

注視点を考慮したデジタル写真の検索インタフェース

藤田 秀之[†] 有川 正俊[†] 岡村 耕二[‡]

[†] 東京大学空間情報科学研究センター 〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1

[‡] 九州大学情報基盤センター 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

E-mail: [†] {fujita, arikawa}@csis.u-tokyo.ac.jp, [‡] oka@ec.kyushu-u.ac.jp

あらまし GPS 等の普及により、写真を撮影しながら、その位置や方向を自動的に記録する事が可能になり、WEB 上に流通するデジタル写真を空間データとして扱う枠組みが整った。現在、WEB 上の位置情報付きデジタル写真は、撮影時のカメラ位置(視点)の座標をキーとして扱われており、風景写真としての特性が考慮されていない。そこで本論文では、空間データとしての風景写真の直感的な検索を実現するため、写真の注視点を重視した検索手法を検討する。具体的には、自然言語による検索インタフェースと、地図上での検索インタフェースの2種類を提案する。本論文では、実装したプロトタイプシステムの紹介も行う。

キーワード 撮影ベクトル場、デジタル写真、位置情報、情報検索、ユーザインタフェース

Retrieval System for Digital Photographs using Observing point of Photographs

Hideyuki FUJITA[†] Masatoshi ARIKAWA[†] and Koji OKAMURA[‡]

[†] Center for Spatial Information Science, University of Tokyo 4-6-1, Komaba, Meguro-Ku, Tokyo 153-8904, Japan

[‡] Computing and Communications Center, Kyushu University 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581, Japan

E-mail: [†] {fujita, arikawa}@csis.u-tokyo.ac.jp [‡] oka@ec.kyushu-u.ac.jp

Abstract Many kinds of spatial sensors including GPS have become popular today. By using these sensors, we can take photographs and automatically generate spatial metadata including the camera's location and direction. Those digital photographs which have spatial metadata can be managed as spatial data. Many applications use the coordinate of viewpoints of photographs in managing those photographs. But coordinate of observing points of photographs is more important for user. The aim of this research is making retrieval interface for those photographs using their spatial structure. We introduce retrieval systems using text and using map. We show implemented our prototype system.

Keyword Photo Vector Field Model, digital photograph, positional information, information retrieval, user interface

1. はじめに

デジタルカメラの普及により、写真を撮るという行為がかつてないほど一般化しており、WEB 上には多数のデジタル写真が流通している。また、GPS や電子コンパス等の空間センサの普及により、写真を撮影しながら、撮影時の位置や方向を自動的に記録することが可能になった。現在では、デジタルカメラと GPS を搭載する携帯電話も販売されている。デジタル写真に付与するメタデータの国際標準である Exif format[1]が策定され、多くのデジタルカメラが採用している。この format には、GPS 情報も含まれているため、写真を撮影した際の位置や方向などの情報が写真とセットになって流通することになる。本研究は、このような状況を、写真を空間データとして扱う枠組みが整ったととらえ、WEB を介して一般ユーザが利用することを想定し、空間データとしての風景写真に対する直感的な

検索インタフェースの開発を、撮影ベクトル場モデル [2]に基づき行ってきた。

写真を検索する際のユーザから問い合わせの形態として、

- (1) 自然言語による検索
- (2) 地図上での検索
- (3) 写真同士の連携による検索

等が考えられる。このうち、(3)写真同士の連携による検索に関しては、前回の DEWS の論文 [2]でとりあげた。本論文は、(1)自然言語による検索と、(2)地図上での検索をとりあげる。写真データの特徴である、ある範囲の空間と関連付けられるという点を利用する検索手法を提案する。なお、写真同士の連携による検索インタフェースにおいては、写真同士が空間的に連続性を保つことが必要なため、写真には、高精度な 3 次元の位置・方向情報を付与する必要があり、また、写真デー

タを高密度に整備することが必要である。そのため、この検索インタフェースを実現した前回の論文では、首振りカメラで機械的に撮影した写真を用いた。他方、本論文で提案する 2 種類の検索インタフェースは、GPS 付きデジタルカメラ等で、一般ユーザが撮影した写真を扱うことを想定している。想定される写真データの空間的な密度はそれほど高くない。

