが必ずしも有効とは限らない。たとえば、Google Maps ではオブジェクト検索や経路検索などの機能が実装されており、オブジェクトの詳細を調べることや、最適な経路を発見することが容易である。一方で、ある

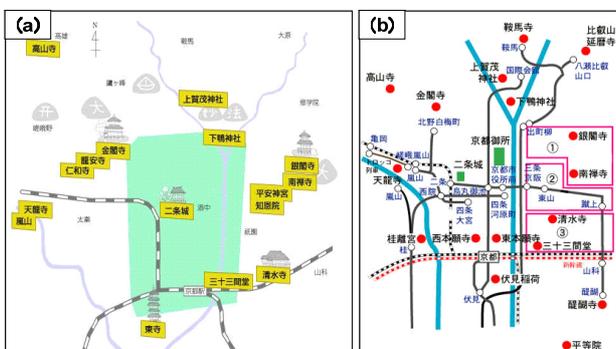


図 1 (a) ランドマークの割合が多い地図
(b) ノードの割合が多い地図

Fig. 1 (a) An artificial map describes a lot of landmark objects,
(b) An artificial map describes a lot of node objects.

テーマに特化したオブジェクト集合や、経路の目印になるオブジェクトを取得する際には、対象となる地域の知識が必要であるため、未知の領域に関する特定の目的に合致するオブジェクト集合を得るにはデフォルメ地図検索の方が有効であると考えられる。たとえば、観光地図を用いて有名な観光地の情報を取得することや、経路案内地図において、移動の基点になるオブジェクトの情報を取得する場合に有効である。このように、各システムには異なる用途があると考えられるため、本研究の評価において、提案するデフォルメ地図検索エンジンと既存のオンライン地図システムを比較し、双方の利点を明らかにすることを目的の1つとする。

以下に本稿の構成を示す。2章では本研究のアプローチとオンライン地図を主とした関連研究との差異と本研究の位置づけについて述べる。3章ではデフォルメ地図を解釈するための特徴について説明する。また、相関ルールによる特徴間の依存関係の抽出手法について説明する。4章では特徴間の依存関係を用いたデフォルメ地図検索の具体的な手法について説明する。5章ではオンライン地図とのコンテンツとしての違いを示し、特徴間の依存関係を抽出する予備実験について述べる。6章では検索精度の評価実験について説明し、依存関係の応用例について述べる。最後に7章でまとめと今後の課題を述べる。

2. 本研究のアプローチと関連研究

2.1 概要

ユーザの要求に合致するデフォルメ地図を検索するために、我々はデフォルメ地図検索エンジンを提案している [2]。デフォルメ地図検索におけるユーザの要求は、自身の利用目的に対して有効な地図を得ることであると考えられる。利用目的には地図が示す領域や、オブジェクトの有無だけでなく、目印の量や色合いなどが影響する。我々はこのような要求を満たすために、ユーザがインタフェース上で正事例となる地図を選択し、選択をフィードバックした検索結果を出力するシステムを構築する。

2.1.1 デフォルメ地図検索エンジン

デフォルメ地図は地理情報を表す画像であるため、地図としての要素と画像としての要素を特徴ベクトルとして表現することにより、処理が可能である。そこで、デフォルメ地図検索エンジンは、地図画像を地理特徴と画像特徴の2種類の特徴を用いて内容を解釈し、適合性フィードバックを用いた検索手法により、適切なデフォルメ地図を提示する。なお、ユーザの検索要求を事前に分類することができれば、教師あり学習を応用した検索が有効である。しかしながら、とにかく広い地図が欲しいという要求や、オブジェクト数が一定数以下の観光地図が欲しいという要求など、ユーザの検索要求は多様であると考えられるため、インタラクティブに正事例と負事例を取得しながら検索結果

の改善を行う必要がある。一般的な適合性フィードバックにおいては、ユーザが選択した事例に類似する事例を再提示することにより、検索結果の改善を行う。

しかし、ユーザが選択した事例はあくまでも提示された時点での適切な事例であるため、類似する事例がユーザにとって最適な事例であるとは限らない。特に地理情報検索においては、ユーザが対象地域の知識を有しているとは限らないため、システムがユーザの検索要求を推定し、先回りした検索結果を提示する必要があると考えられる。そこで本研究では、検索における基本的な手法として、差異増幅型適合性フィードバック [3] を用いる。差異増幅型適合性フィードバックにおける画像検索では、自己組織化写像 (Self-Organizing Map: SOM) [4] を用いて類似する画像が隣接するように画像を配置し、ユーザに提示する。ユーザが選択した画像と選択しなかった他の画像との差異を用いて検索クエリベクトルを生成することにより、画像検索におけるユーザの意図を推定することが可能である。本研究において提案しているデフォルメ地図検索は画像検索の一種であるため、差異増幅型適合性フィードバックを適用可能であると考えられる。ただし、画像特徴以外に地理特徴を用いるため、これらの間の依存関係を考慮する必要があると考える。本研究において、差異増幅型適合性フィードバックを応用することにより、地図選択からユーザが重視する特徴を推定し、特徴間の依存関係を用いて重みを付与することにより、適切な検索結果をユーザに提示することが可能であると考えられる。

図 2 にプロトタイプシステムのインタフェースを示す。インタフェースは地名入力部、地図選択部、詳細表示部により構成される。最初にユーザは、地名入力部に「東山」や「清水寺」というような、地名またはオブジェクト名を検索クエリとして入力する。なお、検索の開始地点となる領域の選択に関しては、既存のオンライン地図のインタフェースが有用であると考えられる。しかし、オンライン地図により特定の領域を示すことと、キーワード入力で領域を絞ることは等価であると考えられるため、本稿におけるプロトタイプではキーワード検索により検索を開始している。システムはユーザの要求に合致する地図の候補として、入力されたクエリを地図内に含むデフォルメ地図を地図選択部に提示する。ユーザは詳細表示部において地図の内容を確認しながら、正事例画像を選択する。システムは選択された地図と、選択されなかった地図を用いて検索クエリを生成する。本手法ではクエリベクトルの生成において、選択された地図と選択されなかった地図の差異を増幅したフィードバックを行う。たとえば、他の地図よりも駅を示すオブジェクトが多く描かれている地図を選択しているとき、ユーザは駅が多い地図を要求しているというような推定を行い、クエリベクトルの修正を行う。

提案手法により、ユーザは「駅が多く描かれており、か

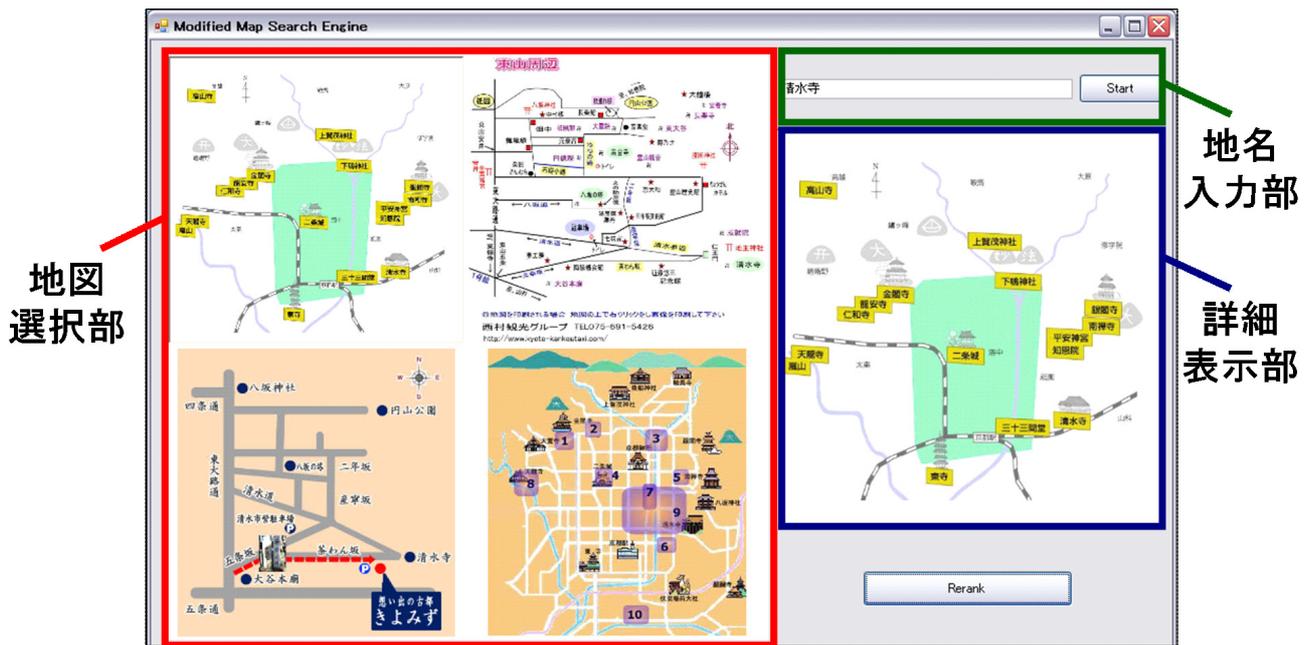


図 2 デフォルメ地図検索エンジンのインタフェース
 Fig. 2 An interface of modified map search engine.

