

## 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

藤田秀之 有川正俊

東京大学 空間情報科学研究センター  
 {fujita,arikawa}@csis.u-tokyo.ac.jp

近年 場所や住所を媒介として提供される空間コンテンツの重要性・必要性が高まっており、地図との連携、WEB 上での流通も盛んに行なわれている。ある場所の情報を直感的に伝える媒体として写真画像があるが、現状では静的な 2 次元画像としての利用が多く、画像データの再利用性は低い。そこで本論文では、写真撮影時のカメラ位置、撮影方向、画角を取得し、それぞれの写真を**撮影ベクトル**(撮影位置から撮影対象へのベクトル)として空間的にデータベース化した**撮影ベクトル場**を想定することで、複数の写真群による擬似的な 3 次元空間を構築した。現在のシーンから次のシーンへの自然な移動を、連続する撮影ベクトルの検索として実現することで、任意の位置でのパノラマ映像、オブジェクト映像、ウォークスルー映像などを自動生成できる。また、本システムでは、位置情報をキーとして、この映像空間と、地図空間、WEB 空間の相互連携を取ることも可能である。本論文では、GPS やジャイロセンサーにより空間メタデータを自動的に取得するカメラを利用した実際の空間コンテンツの作成、プロトタイプシステムの実装について述べ、応用可能性についてまとめる。

### 1 はじめに

場所や位置に関連したさまざまな空間コンテンツが WEB 上で数多く提供されている。また、携帯端末を用いた現在位置の取得を手軽に行える環境も整い、われわれのアクティビティを創出し、支援する存在として、空間コンテンツの役割は今後さらに大きくなることが予想され、いっそうの充実が望まれる。

ある場所の情報を直感的に伝える媒体の一つとして風景写真画像が挙げられる。写真画像は図 1 に示すように、言語的情報から非言語的情報まで含むさまざまなメタ情報を持つことが特徴であり、そのメタ情報の多くは場所に関連するものである。また、近年のデジタルカメラの普及、デジタル写真の WEB 上での流通の度合いを考えても、風景写真画像を空間コンテンツに利用することは極めて現実的であるといえる。

ただし、現状では、ある場所に関する空間コンテンツに用いられる写真画像群の利用は、その空間コンテンツのみに限られることが多

く、それらの写真画像群が製作者等の枠を越えて、同じ場所に関する他の空間コンテンツで用いられることは少ない。つまり、ある場所に関する写真画像を空間情報と見るとき、その再利用性の低さは問題である。

また、現状では、ある場所に関する写真画像群であっても、一枚一枚が個別の静的な 2 次元画像として利用されていることが多く、空間的な広がりや身体的な移動を表現することができていない。つまり、空間情報としての写真画像が図 1 で示した場所に関するメタ情報のうち、特に非言語的情報を伝え切れていないことも問題である。

そこで、本論文では、空間情報としての写真画像群を、それが持つ言語的情報である、位置や方向といった空間キーにより組織化し、擬似的な 3 次元空間を構築するシステムを提案する。適切な写真画像群を連続的に切り替えて表示することで自然な移動を表現し、また、空間キーにより、1 枚 1 枚の写真どうしの連携や、写真画像群と地図や WEB といった他の媒体との連携をとることで、空間情報と