本論文の構成をまとめると、2 章で撮影ベクトル場モデルにおいて、写真に付与する空間メタデータの幾何モデルと、データ構造を定義する。3 章で自然言語による検索インタフェースを提案し、4 章で地図上での検索インタフェースを提案する。また、3 章、4 章の後半では、それぞれの検索インタフェースを実装したプロトタイプシステムの紹介を行う。最後に、5 章で結論と今後の方針をまとめる。

2. 撮影ベクトル場モデル

本章では、写真群を空間的に組織化するためのデータ構造と、ユーザが地図上で写真を扱う際のインタフェースを検討する。1 枚の写真は、幾何学的には、ある範囲の空間に対応するため、写真群を空間的に組織化するという事は、幾何学的には、写真が切り取る空間を一意に決定付けることを意味する。そこで、2 次元画像と 3 次元空間との関係を処理する既存の技術をとって、CG をとりあげ、写真と空間を関連付ける基本的な幾何モデルをまとめる。ここで、写真が切り取る空間を一意に決定付けているパラメータに着目し、これを参考にして、本研究の提案する撮影ベクトル場モデルにおいて、写真と空間を関連付ける幾何モデルと、写真に付与する空間メタデータを決定する。次に、ユーザにとって写真は視点と注視点の 2 点に関連付けられることを示し、写真を提示する際のインタフェースとして視点から注視点へのベクトルである撮影ベクトルを提案する。

2.1. CG における幾何モデル

CG は 3 次元空間から 2 次元画像を合成する技術である。図 1 が CG で利用される、画像と空間を関連付ける幾何モデルであり[3]、一般に FOV(Field Of View) モデルと呼ばれる。 V_1, V_2 の 2 本のベクトルはカメラベクトルと呼ばれ、カメラの姿勢を決定する。 V_1 が撮影方向を、 V_2 はカメラの上面の方向を決定するベクトルであり、 V_2 は撮影方向を軸としたカメラの回転を決定するともいえる。3 次元空間から 2 次元画像を合成する際、対象となる 3 次元空間内に仮想カメラを配置して、投影される画像を計算するという手法がとられる。一般的な CG のツールにおける、仮想カメラを操作するための空間的なパラメータは、

- ・ 視点(カメラの位置)

- ・ カメラベクトル(2 本)
- ・ 画角

である。これらのパラメータで、写真の切り取る空間が一意に決定される。

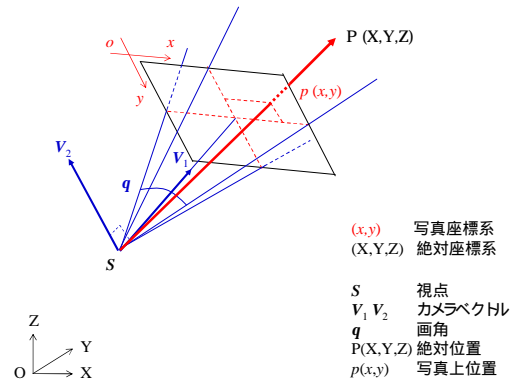


図 1. CG において画像と空間を関連付ける基本モデル

2.2. 幾何モデルとデータ構造の定義

本研究で扱う風景写真に対しても、前節の CG における基本モデルが流用できる。ただし、CG において、カメラの姿勢は、撮影方向のベクトルと、撮影方向を回転軸としたカメラの回転とで表現されるが、本研究が想定する一般的な写真において、撮影方向を回転軸としたカメラの回転は、カメラを縦に構えて撮影するか、横に構えて撮影するかの 2 通りにほぼ絞られ、通常はカメラの回転というより、写真の縦横比の変化として認識されている。写真の縦横比は、画像サイズから自明であるため、本モデルにおいては、撮影方向を回転軸としたカメラの回転はパラメータとして考慮しない。また、データ取得の観点からも、現在一般的な空間センサである、GPS と電子コンパスとで取得できるのは、視点の位置と撮影方向のみである。図 2 が撮影ベクトル場モデルにおいて、写真と空間を関連付ける幾何モデルである。