「清水寺を中心に描かれた地図が欲しい」というような、複数の特徴を考慮した要求を入力することが可能である。しかしながら、複雑な検索要求を入力するためには繰り返し地図を選択する必要があり、ユーザの負担は大きくなる。そこで本研究では、複数の特徴を考慮した要求において同時に重視される特徴間の依存関係に着目し、これらの関係を用いて、検索におけるユーザの負担を軽減する。

2.1.2 特徴間の依存関係

本研究では、ユーザの地図選択における特徴間の依存関係を抽出し、検索に応用する。地図画像を解釈する2つの特徴において、これらの間には依存関係が存在すると考えられる。たとえば、目的地までの経路を確認したいユーザにとって、移動手段に関する地図上の情報は重要である。そのため、このユーザはデフォルメ地図検索において、駅が描かれている地図や、通りが多数描かれている地図を選択すると推定できる。このような場合には、検索ログから「駅を示すオブジェクトを重視するならば、通りを示すオブジェクトも重視する」というような依存関係の抽出が可能であると考えられる。このような特徴間の依存関係を検索アルゴリズムにおいて利用することにより、入力における負担を軽減することが可能である。

本稿では予備実験において相関ルールを用いた依存関係の抽出を行い、検索に反映させる。評価として、特徴間の依存関係をすべて反映させた場合と部分的に反映させた場合の検索精度を通常の差異増幅型適合性フィードバックにおける検索精度と比較する。

2.1.3 想定する使用状況

本研究において抽出される特徴間の依存関係には様々な

使用状況が考えられる。まず、特徴間の依存関係を用いてユーザの入力の負担を軽減することが可能である。適切な地図を検索するためのアプリケーションにおいて、ユーザは検索要求を詳細に入力する必要がある。しかしながら、複数のキーワードを入力することや入力を繰り返すことはユーザにとって負担になりうる。そこで、ユーザの入りに依存して増加したり減少したりする特徴をシステム側が調整することにより、同時にユーザが重視すると考えられる特徴を自動的に反映することが可能である。

その他の応用として、地図の生成を行う際に依存関係を補助的な知識として扱うことが可能である。たとえば、経路案内のための路線図のような地図を描きたいときに、「駅を示すオブジェクトを重視するならば、通りを示すオブジェクトも重視する」という関係に基づいて自動的にオブジェクトを付与することにより、多様な移動手段を考慮した経路案内地図を生成可能である。既存のデフォルメ地図はユーザの知識の不足を補うという点で有用であるが、これらが存在しない場合は検索を行うことが難しい。このような場合には、新しくデフォルメ地図を生成することが望ましい。特に、一般的なユーザが有用な地図を生成することは困難であるため、依存関係を知識として用いて、生成を支援することは有効であると考えられる。本稿では、依存関係を検索におけるユーザの負担軽減に用いる応用について議論する。

2.2 関連研究

デフォルメ地図をテーマとして扱う研究として、Hondaら [5] は経路の変形とランドマークの再配置を用いたデフォ

ルメ地図の自動生成を提案している。藤井ら [6] は詳細な地図から動的に経路案内地図を生成する手法を提案している。これらの研究は共通して、デフォルメ地図の生成を目的としている。しかしながら、ユーザの要求を考慮せずに生成する地図は、多くが画一的なものである。我々の提案手法では、地図に含まれる特徴とユーザの要求の両方を分析することにより、デフォルメの観点とユーザの要求の合致を考慮した地図提示が可能である。

Agrawala ら [7] は手書きの経路地図に共通して見られる概略化の分析を行っている。Osaragi ら [8] は既存の略地図に出現する経路や建物の分析による地図中の重要な要素の抽出を行っている。Grabler ら [9] は画像と Web 上の情報を解析することにより、旅行者のための地図を自動で生成するシステムを提案している。これらの手法は共通して、地図に含まれる特徴の分析を行っている。しかしながら、我々の研究では地図に固有の特徴を分析するだけではなく、ユーザ自身が重要視する特徴の抽出を行う。これに基づいて性質の分析を行うため、ユーザに近い目線でのデフォルメ地図の活用が可能である。

また、ユーザの要求を満たす地図を発見するための様々な研究が行われている。Michelson ら [10] は Web から収集された画像から地図を分類する手法を提案している。彼らを用いている分類器は、画像のエッジに基づく Water-Filling features を用いている。Chiang ら [11] は the luminance-boundary histogram を用いた最近傍分類器に基づく地図の分類を提案している。The luminance-boundary histogram とは、画像を比較するための特徴の 1 つである。Newsam ら [12] は視覚的な特徴を用いて、地理的な画像の検索を行っている。これらの研究では、地図の解釈のための画像特徴のみを用いている。しかしながら、ユーザの目的は主に地理特徴により表現されると考えられるため画像特徴

のみでユーザの要求を考慮することは困難である。そのため、我々は地図のランキングのために地理特徴を用いる。

3. 特徴間の依存関係抽出

3.1 地図特徴

本研究ではデフォルメ地図を多次元のベクトルとして扱う。以下で、そのための特徴について説明する。地図上では、実空間の情報が様々な特徴を用いて表現されている。これらの特徴は地理特徴と画像特徴の 2 種類に分類可能である。検索に用いるための地図特徴を以下のように定義する。

$$MapFeatures = \{GF, IF\} \tag{1}$$

GF は地域の情報を説明する要素である地理特徴の集合を示す。*IF* は地図を画像として表現する要素である画像特徴の集合を示す。地図は地理情報コンテンツであり、画像コンテンツであるため、地図としての特徴と画像としての特徴の両方を用いることが可能である。なお、本稿では前提として、クロージング済みのデフォルメ地図が格納され、オブジェクト名や座標などのメタデータが付与されたデータベースがあるものとする。データベースはデフォルメ地図テーブル (地図 ID, URL, 地理特徴量 (表 1 を参照), 画像特徴量 (表 2 を参照)), デフォルメ地図地名テーブル (地図 ID, 地図地名 ID, 対応地名地名 ID, 地名, 文字サイズ, 周辺色ヒストグラム, X 座標, Y 座標), 地名辞書テーブル (地名 ID, 地名, 緯度, 経度, カテゴリ) により構成される。

本稿における実験では、清水寺が記載されたデフォルメ地図 100 枚と八坂神社が記載されたデフォルメ地図 100 枚の計 200 枚分のデータをデフォルメ地図データベースに格納している。また、Web からのデフォルメ地図のクローリ

表 1 地理特徴 (23 次元)

Table 1 Geographical features (23th dimension).