しての写真画像群の再利用性を高めることを目標とする。



言語的情報  
 ・撮影位置  
 ・方向  
 ・撮影時刻  
 非言語的情報  
 ・雰囲気  
 ・動態

図 1 . 写真画像に含まれる主なメタ情報

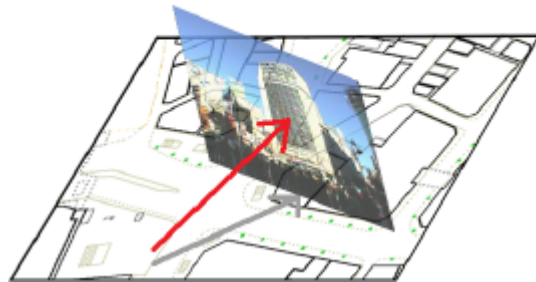
## 2 撮影ベクトル場

空間情報のような公共性の高い情報を扱う場合、一般性の高いデータベースを構築し、一方的に情報発信がなされる場合が多い。データ量が増大し、構造が複雑化して、ユーザのニーズに合わせた情報配信が必要になってくると、各ユーザが自分に適したフィルタを通して情報を検索し、取得するようになる。しかし、扱われる情報の種類や量によっては、構成要素どうしが互いに影響を及ぼしあい、ユーザの行動もその構成に影響を与え、ユーザの行動に合わせ、対話的に情報のやり取りが行われる、いわば情報の「場」を想定することが現実的になってくることが考えられる。情報が一方的に配信されるのではなく、ユーザが一方的に取得するのでもない、情報発信と受信が一体となった枠組である。

本論文では、空間情報としての写真画像群に関しての場を想定し、上記のような枠組みの実現を目指す。図 2 に示すように、各写真画像を、その**撮影地点**（カメラの位置）を**始点**とし、**撮影対象**（注視点）を**終点**とするベクトルとして表現することで、空間的に組織化する。これを**撮影ベクトル**と呼ぶ。複数の撮影ベクトルの 3 次元空間における集合を場として捉え、これを**撮影ベクトル場**と呼ぶ。ユーザが現在見ている写真画像から、次の写真画像への自然な移動を、連続する撮影ベクトルの検索として実現することで、任意の位置で

のパノラマ映像、オブジェクト映像、ウォークスルー映像などを自動生成することができる。

2.1 節では写真画像を撮影ベクトルとして空間的に組織化する方法を、2.2 節では撮影ベクトルの各情報を用いて写真画像のすべての点に位置座標を与える方法を、2.3 節では撮影ベクトル場において、自然な移動を表現する方法をそれぞれ述べる。



撮影位置	方向	注視点
始点(x,y,z)		終点(x,y,z)

図 2 . 撮影ベクトル

### 2.1 撮影ベクトル

図 3 に示すとおり、写真画像を撮影ベクトルとして組織化するために撮影時に取得するメタデータは、(1)撮影位置、(2)方向、(3)画角の 3 つである。これらの情報で、撮影ベクトルの始点と方向、撮影範囲が一意に定まる。

次に、撮影ベクトルの終点を決定する必要がある。図 2 で示したとおり、写真画像の中心に写された位置を、撮影ベクトルの終点とする。この点は写真画像中の**注視点**であるが、図 4 に示すとおり、ある写真画像が、撮影ベクトルの奥行き方向のどの位置を見ているものなのかということは、一箇所に決まるものではない。つまり、撮影ベクトルの終点は 1 枚の写真画像に対して一意に定まるものではない。逆に言えば、1 枚の写真画像が始点と方向が同じで、終点と撮影範囲の異なる複数の撮影ベクトルに対応することになる。

そこで、図 3 に示すとおり、写真画像の撮

影時ではなく、利用時にユーザに注視点を決定させる方法をとる。つまり、ユーザに写真画像中心のどの位置(奥行き)を見ているのかを入力させるのである。前述のとおり、撮影ベクトル始点と方向は、1枚の写真画像に対して一意に定まるため既知であるから、注視点を算出するためにユーザに入力させる情報として次の4とおりが考えられる。

- (1)注視点  
(= 撮影ベクトル終点の xyz 座標)
- (2)撮影ベクトル方向の注視点までの距離  
(= 撮影ベクトルの大きさ)
- (3)注視点の高さ  
(= 撮影ベクトル終点の z 座標)
- (4)注視点の地図上での位置  
(= 撮影ベクトル終点の xy 座標)

(1)(2)をユーザが写真画像から判断して入力することはほぼ不可能である。(3)の注視点の高さは、例えば写真画像内のビルの階高などから推測すれば不可能ではない。(4)の注視点の地図上での位置をプロットしてもらう方法が最も現実的である。後述の今回作成したプロトタイプシステムでは、(3)(4)のインターフェースを備えており、ユーザが状況にあわせて使いやすい方法を選択できるようにした。