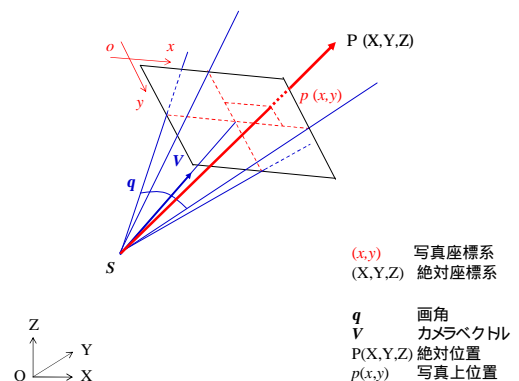


図 2. 撮影ベクトル場モデルにおいて写真と空間を関連付ける基本モデル

写真が切り取る空間を一意に決定付けるパラメータと、各パラメータを取得するための空間センサをまとめると次のようになる。

- ・ 視点 (x, y, z) GPS
- ・ 撮影方向 (q, f) 電子コンパス
- ・ 画角 (q_v) カメラ内部パラメータ

撮影ベクトル場モデルにおいては、これらのパラメータを各写真に対して空間メタデータとして付与する。

2.3. 写真の注視点の考慮

ユーザにとって写真はある位置からある対象を撮影したものであるため、ユーザにとって写真に関連付けられる位置は、図3に示すように撮影時のカメラの位置と撮影対象のオブジェクト位置の2点があると考えられる。前者を視点と呼び、後者を注視点と呼ぶ。

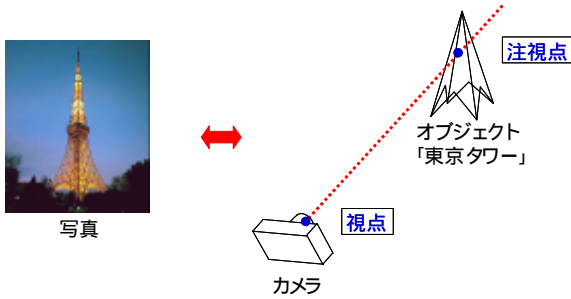


図3. ユーザにとって写真に関連付けられる位置

この傾向を確かめるため、既存の画像検索サイト (google イメージ検索[#])を用いた調査を行った。「東京タワー」を検索した結果が図4である。図5.aのような東京タワー「を」撮影した写真と、図5.bのような東京タワー「から」撮影した写真とが検索された。なお、「その他」には、検索ミス以外に、東京タワーのイラスト、置物等も含めた。

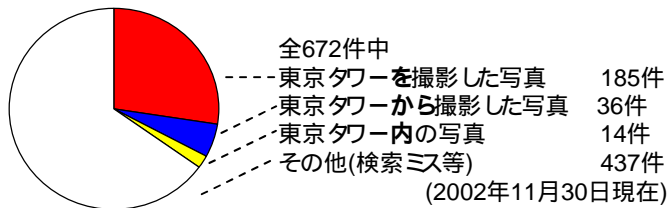
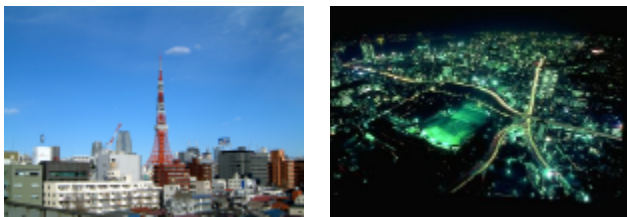


図4. google イメージ検索による「東京タワー」検索結果



a. 東京タワーを撮影した写真 b. 東京タワーから撮影した写真

図5. 「東京タワー」検索結果の写真の例

東京タワー「を」撮影した写真は、写真を注視点に関連付けており、東京タワー「から」撮影した写真は、写真を視点に関連付けているといえるため、ユーザにとって写真は視点に関連付けられる場合と、注視点に関連付けられる場合とがあるということが確かめられた。また、前者は後者より数が多く、その数には5倍程度の差があったことから、WEBサイト上で写真を公開するユーザは、写真を視点よりも注視点の情報と関連付けて用いる傾向が強いということを示している。東京タワーは展望台であり、東京タワー「から」撮影した写真は他のオブジェクトの場合と比べて多い方であると考えられるため、風景写真全般に関して考えると、この傾向はより強いと考えられる。