地理特徴 (次元数)		説明
表示領域	MBR の面積 (1) 縮尺 (1)	実空間における全オブジェクトを含む最小矩形領域 MBR と画像サイズとの面積比
オブジェクト	全オブジェクト (1) ランドマーク (2) パス (2) エッジ (2) ディストリクト (2) ノード (2)	表示される全オブジェクトの数 表示されるランドマークオブジェクトの数と割合 表示されるパスオブジェクトの数と割合 表示されるエッジオブジェクトの数と割合 表示されるディストリクトオブジェクトの数と割合 表示されるノードオブジェクトの数と割合
分布	実空間の分散 (2) 画像内の分散 (2) 特定オブジェクトの位置 (3)	実空間における座標の分散値 画像内における座標の分散値 画像内における特定オブジェクトの縦横の位置と中心からの距離
その他	方角 (1) 経路案内情報 (1) 経路案内以外の文字情報 (1)	地図の上部から地図内で示される北の方角との角度 地名以外で経路を案内するテキストの有無 地名と経路案内情報を除くテキストの有無

表 2 画像特徴 (6 次元)
Table 2 Image features (6th dimension).

画像特徴 (次元数)		説明
形状	画像サイズ (2)	縦列と横列の画素数
表現	文字サイズ (1)	特定のオブジェクト名におけるフォントサイズ
	色相 (1)	色相のヒストグラムにおける画像全体と特定オブジェクト周辺との差
	彩度 (1)	彩度のヒストグラムにおける画像全体と特定オブジェクト周辺との差
	輝度 (1)	輝度のヒストグラムにおける画像全体と特定オブジェクト周辺との差

ングに関しては扱わない。本稿における実験では、画像検索において「京都八観光」や「京都八グルメ」などの様々な組合せのクエリを入力することにより、特定のオブジェクトが描かれているデフォルメ地図を手作業で収集している。全国のデフォルメ地図を収集し、データベースに格納することは今後の課題である。

3.1.1 地理特徴

デフォルメ地図が持つ地理情報コンテンツとしての特徴について説明する。地理特徴とは、地域の情報を説明する要素として、地図から得られる物理量である。たとえば、地図上に記載されている地理オブジェクトの緯度や経度は、実空間においてどのような地点にオブジェクトが存在しているかを示し、地図がどの領域を説明しているかを表す要素である。地理特徴は地図ごとに異なり、特にデフォルメ地図は特定の地域や目的に特化しているため、それぞれが独自の特徴を持つといえる。

表 1 に本稿で用いる地理特徴を示す。地図の表示領域に関する特徴において、ジオコーディングの手法を用いることにより、地理オブジェクト名をもとに実空間の座標を取得することが可能である。地図が表現する領域の推定には、MBR (Minimum Bounding Rectangle) を用いる。MBR は全地名を含む最小の矩形領域であり、実空間の座標に基づいて、地図が表現している領域の面積を求める。地図の縮尺は MBR と画像のサイズから求めることが可能である。表示オブジェクトに関する特徴において、全オブジェクトを、都市を構成する 5 つの要素 [13] に基づいて分類する。これにより、すべてのオブジェクトを地理特徴として分類することが可能である。パスは人間が通る可能性のある道筋のことであり、通りの名称や電車の路線が該当する。エッジはパスを除く線状の要素であり、川の名称を割り当てている。ディストリクトは内部の各所に同質の特徴を持つ領域であり、市区町村などの名称が該当する。ノードは結節点や集合点にあたる要素であり、駅やバス停の名称を割り当てている。これら以外のオブジェクトをランドマークとして、5 つの要素それぞれの数と全オブジェクトとの割合を求める。表示オブジェクトの分布に関する特徴において、実空間における座標と画像内における座標の両方に関して、分散値を求める。それぞれ X 軸方向の分散値、Y 軸方向の分散値を求める。また、特定のオブジェ

クトの画像内における座標と、地図の中心からの距離を特徴として用いる。本稿では、ユーザが検索の際に入力するオブジェクトを特定オブジェクトと呼ぶ。その他の特徴として、実空間における位置関係と画像内での位置関係を合致させることにより、画像における Y 軸と、地図内で示される北の方向との間の角度を、方角を示す特徴として用いる。さらにオブジェクト名以外で地図上に記載されている情報として、ルートを案内するテキストやオブジェクト間の距離を示すテキストの有無を 1 か 0 かで表現し、経路案内情報を示す特徴とする。店舗の宣伝やキャプションというようなテキストは、経路案内以外の文字情報の有無として扱う。

3.1.2 画像特徴

デフォルメ地図が持つ画像コンテンツとしての特徴について説明する。画像特徴とは、情報を画像として表現する要素として、画像から得られる物理量である。たとえば、色成分における輝度は画像の明暗を示す要素であり、画像の色合いや大きさは地図の印象や視認性に影響するため、ユーザの地図選択にも影響を与えると推定できる。

表 2 に本稿で用いる画像特徴を示す。地図画像の形状に関する特徴において、縦列、横列の画素数を、画像サイズを示す特徴として用いる。地図画像の表現に関する特徴において、オブジェクト名のフォントサイズを用いる。また、基本的な色の構成要素として HSV モデルのそれぞれのヒストグラムにおける画像全体と特定オブジェクト周辺との差を用いる。デフォルメ地図においては、特定のオブジェクトの強調が重要であると考えられる。たとえば、あるオブジェクトと他のオブジェクトとの位置関係を確認したい場合、基点となるオブジェクトが強調されていると、容易に位置を把握することが可能である。そこで、強調度合いを示す要素として、特定のオブジェクトのフォントサイズと周辺の色情報の特徴として用いる。これにより、地図画像全体と比較してどれだけオブジェクトが際立っているかを判断することが可能である。

3.2 相関ルールに基づく関係抽出

相関ルールの抽出により、特徴間の依存関係を抽出する。相関ルールは、ある事象が発生すると別の事象が発生するというような、同時性や関係性が強い事象の組合せを示す。

これにより、ある特徴を重視したら、別の特徴も同時に重視するという関係を表現することが可能である。このような関係の強さを算出するために用いる支持度 (support) と確信度 (confidence) を以下のように示す。

$$\text{support}(X \Rightarrow Y) = \frac{\text{count}(X \cup Y)}{|D|} \quad (2)$$

$$\text{confidence}(X \Rightarrow Y) = \frac{\text{count}(X \cup Y)}{\text{count}(X)} \quad (3)$$

支持度は対象とするすべてのログである D において、 X と Y が同時に現れる割合である。確信度は X が出現するログにおいて、 X と Y が同時に現れる割合である。関係抽出のための対象ログとして、我々が提案するデフォルメ地図検索エンジンを用いて検索を行った際のログを用いる。また、依存関係の強さを示す数値として、支持度と確信度の積を用いる。

4. 依存関係を用いたデフォルメ地図検索

4.1 検索クエリ生成

前回の地図選択において生成されたクエリベクトルと、新しくクエリを修正するためのベクトルの両方を用いて、検索クエリを生成する。ただし、初回の地図選択では新しく選択された地図のみに基づいてクエリベクトルを生成する。ユーザが選択した地図の平均ベクトルである \mathbf{M}_{pi} に基づいて生成される新しいクエリベクトルを \mathbf{Q}_i とし、算出式を以下に示す。なお、本手法は一般的な適合性フィードバックとは異なり、ユーザが明示的に負事例を選択するのではなく、選択されなかった地図を負事例として用いる。

$$\mathbf{Q}_i = (1 - \beta) \times \mathbf{Q}_{i-1} + \beta \times \mathbf{w} \times f_{DA}(\mathbf{M}_{\text{pi}}, \text{neg}(\mathbf{M}_i)) \quad (4)$$

$$f_{DA}(\mathbf{M}_{\text{pi}}, \text{neg}(\mathbf{M}_i)) = \begin{cases} \mathbf{M}_{\text{pi}} + \alpha \times \text{difference} & (|\text{difference}| \geq \epsilon) \\ \mathbf{M}_{\text{pi}} & (|\text{difference}| < \epsilon) \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{difference} = \frac{\sum_{\mathbf{M} \in \text{neg}(\mathbf{M}_i)} (\mathbf{M}_{\text{pi}} - \mathbf{M})}{N_{M_i}} \quad (6)$$