以上の流れで1枚の写真画像を1つの撮影ベクトルと対応させることができる。

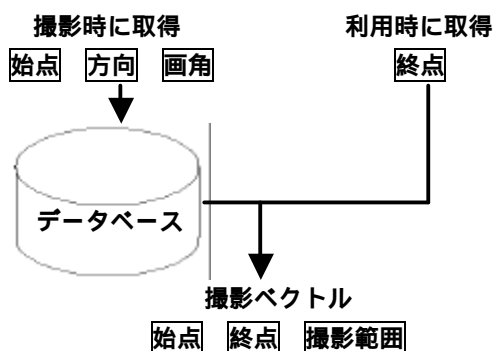
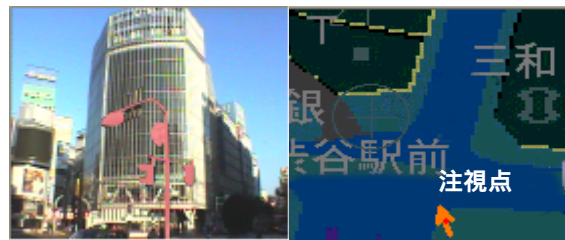


図3．写真画像に付す空間キー

(1)注視点(写真画像中心)が手前の信号の場合



(2)注視点(写真画像中心)が奥のビルの場合



(1)(2)の注視点は違うが、画像は共通。

図4．写真画像内注視点と撮影ベクトル

## 2.2 写真画像中の各点の位置座標

2.1節で説明した、ユーザの入力により取得した撮影ベクトル終点は写真画像の中心点に対する位置座標である。撮影ベクトルの始点と終点、撮影範囲の情報を用いて、写真画像中の全ての点に対して位置座標を割り振ることができる。以降でその計算式を導く。この計算式は、3次元空間内での絶対座標と、ある写真画像が形成する2次元平面内での局所座標とを相互変換するものである。

まず絶対座標系 xy 平面上(図5)において、次の関係が成立する。

$$\mathbf{SE} \cdot \mathbf{SX} = \cos \theta_v |\mathbf{SE}| |\mathbf{SX}| \dots ( )$$

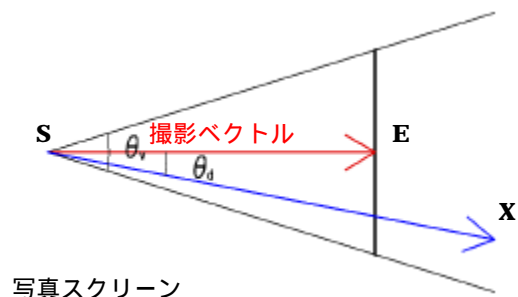


図5．絶対座標系 xy 平面

次に、絶対座標系  $xz$  平面上(図 6)において次の関係が成立する。

$$\mathbf{SE} \cdot \mathbf{SX} = \cos \nu |\mathbf{SE}| |\mathbf{SX}| \dots ( )$$