これらの傾向を踏まえ、本研究では、ユーザが地図上で写真を扱う際のインターフェースとして、視点から注視点へのベクトルを用いる(図6)。このベクトルを撮影ベクトルと呼ぶ。

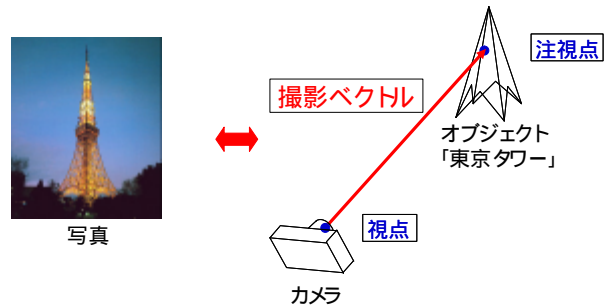


図6. 撮影ベクトル

3. 自然言語による風景写真の空間的検索

本章では、自然言語によるユーザの問い合わせに対して、空間的に写真の検索を行う枠組みを検討する。例えば、「東京タワー」というユーザの問い合わせに対して、写真のデータベースから東京タワーの写っている写真をできるだけ多く検索することが目標である。まず、既存の代表的な写真の検索サイトに関して、その検索方法をまとめる。本研究で扱う写真は、空間メタデータを付与された写真であり、その空間データとしての特徴を活かした検索方法を検討する。ユーザからの写真の問い合わせに用いられるテキスト情報を位置座標としてとらえる枠組みをまとめ、自然言語による問い合わせを空間的な検索としてとらえることで、写真に写っている複数の地物名でその写真を検索できる枠組みを提案する。

3.1. google イメージ検索

現在、WEBブラウザを含む多くのアプリケーションにおいて、ファイルの検索はファイルの種類にかかわらず、自然言語で行われるのが一般的である。WEB上で画像専用の検索サイトとして実際にサービスが行わ

れているものとして、図7に示す google イメージ検索 [4]がある。2002年時点で3億9000万以上の画像の検索が可能である。ユーザからの問い合わせは自然言語で行われ、検索結果として、サムネイル画像が並び、画像ファイル名、画像サイズ、ファイルサイズ、画像のURLが表示される。具体的なアルゴリズムは公開されていないが、「画像に隣接するテキスト、画像のキャプション、およびその他数多くの要因を分析」[4]していると述べられていることから、htmlファイルのimg要素のaltオプションやtitleオプション等の画像ファイルに対するメタデータと、htmlファイル内で画像の近くにあるテキストを解析して、「~の写真」「~の画像」のように、特定の語と結びついているキーワードから索引を生成していると考えられる。つまり、通常のテキスト検索と同様に、自然言語によるindexを持ち、自然言語により問い合わせを処理するという枠組みである。

google イメージ検索は全ての画像を検索対象としているが、検索対象の写真が空間メタデータを持った場合、自然言語による問い合わせであっても、空間データであるという特徴を活かした検索方法が考えられる。次節以降でその枠組みを検討する。



図7 .google イメージ検索

3.2. 自然言語と位置座標

まず、本節で用いる語の定義を示す[5]。

間接位置参照：住所や地物名等の実世界での位置を表すテキスト情報

直接位置参照：(東経, 北緯)等で表される実空間での座標

アドレスマッチング：間接位置参照と直接位置参照を相互に変換する技術。膨大な対応表を介して変換を行う。WEB上のアプリケーションサーバによるアドレスマッチングサービスも存在する[6]。

地物:実空間のオブジェクトを示すGISの分野の用語。本研究では主に、ビル名や店舗名等、生活者に身近なスケールのオブジェクトを示す。

ユーザが自然言語により写真の問い合わせを行う際に用いられるテキスト情報は、「東京タワー」や「丸ビル」等の地物名であることが考えられる。これらの情報は間接位置参照であり、アドレスマッチングにより直接位置参照に変換することで、位置座標ととらえることができる。したがって、自然言語による問い合わせは、空間的な問い合わせとしてとらえることができる。