クエリベクトル \mathbf{Q}_i は、前回生成されたクエリベクトルである \mathbf{Q}_{i-1} 、特徴間の依存関係を用いるためのベクトルである \mathbf{w} 、差異増幅を行う関数である f_{DA} の3つの要素を用いて生成される。 β は前回のクエリと新しいクエリのそれぞれに重みをつけるための係数であり、本稿における実験では、0.5としている。 $\text{neg}(\mathbf{M}_i)$ は選択されなかった地図の集合を返す関数であり、関数 f_{DA} に選択された地図と選択されなかった地図を指定することにより、地図選択と差異に基づくクエリベクトルの増幅を行う。関数 f_{DA} において、 N_{M_i} は選択されなかった地図の数を表す。 $(\mathbf{M}_{\text{pi}} - \mathbf{M})$ は、選択された地図の平均ベクトルと選択されなかった地図との特徴ベクトルの差異を表す。すべての選択されな

かった地図との差異の合計を、選択された地図の総数である N_{M_i} で割ることにより、平均する。差異の平均が閾値 ϵ 以上である場合は、差異の平均を係数 α で増幅し、正事例に加える。本稿における実験では、 ϵ を0.3、 α を1.0としている。このような式を用いることにより、選択された地図と選択されなかった地図の特徴の差異の平均が閾値以上である場合、その差異分だけフィードバック量を増幅させることで、選択された地図の特徴をより際立てることが可能である。通常の差異増幅型適合性フィードバックとの違いとして、特徴間の依存関係を用いるためのベクトルである \mathbf{w} を用いる。

4.2 特徴間の依存関係によるクエリの修正

差異増幅型適合性フィードバックにおいて、地図選択から得られるユーザの要求を正確に反映させるため、依存関係を考慮したうえで、特徴ごとの重みを決定する。それぞれの特徴に重みをつけるためのベクトルを以下の式で示す。

$$\mathbf{w} = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_{29}\} \quad (7)$$

$$w_j = \frac{1}{|F_j|} \sum_{f_i \in F_j} \text{weight}(f_i) \quad (8)$$

\mathbf{w} は検索に用いる特徴数の次元を持つベクトルであり、初期値を1.0とした29次元で表される。 F_j はある特徴 j が依存する特徴のうち、ユーザが選択した地図と隣接する地図における差異が閾値を超えた特徴の集合である。 $\text{weight}(f_i)$ は特徴 j が f_i に依存して増加する場合は1.2を返し、 j が f_i に依存して減少する場合は0.8を返す関数である。 F_j の各要素から得られる数値を平均することにより、特徴 j に対する重み係数 w_j を算出する。なお、地図選択において差異が閾値を超えることがなかった場合は、 $|F_j|$ が0となるため、計算を行わず、 w_j は初期値である1.0のまま変更されない。

4.3 デフォルメ地図のランキング

デフォルメ地図のランキングを行う。生成した検索クエリベクトルとデフォルメ地図が持つ特徴ベクトルの間のユークリッド距離を用いてランキングを行う。算出式を以下に示す。

$$\text{dist}(\mathbf{q}, \mathbf{m}) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (q_j - m_j)^2} \quad (9)$$

\mathbf{q} はユーザの地図選択により生成された検索クエリベクトルを示し、 \mathbf{m} は任意のデフォルメ地図が持つ特徴ベクトルを示す。 j は特徴ベクトルの次元を示し、 n はベクトルの総数である29である。 $\text{dist}(\mathbf{q}, \mathbf{m})$ において、それぞれのベクトルの要素の次元ごとのユークリッド距離を合計することによりデフォルメ地図がクエリベクトルにどれだけ近いかを求める。これにより算出した数値が小さいデフォ

ルメ地図から上位にランキングする。なお、特徴ごとに領域は大きく異なるため、最大値を用いて0から1の値となるように正規化した状態で、検索における処理を行う。

5. 予備実験

5.1 予備実験1：オンライン地図システムとの比較

デフォルメ地図とオンライン地図システムの性質の違いを明らかにすることを目的とし、予備実験として、本研究において提案するデフォルメ地図検索エンジンと、既存のオンライン地図システムとの比較を行った。デフォルメ地図検索エンジンにおけるデータセットとして、清水寺が描かれた100枚の京都のデフォルメ地図を用いた。比較対象となるオンライン地図システムとしてGoogle Mapsを採用し、「京都」という語でキーワード検索を行った結果の領域を初期位置とした。被験者は6名の大学生であり、以下の質問に該当するオブジェクトを制限時間内に発見するタスクを行った。

タスク1 清水寺と金閣寺の間にある寺社仏閣にあたるオブジェクト（建物）を列挙してください。

タスク2 清水寺へ行く際に目印になるオブジェクト（建物）を列挙してください。

これらは一般的な地理情報検索のニーズを考慮した質問として経験的に設定した。これらの質問に対してユーザがそれぞれのシステムを用いて検索を行い、結果として得られたオブジェクトの数を比較した。

5.1.1 予備実験1の手順

実験は以下の手順に従い行う。

- (1) 被験者がGoogleMapsを用いてタスク1を行う。
- (2) 被験者が提案システムを用いてタスク1を行う。
- (3) 被験者がGoogleMapsを用いてタスク2を行う。

(4) 被験者が提案システムを用いてタスク2を行う。

(5) それぞれのタスクについて、被験者が列挙したオブジェクトの比較を行う。

なお、システムを使用する順序による影響を打ち消すために、手順の(1)から(4)は被験者ごとに入れ替えている。各探索時間は3分間とし、被験者は時間内に発見したオブジェクトを記録した。

5.1.2 予備実験1の結果

表3に予備実験に参加した被験者の属性を示し、被験者がそれぞれのタスクに対して発見したオブジェクト数を表4に示す。地図検索サービスの使用経験が少ない被験者CとDにおいて、デフォルメ地図による検索結果がオンライン地図による検索結果を上回っている。被験者CとDはオンライン地図を用いた検索において、キーワード検索やルート検索を用いずに、センタリングや移動操作を繰り返すことによりオブジェクトの検索を行った。そのため、オブジェクトの発見に時間がかかったと考えられる。一方で、地図検索サービスを複数回使った経験のある被験者A、B、E、Fは全員キーワード検索を使用しており、被験者B、E、Fはルート検索も加えて使用した。そのため、これらの機能を用いなかった被験者と比べて多くのオブジェクトを発見できたと考えられる。特に、被験者A、B、Eの検索結果においては、オンライン地図による検索結果がデフォルメ地図による検索結果を上回っている。つまり、オンライン地図における発見オブジェクト数は、ユーザの使用経験に依存すると考えられる。

一方で、デフォルメ地図における発見オブジェクト数は、オンライン地図に慣れていないユーザの発見数を上回り、他のユーザにおいてもオンライン地図と同程度の結果を示している。デフォルメ地図は、ある主題に対する同種のオ

表3 予備実験1における被験者の属性

Table 3 Attributes of participants on preliminary experiment 1.

	A	B	C	D	E	F
性別	女	男	女	女	男	男
地図の読解	不得意	不得意	不得意	得意	得意	得意
地図検索サービス	複数	複数	1度	1度	複数	頻繁
京都への訪問経験	複数	1度	頻繁	複数	1度	複数
清水寺への訪問経験	1度	なし	頻繁	複数	なし	複数

表4 Google Maps とデフォルメ地図検索エンジンによる発見オブジェクト数の比較

Table 4 Comparison of Google Maps with artificial map search engine.