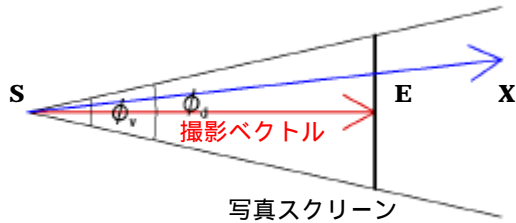


図 6 . 絶対座標系  $xz$  平面

また、写真画像局所座標系(図 7)においては、次の関係が成立する。

$$\tan(\nu/2) : \tan d = w/2 : P_x \dots ( )$$

$$\tan(\nu/2) : \tan d = h/2 : P_y \dots ( )$$

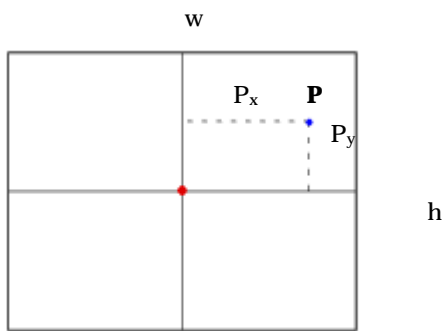


図 7 . 写真画像局所座標系

ここで

- 撮影ベクトル始点：  $S(S_x, S_y, S_z)$
- 撮影ベクトル終点：  $E(E_x, E_y, E_z)$
- 画角  $xy$  方向：  $\nu$
- 画角  $xz$  方向：  $\nu$
- 画像サイズ縦：  $h$
- 画像サイズ横：  $w$

であり、以上既知とすると( )~( )を用いて絶対座標： $\mathbf{X}(X_x, X_y, X_z)$ 画像上座標： $\mathbf{P}(P_x, P_y)$ の相互変換が可能となる。

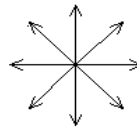
### 2.3 撮影ベクトル場

空間内での自然な移動は、ユーザが現在見ている写真画像から、適切な次の写真画像へ連続的に切り替えることで表現できる。撮影

ベクトル場を用いる場合、現在の写真画像に対応する撮影ベクトルと連続する適切な撮影ベクトルを検索し、対応する写真画像を表示することで実現される。本論文では空間内での移動に対応した連続的な写真画像群、すなわち映像について、図 8 に示す 3 種類を取り上げる。

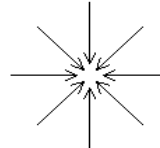
#### (1)パノラマ映像

ある点から周囲を見渡した映像



#### (2)オブジェクト映像

ある点を周囲から見回した映像



#### (3)ウォークスルー映像

前進を表現する映像



図 8 . 各種映像に対応する撮影ベクトル群

それぞれの移動を表現するための、現在の撮影ベクトルに対応する次の撮影ベクトルの検索条件は表 1 ようになる。より滑らかに移動を表現するには、「変化」の値があまり大きくない方が良い。また、例えば終点が「固定」であっても、終点が完全に一致するベクトルは存在しないことが多いため、最も近いものを検索することになる。

	始点	終点	撮影範囲
パノラマ映像	固定	変化	固定
オブジェクト映像	変化	固定	固定
ウォークスルー映像	変化	変化	固定

表 1. 撮影ベクトル検索条件

### 3 空間コンテンツ実例

写真群に対する撮影ベクトルを索引として実現することで写真画像群を空間キーを用いて組織化し、撮影ベクトル場のモデルを用いて、空間内での自然な移動の表現や注釈の配置、空間キーを介した地図や WEB との連携を行うプロトタイプシステム「PhotoField」を開発し、実際に空間コンテンツを作成した。

図 9 が PhotoField の GUI(Graphical User Interface)である。画面左上に写真画像、右上に地図、右下に注釈と URL のリストを配し、それぞれ、映像空間、地図空間、WEB 空間と位置づけた。画面左下にこれらの空間を結びつける位置情報などの各種パラメータを表示した。地図上には、現在の写真画像に対応した撮影ベクトルの地図平面への射影がプロットされる。また、右下のリストに並ぶ注釈は、写真画像上と地図上にも配置される。

3.1 節で今回の作成した空間コンテンツに用いた写真画像の撮影について述べ、3.2 節で PhotoField で実装した各種の機能について述べる。

#### 3.1 撮影

複数のセンサーを備え、撮影と同時にさまざまな位置情報を取得する特別なカメラ(図 10)を用いて撮影を行った。このカメラが備えているセンサーと取得できるデータを表 2 に記す。今回、空間コンテンツを作成するにあたり使用したデータはこのうちの一部であり、表 3 に示すとおり、それらのデータから撮影ベクトルの視点、方向、画角を計算し、写真画像にメタデータとして付し、データベース化した。