3.3. 自然言語による風景写真の検索の検討

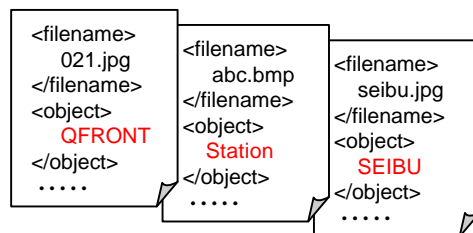
3.1節で見たとおり、自然言語による写真の検索を実現する手法としては、写真ファイル名等の写真に関連付けられたテキスト情報をキーとして用いるものが一般的である。しかし、写真ファイル名は「0012.jpg」のように、オブジェクト名とは無関係の通し番号であったりする場合が少なくない。また、写真ファイルが埋め込まれるhtmlファイルのimgタグに関しても、altやtitleといった属性は多くの場合未記入である。つまり、写真ファイル名やキャプションとして写真に付与されるテキストをキーとするテキスト検索では、目的の写真が存在しても、検索にかからない場合が多くなる。この問題を解決するためには、図8に示すように、写真に対して、そこに写っている地物名を、ファイル名等の形ではなく、明示的にメタデータとして付与する枠組みが考えられる。

ユーザの問い合わせ

QFRONT

自然言語

テキストによるファイル検索



021.jpgが検索される

図8 .地物名をメタデータとして付与することによる写真の検索

この枠組みでは、付与されたテキストによる検索は可能になるが、以下の問題が生じる。

- (1) 同じ地物であっても、ユーザが与える地物名はまちまちである
 - (2) 写真に写っている地物はひとつではない。
- (1)は、例えば「渋谷駅前交差点」というメタデータが付与されている写真は、同じ交差点を示す名称であっても、「八千公前交差点」では検索されないという問題である。この問題の解決には、この問題は、写真に対

して複数の地物名をメタデータとして付与することで解決されるが、ある地物に対する複数の呼称等の情報は再利用性の高い情報であるため、各写真に対して付与するのではなく、辞書として1箇所に整備し、これを全ての検索において利用するという枠組みが有用である。この辞書の整備は、アドレスマッチングで利用される地物名と位置座標との対応表を充実させることに他ならない。(2)の問題は、例えば図9に示す写真は、「八チ公前交差点」、「QFRONT」(ビル名)、「TSUTAYA」(店舗名)「スターバックス」(店舗名)等のいずれのキーワードに対しても検索されるべきだが、これらのテキストがメタデータとして付与されていない限り、この写真は検索されないというものである。さらに、写真によっては、ユーザが指定するキーワードが無数に考えられる。この問題は、自然言語による問い合わせを空間的な検索ととらえ、写真に付与された空間メタデータを利用して解決することができる。次節でこの枠組みを解説する。

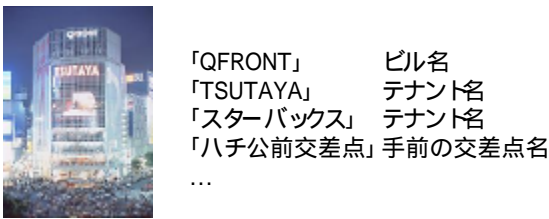


図9.さまざまな地物名が関連付けられる写真

3.4. 地物名を利用した自然言語による写真の検索インターフェース

本節では、自然言語で行われるユーザからの問い合わせに対して、各写真に付与された空間メタデータを利用して写真を検索する枠組みを提案する。

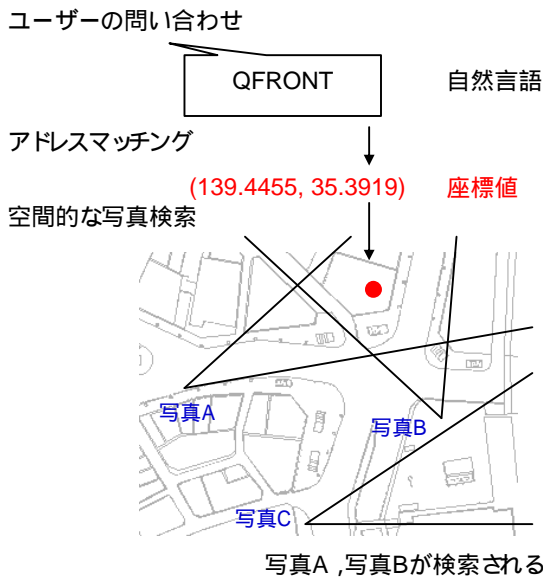


図10.自然言語による写真の検索手順

この枠組みにより、写真に写っている複数の地物名で写真を検索できる。図10にその手順を示す。

まず、ユーザからの自然言語による問い合わせを、アドレスマッチング処理により1点の座標に変換する。そして、画角内にその点を含む写真を検索結果として選び出す、というものである。ここで、画角内に問い合わせの行われた点を含むかどうかの計算手順を示す。問い合わせの座標値を $q(x, y)$ とし、ある写真に付与された、視点 $v(a, b)$ 、撮影方向 q 、画角 q_v とするとき、