	GoogleMaps-タスク1	提案システム-タスク1	GoogleMaps-タスク2	提案システム-タスク2
A	12	10	7	9
B	9	9	7	6
C	3	6	4	8
D	6	8	5	6
E	6	6	8	6
F	10	12	11	18

プロジェクト集合であるといえるため、寺社仏閣や目印にあたるオブジェクトがあらかじめ強調されており、検索の不得意なユーザでもオブジェクトの発見が容易であったと考えられる。

オンライン地図においてはキーワードを用いた検索や地図操作を使うことにより、情報を網羅的に検索することが可能である。しかし、ユーザの操作を主として検索を行うため、うまく扱えないユーザも存在する。一方で、デフォルト地図検索における操作は地図選択のみであるため、能力や経験による差は小さい。また、主題に応じて必要な情報があらかじめ強調されているため、要求に合致するデフォルト地図を得ることができれば、ユーザが情報の絞り込みを行う負担は小さい。また、検索対象が同じ観光地である場合でも、金閣寺や清水寺などの有名なオブジェクトや一般的なオブジェクトが取得可能である。

結論として、オンライン地図とデフォルト地図はメディアとしての性質が異なる。そのため、デフォルト地図検索エンジンの開発により、オンライン地図を用いてうまく検索ができないユーザを支援することが可能である。

5.2 予備実験 2：依存関係の抽出

5.2.1 予備実験 2 の手順

特徴間の依存関係を抽出するためのデータセットとして、あらかじめ収集した 100 枚の京都のデフォルト地図を用いる。これらは共通して、清水寺が記載された地図である。なお、被験者は 12 名の大学生であり、事前にアンケートを用いて被験者の属性を聴取した。被験者の属性を表 5 に示す。

被験者は差異増幅型適合性フィードバックを適用した検索インターフェースを用いて、複数の検索タスクを行う。検索タスクの設定において、我々は以下の 2 つの検索目的を考慮した。

- 位置確認
ユーザは特定のオブジェクトの位置や、他のオブジェクトの位置関係について確認する。
- 経路確認
交通機関を示すオブジェクトや、目的地に至るまでの経路上のオブジェクトを確認する。

我々はこれらの目的の妥当性を判断するために、画像検

索エンジンを用いて 200 枚のデフォルト地図を収集し、目的に基づいて地図を分類する予備検討を行った。これらの地図の検索においては、観光地図、グルメ地図、買い物地図などのクエリを用いた。次に、6 名の被験者に対して、200 枚のデフォルト地図をどちらの目的に合致する地図であるかという観点で分類するように指示した。なお、位置確認と経路確認は必ずしも独立の目的ではないため、両方の目的に対して有効な地図も存在する。そのため、位置確認と経路確認と両方に合致するという判断は許容する。半数以上の被験者が合致と判断した目的を、デフォルト地図の目的とした。

図 3 に予備検討の結果を示す。86%のデフォルト地図は、位置確認、経路確認、両方のいずれかに分類された。そのため、位置確認と経路確認という目的を実験のタスクにおいて考慮することにより、ユーザの主な要求を反映できると考えられる。

これらの目的に基づいて、以下の 4 つの検索タスクを設定した。

- (1) 清水寺と他の観光地との位置関係が分かりやすい地図を検索。
- (2) 清水寺への経路が分かりやすい地図を検索。
- (3) 好みの地図を検索。
- (4) 被験者自身がテーマを設定して検索。

位置確認と経路確認に加えて、不足を補うための自由なテーマを考慮している。なお、特定オブジェクトの位置や表現に関する特徴抽出には清水寺を用いている。各検索タスクにおいて、被験者は 3 回の地図選択を行う、それぞれの地図選択において、隣接する地図との差異が閾値以上であった特徴を、ユーザが重視している特徴として抽出する。このとき、ある特徴が増加すれば、別の特徴が減少するというような関係も考えられるため、差異が正値であるか負値であるかを考慮して抽出を行う。3 回分の地図選択で抽

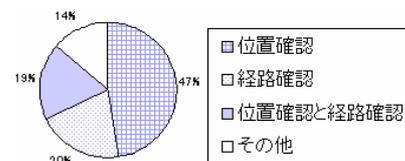


図 3 目的に基づく地図の分類結果

Fig. 3 Classification of maps based on each purpose.

表 5 予備実験 2 における被験者の属性

Table 5 Attributes of participants on preliminary experiment 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
性別	女	女	女	男	男	女	女	男	男	男	女	男
地図検索サービスの利用経験	頻繁	あり	頻繁	あり	頻繁	なし	あり	あり	頻繁	あり	頻繁	なし
地図の読解	得意	不得意	得意	得意	得意	不得意	不得意	不得意	得意	得意	不得意	得意
京都への訪問経験	あり	頻繁	あり	あり	頻繁	あり	あり	頻繁	頻繁	あり	あり	あり
清水寺への訪問経験	あり	あり	あり	なし	あり	あり	あり	あり	頻繁	あり	あり	あり

出したすべての特徴を、検索タスクにおいて重視される特徴の集合として扱う。予備実験では6名の被験者が4つの検索タスクを行うため、24個の特徴集合が得られる。これらの特徴集合から、29次元の特徴において、ある特徴を重視したら別の特徴も一緒に重視するという関係を抽出する。関係の強さを示すスコアとして、相関ルールにおける支持度と確信度の積を用いた。スコアが高いルールの上位5つを、検索に用いるための依存関係として抽出する。

5.2.2 予備実験2の結果

表6に特徴間の依存関係抽出の結果を示す。最も左に記載した数字は、特徴の識別番号である。左側に記載した特徴に依存して、右側に数値で記載した特徴が変化することを表し、+は特徴の差異が増加方向である場合を示し、-は減少方向である場合を示す。たとえば、実空間の大きさ(識別番号1)における差異が増加方向であったときは、中心からの距離(20)、彩度の差(28)、ランドマークの数(4)、色相の差(27)における差異が増加方向であり、横方向の分散(15)の差異は減少方向である。なお、表中における空欄は、依存関係抽出の実験において緯度方向の分

散の増加方向への差異が現れず、相関ルールの計算がされなかったことが原因となっている。しかし、すべての特徴に必ずしも依存関係が存在するというわけではないため、提案手法への影響はないと考えられる。抽出結果の例として、実空間の大きさ(1)とパスの数(6)に依存する特徴について考察を行う。

実空間の大きさ(1)が増加するとき、彩度の差(28)が増加し、横方向の分散(15)が減少している。彩度の差が高いことにより、ユーザは特定のオブジェクトを一目で発見しやすいため、同種のオブジェクトが増加したり、密集した表現がなされたりしていても、情報を読み取ることができると考えられる。

パスの数(6)が増加するとき、ノードの割合(13)が同時に重視されている。パスオブジェクトは、ユーザが目的地へ実際に移動を行う際に、どの経路を通ればよいかを決定するための要素になると推定できる。交通機関を示すノードオブジェクトとは、移動手段を示す要素という点で共通するため、特徴間に依存関係が見られると考えられる。

結果より、特徴間の依存関係を確認できた。これらの依

表6 特徴間の依存関係
Table 6 Dependencies among features.

No.	特徴名	(+)					(-)				
1	実空間の大きさ	20(+)	28(+)	4(+)	15(-)	27(+)	2(-)	17(-)	5(+)	16(-)	4(-)
2	縮尺	4(-)	18(-)	17(-)	19(+)	28(+)	1(-)	17(-)	5(+)	16(-)	27(+)
3	オブジェクトの数	3(-)	25(-)	28(-)	1(-)	12(-)	27(+)	21(-)	28(+)	19(+)	29(-)
4	ランドマークの数	28(+)	28(-)	3(-)	27(-)	27(+)	19(+)	12(-)	1(-)	28(-)	27(+)
5	ランドマークの割合	28(-)	7(-)	20(+)	29(-)	2(-)	29(+)	28(-)	22(-)	9(+)	7(+)
6	パスの数	4(-)	21(-)	13(+)	5(-)	9(+)	4(-)	3(-)	19(+)	5(+)	29(-)
7	パスの割合	28(-)	29(-)	6(-)	20(+)	22(-)	20(+)	18(+)	16(-)	10(-)	20(-)
8	エッジの数	28(-)	19(+)	27(-)	4(-)	17(-)	1(-)	2(-)	15(+)	4(-)	19(-)
9	エッジの割合	20(+)	27(-)	22(-)	4(-)	12(-)	5(+)	29(-)	27(-)	28(-)	14(-)
10	ディストリクトの数	20(+)	11(-)	21(-)	2(-)	1(-)	20(+)	2(-)	17(-)	7(-)	16(-)
11	ディストリクトの割合	28(+)	20(+)	29(+)	21(-)	16(-)	20(+)	17(-)	2(-)	7(-)	19(+)
12	ノードの数	29(-)	28(+)	29(+)	15(-)	4(+)	29(-)	28(+)	4(+)	21(-)	21(+)
13	ノードの割合	5(-)	9(+)	28(+)	29(+)	4(-)	2(-)	9(-)	29(-)	28(+)	29(+)
14	縦方向の分散	20(+)	5(+)	28(+)	27(+)	29(-)	5(+)	19(+)	28(-)	27(-)	29(-)
15	横方向の分散	20(+)	7(-)	29(-)	19(+)	8(+)	27(+)	19(+)	28(+)	3(-)	14(+)
16	緯度方向の分散						17(-)	1(-)	2(-)	19(+)	11(-)
17	経度方向の分散	20(+)	19(-)	3(-)	2(-)	7(-)	1(-)	2(-)	16(-)	5(+)	20(+)
18	特定オブジェクトの横位置	27(+)	7(-)	2(-)	28(+)	19(-)	7(-)	18(+)	3(-)	2(-)	28(+)
19	特定オブジェクトの縦位置	4(-)	28(+)	1(-)	9(+)	15(-)	27(+)	28(+)	20(+)	18(+)	3(-)
20	中心からの距離	19(+)	5(+)	18(+)	29(-)	28(+)	27(+)	3(-)	19(+)	7(-)	28(+)
21	方角	29(-)	21(-)	28(-)	4(+)	12(-)	29(-)	20(-)	3(-)	21(+)	4(-)
22	案内情報の有無	27(-)	14(-)	2(-)	15(+)	20(+)	20(+)	29(-)	19(+)	9(+)	28(-)
23	経路案内以外の文字情報の有無	29(-)	25(-)	17(-)	1(-)	25(+)	24(+)	1(-)	29(-)	25(+)	2(-)
24	画像の横サイズ	25(-)	29(-)	2(-)	25(+)	4(+)	25(-)	19(+)	27(+)	2(-)	1(-)
25	画像の縦サイズ	24(+)	24(-)	29(-)	25(-)	1(-)	19(+)	3(-)	1(-)	24(-)	4(-)
26	文字のサイズ	7(-)	20(+)	28(+)	18(+)	4(-)	28(-)	20(+)	29(-)	9(+)	14(-)
27	色相の差	20(+)	19(+)	14(+)	29(+)	18(+)	21(-)	9(-)	15(+)	14(-)	9(+)
28	彩度の差	20(+)	29(-)	14(+)	29(+)	3(-)	29(-)	27(-)	14(-)	1(-)	15(+)
29	輝度の差	20(+)	19(+)	29(-)	2(-)	14(+)	20(+)	28(+)	19(+)	4(+)	21(-)