図 10 . 撮影に用いた空間データ取得カメラ



図 9 . PhotoField GUI

センサー	取得データ
車輪回転数計測センサー(GPS とジャイロセンサーが協調して情報を生成する)	緯度, 経度, 方位, 速度
Differential GPS	緯度, 経度, 方位, 速度, 時刻
3 軸角度センサー (ジャイロセンサー)	左右回転角, 前後傾斜角, 左右傾斜角
三脚雲台の操作情報	回転角, 仰角
レーザー距離計	距離
首振りカメラ 内部パラメータ	回転角, 仰角, ズーム値, フォーカス値

表 2 . カメラが備えるセンサーと取得するデータ

撮影ベクトル要素	使用データ
始点	経度, 緯度 (a)
方向	方位 (a) 回転角, 仰角 (b)
画角	ズーム値 (b)

(a)車輪回転数計測センサーまたは GPS の情報

(b)首振りカメラ内部パラメータの情報

表 3 . 撮影ベクトル始点, 方向, 画角の算出ソース

### 3.2 プロトタイプ実装

撮影ベクトル場のモデルを用いたプロトタイプシステム, PhotoField で実装した機能をそれぞれ説明する.

#### 3.2.1 移動

現在の撮影ベクトルと連続する適切な撮影ベクトルを検索するという 3.1 節で述べた撮影ベクトル場の方法で, パノラマ映像, オブジェクト映像を自動生成する機能を実装した. その他, ズームイン・ズームアウトも可能である. 図 11 と図 13 にパノラマ映像, オブジェクト映像の際の, 写真画像と撮影ベクトルの連続的な変化の様子を示す. また, それぞれの映像に対応する, 撮影ベクトルの軌跡を図 12 と図 14 に示す.

写真画像上にマウスオーバーすると, 連続する撮影ベクトルが存在する場合, マウスカーソルがその位置に従って, パノラマ/オブジェクト映像, ズームイン/アウトを示すアイコンに変化する. ここでクリックすると写真が切り替わり, 移動を表現する.

オブジェクト映像を生成する際, ユーザはあらかじめ地図上で撮影ベクトル終点をドラックして移動することで, 現在の注視点を示しておく必要がある. 前述のとおり, 撮影ベクトル終点は写真画像 1 枚に対して一意には定まらないからである.

パノラマ映像を生成する際には, ユーザは注視点を示す必要はない.



図 11 . パノラマ映像と撮影ベクトル

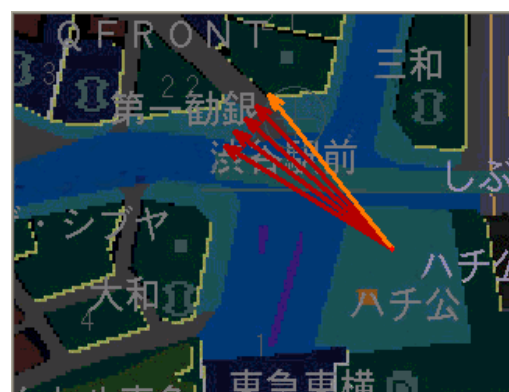


図 12 . パノラマ映像の撮影ベクトル軌跡



図 12 . オブジェクト映像と撮影ベクトル

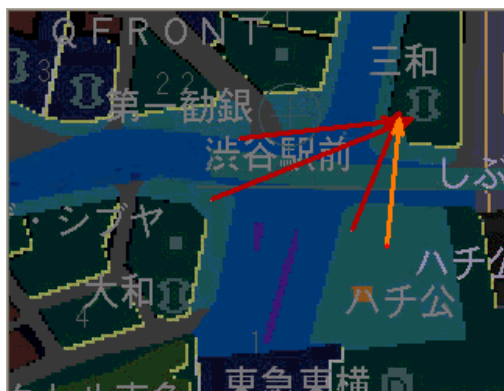


図 14 . オブジェクト映像の撮影ベクトル軌跡

### 3.2.2 注釈の登録・配置

写真画像上の任意の位置をクリックすることで、その場所に注釈を記入することができる。その際、同時にその注釈に対する URL も登録する。2.2 節で示した方法で、クリックされた写真画像上の局所座標を 3 次元空間内での絶対座標に変換し、注釈と URL は、3 次元空間での絶対座標をメタデータとしてデータベースに保存される。登録された注釈と URL は GUI 右下のリストに加えられる。