$$q - \frac{q_v}{2} < \arccos \frac{x-a}{|qv|} < q + \frac{q_v}{2} \quad (1)$$

の関係があれば、問い合わせが行われた点は画角内に存在することになり、その写真は検索結果と成りうる。この計算では、どんなに遠い場所で撮影された写真でも、問い合わせが行われた点の方向を撮影していれば、検索結果として選択されてしまうため、問い合わせの行われた点 q と視点 v の距離を考慮し、検索結果のスコア付けを行う。この距離が近ければ近いほど、その写真を適切な検索結果として選択する。

3.5. 実装

自然言語で行われるユーザからの問い合わせに対して、各写真に付与された空間メタデータを利用して写真を検索するプロトタイプシステムを実装した。既存のアドレスマッチングサービスを利用すると、現時点では住所から座標への変換は行えるがものの、ビル名や店舗名等の地物名に関しては変換テーブルが整備されていないため、地物名から座標値への変換は行うことができない。そこで、テストデータとして写真を撮影した渋谷駅の八チ公口付近における、地物の空間データベースを作成し、これを地物名から座標値への変換に用いた。テストデータとして用いた写真には、2章で示した撮影ベクトル場モデルにおける空間メタデータが付与されている。地物の空間データベースは、地物名と(東経, 北緯)の対応を記したテーブルである。図11がシステムのユーザインターフェースである。



図11.プロトタイプシステムのユーザインターフェース

ユーザがテキストボックスに自然言語による問い合わせを記入すると検索結果の写真のサムネイルが、検索スコアの高い順に並ぶ。検索の高速化のための写真データ群の indexing や、検索問い合わせに使われたテキストの自然言語処理等は、現時点では未実装である。なお、本システムで用いた地物名の空間データベースは、位置情報を持っているため、地図上への重ねあわせを行うことができる。さらに、この地物名の空間データベースにおいて、高さ情報を加えた3次元の座標を付与すると、これらの地物名を各写真上の適切な位置に注釈として自動的に配置することができる[2]。

4. 地図インタフェースを利用した写真の空間的検索

本章では、空間データとしての写真の検索を行う際、地図を検索インタフェースとして用いる枠組みを検討する。ユーザにとって直感的な検索インタフェースを提供することを目的とする。まず位置情報付き写真を扱うことができる既存の地図アプリケーションを紹介する。次に、写真データの存在を地図上に図示する方法を検討し、視点から注視点へのベクトル(撮影ベクトル)として図示する方法の有効性を述べる。さらに、地図上に図示される撮影ベクトルを利用して写真を検索するインタフェースを提案する。

4.1. 位置情報付き写真を扱う既存の地図アプリケーション

図 12 に例をあげるように[7]、いくつかの地図ソフトが、Exif format の GPS 情報を用いて、写真を自動的に地図上にプロットする機能を実現している。GPS 搭載カメラで取得できる値は、撮影時のカメラの位置であるため、これらの地図ソフトでは、撮影時の視点(カメラの位置)の座標に写真が関連付けられている。地図上では、各写真の視点にその写真のサムネイルや写真ファイル名が配置される。地図を写真の検索インタフェースとしてとらえると、地図上をクリックすることで、その点を視点とした写真が検索されることになる。