存関係を用いることにより、検索におけるユーザの負担を軽減することができると考えられる。特に、数値的な相関がない2つの特徴において、1度の地図選択において同時に差異が出ることは少ないため、相関ルールを用いて抽出した依存関係を反映することは有効であると考えられる。

なお、依存関係をタスクに依存させて変更するというアプローチも考えられるが、本稿では、依存関係の組合せにより異なる検索タスクに対応する。構築した検索アプリケーションにおいては、選択した地図と選択しなかった地図の特徴の差異からユーザが重視した特徴を判定している。このとき、ノードが重視されたときにはパスを重視すべきであるという依存関係があったとし、ある検索タスク A に基づく選択では、特徴の差異から、ノードとランドマークが重視されたと判断された。ランドマークはパスとの依存関係がないため、ノードの依存関係によりパスの重みが増加する。一方で、検索タスク B に基づく選択では、ノードとエッジが重視されたと判断されたとする。エッジはパスを減少させるという依存関係がある場合、結果的にパスの重みは変化しない。このように、依存関係が変化しない場合でも、複数の特徴の依存関係の組合せにより検索タスクを表現可能であると考えている。

6. 評価

6.1 検索の精度評価

提案手法におけるデフォルメ地図検索の精度を確認するため、評価実験を行った。実験に用いるデータセットとして、清水寺が描かれた100枚のデフォルメ地図と八坂神社が描かれた100枚のデフォルメ地図を用いた。被験者は16名の大学生であり、以下の質問のそれぞれに応じて地図の選択を行った。表7に実験に参加した被験者の属性を示す。なお、被験者は依存抽出の実験に参加した被験者とは異なる。

各被験者は以下のタスクのうち、清水寺に関する検索タスクを1つと八坂神社に関する検索タスクを1つ行う。

- 清水寺（八坂神社）と他の観光地との位置関係が分かりやすい地図を選んでください。
- 清水寺（八坂神社）への経路が分かりやすい地図を選んでください。

被験者 A, B, C, D, E, F, G, H は清水寺の位置確認

と八坂神社への経路確認のタスクを行い、被験者 I, J, K, L, M, N, O, P は清水寺への経路確認と八坂神社の位置確認のタスクを行った。なお、これらは一般的な地理情報検索のニーズを考慮した質問として設定した。

これらの質問に対して得られるユーザの地図選択に基づき、地図の選択回数と平均逆順位 (Mean Reciprocal Rank: MRR) を用いて評価を行った。平均逆順位は一般的なランキングの評価指標として用いる。これは、順位付きの検索結果の評価に対して用いられるもので、正解が現れた順位の逆数の平均をスコアとし、以下の数式により表される。

$$MRR = \frac{1}{D_q} \sum_{k=1}^N \frac{r_k}{k} \quad (10)$$

k は検索結果における順位を示し、 r_k は k 位の検索結果が適合であれば1、そうでなければ0であり、 N は正解が現れた順位である。実験においてユーザが理想として選択した地図は1枚であるため、質問 q に適合する結果 D_q は1である。なお、実験における被験者の地図選択が終了した時点でのランキングを評価対象としている。評価対象となる手法は以下の4種類である。

- 差異増幅型適合性フィードバック (ベースライン)
- 地理特徴間の依存関係のみを使用した差異増幅型適合性フィードバック
- 画像特徴間の依存関係のみを使用した差異増幅型適合性フィードバック
- すべての特徴間の依存関係を使用した差異増幅型適合性フィードバック

6.1.1 実験の手順

実験は以下の手順に従い行う。

- (1) 被験者に100枚の地図を見せて、質問に対して最も有効な地図を選択させる。
- (2) ランダムに4枚の地図を被験者に提示する。
- (3) 被験者が質問に従って、少なくとも1つの地図を選択する。
- (4) 選択された地図に基づき、すべての地図のリランキングを行う。
- (5) ランキング結果の上位4枚を被験者に提示する。
- (6) 手順(1)で選択した地図が提示されるまで、手順(3), (4), (5)を繰り返す。

表7 実験における被験者の属性

Table 7 Attributes of participants on experiment.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
性別	男	男	男	男	女	女	女	女	男	男	男	男	女	女	女	女
地図の読解	不得意	得意	得意	得意	不得意	不得意	不得意	得意	得意	得意	不得意	不得意	不得意	得意	不得意	得意
地図検索サービス	1度	頻繁	頻繁	複数	1度	複数	1度	頻繁	頻繁	複数	複数	1度	1度	頻繁	頻繁	複数
京都への訪問経験	複数	複数	1度	頻繁	1度	複数	1度	頻繁	複数	頻繁	1度	複数	1度	頻繁	複数	頻繁
清水寺への訪問経験	1度	複数	1度	頻繁	なし	1度	なし	複数	複数	頻繁	1度	複数	なし	頻繁	複数	頻繁

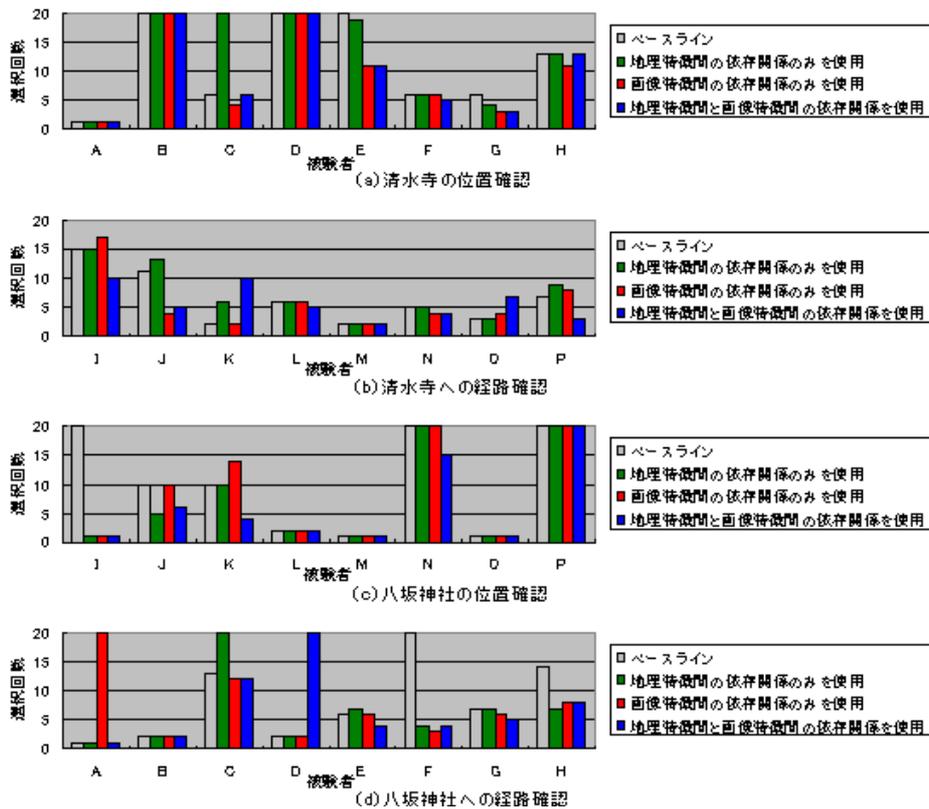


図 4 実験結果：オブジェクトの選択回数
Fig. 4 Experimental results: Number of selecting objects.

なお、手順 (6) における選択の繰り返しは 20 回を上限としている。

6.1.2 実験の結果

図 4 の (a) にユーザが清水寺の位置確認を行う際の検索における地図選択の回数を示す。被験者 C, E, F, G, H の結果において、いずれかの依存関係を使用した際に選択回数が減少している。被験者 A, B, D の結果においては、選択回数の変化がない。

図 4 の (b) にユーザが清水寺への経路確認を行う際の検索における地図選択の回数を示す。被験者 I, J, L, N, P の結果において、いずれかの依存関係を使用した際に選択回数が減少している。被験者 M の結果においては、選択回数の変化がない。一方で、被験者 K, O の結果においてはベースラインが最も優れている。

図 4 の (c) にユーザが八坂神社の位置確認を行う際の検索における地図選択の回数を示す。被験者 I, J, K, N の結果において、いずれかの依存関係を使用した際に選択回数が減少している。被験者 L, M, O, P の結果においては、選択回数の変化がない。

図 4 の (d) にユーザが八坂神社への経路確認を行う際の検索における地図選択の回数を示す。被験者 C, E, F, G, H の結果において、いずれかの依存関係を使用した際に選択回数が減少している。被験者 B の結果においては、選択回数の変化がない。一方で、被験者 A, D の結果にお



図 5 (a) 地理特徴間の依存関係が有効であった検索例、
(b) 画像特徴間の依存関係が有効であった検索例
Fig. 5 (a) An artificial map retrieved by using dependence among geographical features, (b) An artificial map retrieved by using dependence among image features.

いてはベースラインが最も優れている。

結論として、特徴間の依存関係を選定して検索に応用することにより地図の選択回数を減少させることが可能であると考えられる。地理特徴間の依存関係は、検索タスクにおいて「何が描かれているか」を重視する要素があるときに効果的であると考えられる。たとえば、駅が描かれており、かつ通りが描かれている地図を探す場合や、広い領域で、かつ少数のオブジェクトが描かれている地図を探すような場合が考えられる。図 5 の (a) の地図は図 4 の (c)

において被験者 J が検索した地図である。パスとノードの両方が多数描かれているため、地理特徴間の依存関係が強く影響したと考えられる。

一方で、画像特徴間の依存関係は、検索タスクにおいて「どう描かれているか」を重視する要素があるときに効果的であると考えられる。たとえば画像サイズが大きく、目的地となるオブジェクトが彩度の観点で目立つように描かれている地図を探すような場合が考えられる。図 5 の (b) の地図は図 4 の (a) において被験者 H が検索した地図である。画像のサイズが大きく、清水寺の周辺に赤い印があるため、目的地周辺の彩度の差が高くなっており、画像特徴間の依存関係が強く影響したと考えられる。

しかし、一般的な検索タスクにおいては「何が描かれているか」と「どう描かれているか」の両方が重視される場合が大半であると考えられるため、抽出できるすべての依存関係を用いる手法が最も有効であると考えられる。

図 6 においてそれぞれの検索タスクにおける平均逆順位のスコアを比較する。被験者ごとの検索タスクにおいて、ベースライン手法のみが最高値である場合は存在しない。そのため、依存関係を適用した場合、ランキングの精度を維持しつつ、地図の選択回数を減少させることが可能であると考えられる。

6.2 応用例

提案手法で抽出した特徴間の依存関係の応用例について説明する。デフォルメ地図検索はある地物名を入力して検索した際に、多量のデフォルメ地図が検索結果として該当する場合に有効である。一方で、少量のデフォルメ地図しかない地域では、検索結果数が限られており、すべての地図から要求に合致する地図を選択することが可能である。しかし、検索対象の地図が少ない場合、要求に合致する地図が見つからない場合が存在する。そのため、特徴間の依存関係を応用した他のアプリケーションとして、デフォルメ地図のカスタマイズシステムについて説明する。ここでは、ユーザインタラクションと特徴間の依存関係に基づき、地図のカスタマイズを行う。提案するシステムにおいて、ユーザは以下の操作を行う。

- 基準となる地図を指定する
入力された地図が持つ特徴を、最終的に出力する地図の基準として用いる。出力される地図が示す領域は主にこの操作により決定される。
- 特定のオブジェクトを強調、削除する
出力において、ユーザが興味を持っているオブジェクトや関連するオブジェクトを強調し、削除したいオブジェクトを省略する。ユーザが重要視するオブジェクト

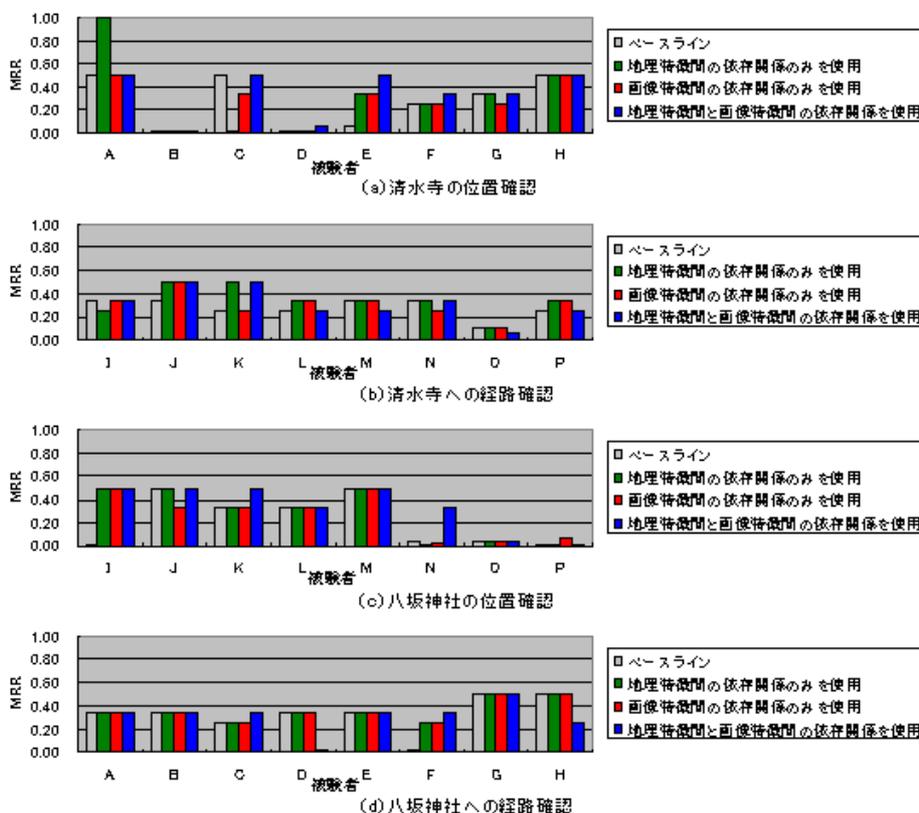


図 6 実験結果：平均逆順位
Fig. 6 Experimental results: MRR.