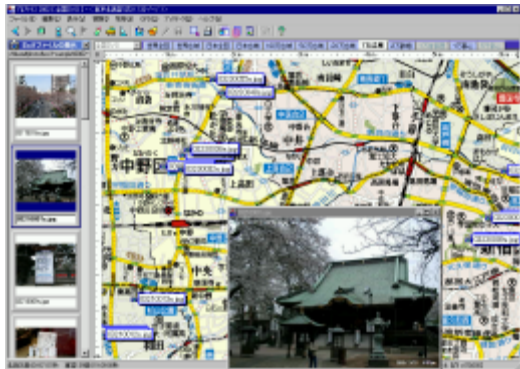


図 12. プロアトラス 2002

4.2. 写真を地図上に表現する手法

本節では、ユーザが地図上で写真を検索する際のインタフェースとして、写真を地図上に図示する方法を検討する。幾何学的には、写真に写された内容は、ある範囲の空間に対応する。しかし、写真が切り取る空間の地図平面上への射影を地図上に完全に図示すると、複数の写真を図示した場合、煩雑になる。そこで、写真を地図上に図示する方法をいくつかあげる。

- ・ 1点(視点)
- ・ 1点(視点)と方向 カメラベクトル
- ・ 2点(視点と注視点) 撮影ベクトル

前節で見たように、既存のアプリケーションでは、写真を地図上で1点として示している。写真は視点の座標で代表して表現される。しかし、2.3節で示した通り、ユーザにとって、写真は視点に関連付けられる場合と、注視点に関連付けられる場合とがある。つまり、地図上に写真に対応して1点が図示されているとき、その写真はその点から見た写真なのか、その点を見た写真なのかははっきりしない。また、どちらかという、写真は注視点に関連付けられる傾向が強いため、現状のアプリケーションに多い、写真を視点に置く枠組みは直感的ではない。

次に、写真に付与された空間メタデータである、視点と撮影方向を利用すると、1点と方向で写真を図示することになる。この場合も、写真を直接注視点と関連付けることができない。

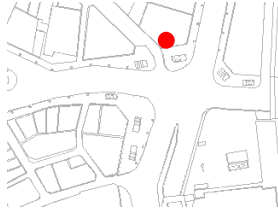
そこで、本研究では、写真を視点と注視点の2点で地図上に図示する。視点から注視点へのベクトルを撮影ベクトルと名づける。この場合、注視点は、システムの利用時にユーザが決定することになる。これは、注視点は撮影時に自動的に取得できないことや、撮影時には、注視点は画面の中心の1点と定めることができるが、利用時には、同一の写真であってもユーザによって注視点はまちまちであるということに対応している。すなわち、撮影ベクトルは各写真がどこからどこを見たものなのかということをおあらかじめ決定しておくものではなく、システムの利用時に、ユーザがどこからどこを見ているのかということをお地図上で図示するために利用する。

4.3. 撮影ベクトルを介した地図上での検索インタフェース

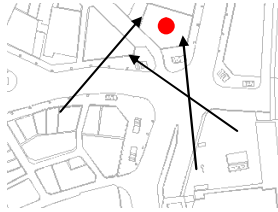
視点と注視点を地図上で指定して写真を検索する枠組みを検討する。写真の再利用性の観点から、完全に中心には写っていないくても、問い合わせの行われた注視点を画角内に含む写真を検索する枠組みを提案する。ここで、視点と注視点の数について触れると、この枠組みでは、地図上で視点と注視点を指定して写真を検索する際、指定できる視点は写真の枚数と同じで

あり、数が限られるが、指定できる注視点は、各写真の画角の中に含まれていればよいための、無数に存在する。そこで、注視点は自由に指定し、視点は選択するという検索手順をとる。図 13 にその手順を示す。まずユーザが地図上で注視点を自由に指定して、問い合わせの行われた点を画角内に含む写真を複数枚選びだして撮影ベクトルとして地図上に表示し、次に、ユーザがその中からベクトルを選択する、つまり、写真を選択するというものである。

ユーザーの問い合わせ(注視点)
地図上クリック



指定された注視点近傍の撮影ベクトルの表示



ユーザーの問い合わせ(視点)=写真の決定
撮影ベクトルの選択

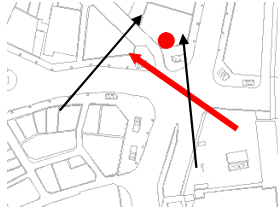


図 13 .撮影ベクトルを介した地図上での写真の検索手順

ここで、指定された点が画角の中に含まれるための条件は 3.4 節で示した式(1)と同様であり、また、どんなに遠い場所で撮影された写真でも、問い合わせが行われた点の方向を撮影していれば、検索結果として選択されてしまうため、指定された点と視点との距離を考慮する点も同様である。

図 14 に、選び出された写真を撮影ベクトルとして表示する方法を示す。前節に示したとおり、付与された空間メタデータを利用すれば、写真は点と方向で図示されるものであるため、写真を撮影ベクトルとして図示するということは、点と方向で現された半直線(カメラベクトル)の長さを指定することにあたる。具体的には、図 11 に示すとおり、写真を示す半直線を、問

い合わせの行われた点との距離が最短となる点で切断し、切断した点を終点として撮影ベクトルとする。

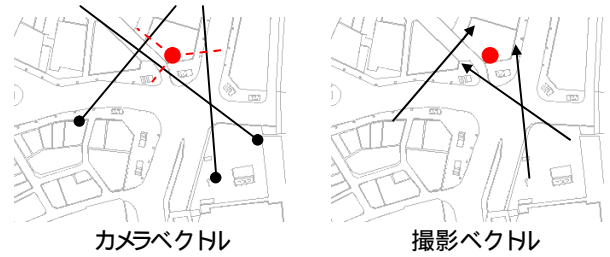


図 14 .撮影ベクトルの生成

4.4. 実装

地図上で行われるユーザからの問い合わせに対して、各写真に付与された空間メタデータを利用して写真を検索するプロトタイプシステムを実装した。テストデータとして用いた写真には、2 章で示した撮影ベクトル場モデルにおける空間メタデータが付与されている。図 15 が実装したシステムのユーザインタフェースである。ユーザが地図上をクリックすると、その点を画角内に含む写真が、撮影ベクトルとして表示される。さらに、示された撮影ベクトルにマウスオーバーすることで、それぞれの撮影ベクトルに対応した写真が表示される。検索の高速化のための写真データ群の indexing や、検索問い合わせに使われたテキストの自然言語処理等は、現時点では未実装である。

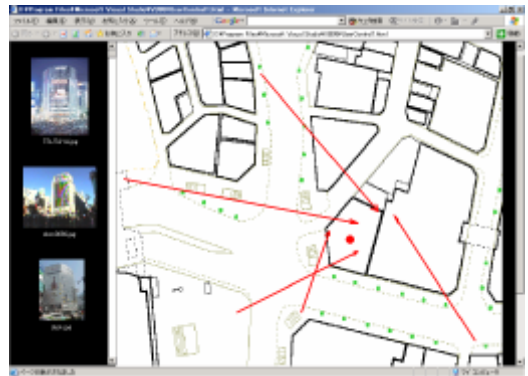


図 15 .プロトタイプシステムのユーザインタフェース

5. 結論

本論文では、空間メタデータを付与された空間データとしての風景写真の検索インタフェースとして、自然言語による検索インタフェースと、地図上での検索インタフェースを提案し、実装した。今後の展開として、

- ・ 自然言語に含まれる空間構造の詳細な分析と、これを利用した、自然言語によるより直感的な検索インタフェースの実現
- ・ 検索を高速に行うための、写真データの indexing

等を予定している。

文 献

- [1] Digital Still Camera Image File Format Standard (Exchangeable image file format for Digital Still Cameras: Exif), Japan Electronic Industry Development Association (JEIDA), 1988.
- [2] 藤田秀之, 有川正俊, 岡村耕二 “撮影ベクトル場を用いた複数写真群による対話的連続空間の構築,” 2002 電子情報通信学会 データ工学研究会 第 12 回 データ工学ワークショップ (DEWS2002), 2002 .
- [3] 徐剛 ,写真から作る 3 次元 CG ,近代科学社 ,2001 .
- [4] Google イメージ検索
<<http://www.google.co.jp/imghp>> .
- [5] 相良 毅, 有川 正俊, 坂内 正夫, ”分散位置参照システム,” 情報処理学会論文誌, vol.42, no.12, pp.2928-2940, 2001 .
- [6] 相良 毅, 分散アドレスマッチングサービス
<http://home.csis.u-tokyo.ac.jp/~sagara/cgi-bin/dams_sample.cgi>.
- [7] プロアトラス 2002
<<http://www.alpsmap.co.jp/>>.