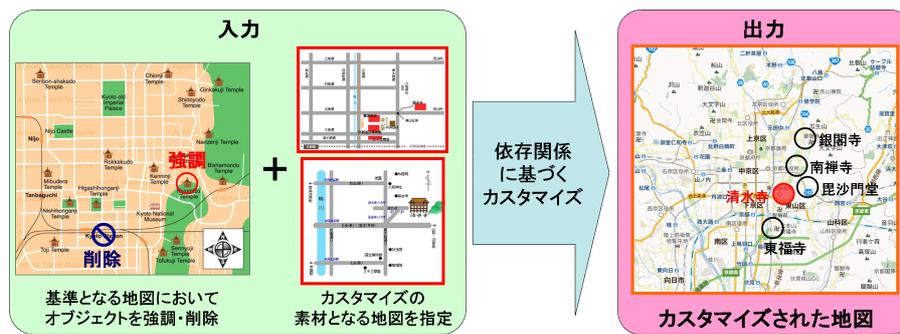


図 7 地図のカスタマイズ例

Fig. 7 An example of map customization.

トの種類も推定可能であると考えられる。

- カスタマイズの素材となるデフォルメ地図を選択する既存のデフォルメ地図を選択するという操作により、少ない負担で要求を入力可能である。たとえば、地域の概観を確認するために、オブジェクトが遍在する地図を選択することが考えられる。

それぞれの操作について、図 7 のカスタマイズ例を用いて説明する。ユーザは基準となる地図として、オブジェクトが遍在する京都の地図を指定している。さらにユーザは清水寺を強調し、京都駅を削除するという操作を行っている。次に、ユーザはカスタマイズの素材として2つのデフォルメ地図を選択している。これらの地図は、清水寺の周辺を詳細に描いている点で共通している。そこで、システムは基準となる地図と素材となる地図の特徴の差に基づき、画像内におけるオブジェクトの分散が重要な特徴であると推定する。これにより、清水寺周辺が詳細に描かれた京都の広域地図が出力される。なお、表示される領域の広さやオブジェクトの絶対量は、選択された地図における広さや数の数値を平均することにより決定することが可能である。さらに、本研究で抽出した画像内の分散と彩度の差の依存関係を用いてカスタマイズを行う。横方向の分散が小さくなるならば、彩度の差は大きくなるため、清水寺を輝度の観点で強調した京都の地図が出力される。このように配置することにより、ユーザは清水寺の位置を容易に把握し、周辺のオブジェクトを詳細に確認することができる。

7. おわりに

地理特徴と画像特徴の依存関係抽出を行い、依存関係の応用例として、ユーザの検索要求に合致するデフォルメ地図の検索アプリケーションを提案した。デフォルメ地図では、主題に応じて必要な情報があらかじめ強調されているため、要求に合致するデフォルメ地図を得ることができれば、ユーザが情報の絞り込みを行う負担はオンライン地図より小さいと考えられる。

検索においてデフォルメ地図の内容を解釈するために、

地理特徴と画像特徴を用いた。これらの特徴間に依存関係が存在し、本研究では検索時におけるユーザの入力の負担軽減を目的として、これらの依存関係を用いた。まず、実験により相関ルールを用いて特徴間の依存関係を抽出した。結果として、「実空間の大きさが増加するとき、彩度の差が増加する」という関係や、「パスの数が増加するとき、ノードの割合が増加する」という関係を抽出した。抽出した依存関係を差異増幅型適合性フィードバックに応用し、検索精度の評価を行った。

今後はシステムを構築し、ユーザの利用場面を想定した評価を行う。課題として、特徴間の依存関係の抽出の際に、相関ルールの条件部と結論部における特徴の数を増加して処理を行うことが考えられる。本稿では単一の特徴から単一の特徴への依存関係を扱ったが、依存関係をまとめたかたちで処理することにより、さらに検索結果を改善することが可能であると考えられる。また、依存関係をどのように反映するかをさらに検討する必要がある。検索や生成において適切な結果を出力するために、地理特徴間と画像特徴間における依存関係のそれぞれに適切な重みをつける手法が必要である。

本稿では多数のデフォルメ地図が存在する京都を対象として実験を行ったが、デフォルメ地図の総数が少ない地域においては、提案手法の有効性は低い。今後の課題として、本研究で用いたデフォルメ地図の特徴と依存関係を応用することにより、新しく地図を生成することを考えている。これにより、既存の地図の有無に限らず、ユーザの検索要求に合致する地図を提示可能である。

謝辞 本研究の一部は、平成 25 年度科研費若手研究 (B) 「ユーザ閲覧行動と周辺コンテンツの質の評価に基づく協調型画像撮影アシスト方式」(課題番号: 24700098) によるものです。ここに記して謝意を表すものとします。

参考文献

- [1] Kobayashi, K., Lee, R. and Sumiya, K.: Systematic Measurement of Human Map-Reading Ability with Street-View based Navigation Systems, *Proc. 4th Interna-*

tional Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC 2010), pp.286-293 (2010).

- [2] Matsuo, J., Kitayama, D., Lee, R. and Sumiya, K.: Modified Map Search Engine: Geographical Features Extraction for Ranking of Modified Maps, *Proc. 5th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC 2011)*, pp.90:1-90:7 (2011).
- [3] 中島伸介, 木下真一, 田中克己: 差異増幅型適合フィードバックに基づく画像データベース検索, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-D1, No.2, pp.164-174 (2004).
- [4] Kohonen, T.: The self-organized map, *Proc. IEEE*, Vol.78, No.9, pp.1464-1480 (1990).
- [5] Honda, H., Yamamori, K., Kajita, K. and Hasegawa, J.: A System for Automated Generation of Deformed Maps, *Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications (MVA 1998)*, pp.149-153 (1998).
- [6] 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).
- [7] Agrawala, M. and Stolte, C.: Rendering effective route maps: Improving usability through generalization, *Proc. 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2001)*, pp.241-249 (2001).
- [8] Osaragi, T. and Onozuka, S.: Map element extraction model for pedestrian route guidance map, *Proc. 4th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI 2005)*, pp.144-153 (2005).
- [9] Grabler, F., Agrawala, M., Summer, R.W. and Pauly, M.: Automatic Generation of Tourist Maps, *Proc. 35th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2008)*, pp.1-11 (2008).
- [10] Michelson, M., Goel, A. and Knoblock, C.A.: Identifying Maps on the World Wide Web, *Proc. 5th International Conference on Geographic Information Science*, pp.249-260 (2008).
- [11] Chiang, Y.-Y. and Knoblock, C.A.: Automatic Generation of Tourist Maps, *Proc. 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, pp.138-147 (2009).
- [12] Newsam, S., Leung, D., Caballero, O., Floreza, J. and Pulido, J.: CBGIR: Content-based geographic image retrieval, *Proc. 18th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, pp.526-527 (2010).
- [13] Lynch, K.: *The Image of the City*, The MIT Press (1960).



松尾 純輝

2011年兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科卒業。2013年兵庫県立大学大学院環境人間学研究科博士前期課程修了。同年株式会社ネクスト入社, 現在に至る。



北山 大輔 (正会員)

2007年兵庫県立大学大学院環境人間学研究科博士前期課程修了。2009年兵庫県立大学大学院環境人間学研究科博士後期課程修了。同年兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科客員研究員および日本学術振興会特別研究員

PD。2011年兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科特任助教。2012年工学院大学情報学部助教, 現在に至る。博士(環境人間学)。映像データベース, マルチメディアデータベースを研究。電子情報通信学会, 日本データベース学会各会員。



角谷 和俊 (正会員)

1988年神戸大学大学院工学研究科修士課程修了。同年松下電器産業(株)入社。ソフトウェア開発環境, マルチメディアデータベース, データ放送の研究開発に従事。1998年神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程情報

メディア科学専攻修了。1999年神戸大学都市安全研究センター都市情報システム研究分野講師, 2000年同助教授。2001年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授。2004年兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科教授, 現在に至る。博士(工学)。IEEE Computer Society, ACM, 電子情報通信学会, 日本データベース学会等各会員。

(担当編集委員 熊本 忠彦)