また、逆に、データベースに保存された注釈は、メタデータとして付された位置情報を用いて、写真画像上と地図上の適切な位置に配置される。写真画像上に注釈を配置する際は、2.2 節で示した 3 次元空間内での絶対座標を、任意の写真画像上が形成する 2 次元平面内での局所座標に変換する方法を用いる。登録された注釈は空間キーを介することで、複数の写真画像で再利用されることになる。

画像が切り替わると注釈が適切な位置に移動する様子を図 15 に示す。

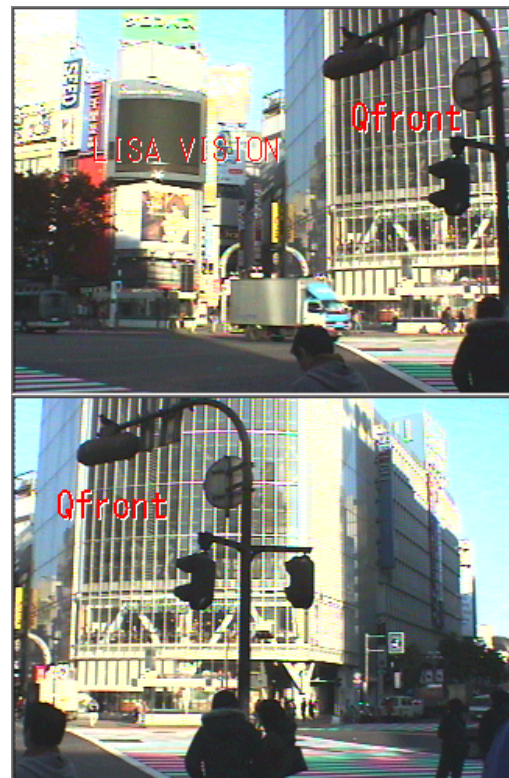


図 15 . 注釈の配置

### 3.2.3 画像シフト

2.3節で記したとおり、撮影ベクトルを用いて空間内での移動を表現する映像を作成する際は、連続する撮影ベクトルを検索するという方法をとる。オブジェクト映像を作成する際、連続する撮影ベクトルの検索条件として、終点を固定するが、前述のとおり、終点の座標が完全に一致することはありえないので、最も近いものを検索することになる。こうして連続する2つの撮影ベクトルの終点が最も近くなるように検索を繰り返して回転した場合、1回転しても元の撮影ベクトルに戻ってこないという状態が起きる。そこで、回転開始時の終点を一時保存し、終点はその点に最も近いような撮影ベクトルの検索を繰り返して回転する。こうすることで連続する2枚の写真画像の間での移動の表現の精度は低くなるが、1回転すると元の位置に戻ってくるようになる。

さらに、オブジェクト映像をつくる各写真画像上で、回転中心として固定された点の位置を計算し、その点を中心に据えるように、写真画像自体をずらして表示することで、オブジェクト映像の際の回転中心となるオブジェクトのブレをより少なくすることができる。この様子を図16に示す。



画像シフトあり      画像シフトなし  
画像シフトを行ったほうが中央の水色の看板のブレが少ない

図16. 画像シフトによるブレの低減

### 3.2.4 映像と地図とWEBの連動

PhotoFieldのGUIは、映像空間、地図空間、WEB空間が配され、ユーザはその一つを操作するわけだが、その操作に対し、全ての空間が連動して変化する。

例えば、写真画像を切り替えると、地図上にはその写真画像に対応する撮影ベクトルがプロットされ、両者に適切な注釈が配置される。

地図上で任意の点をクリックすると、始点を固定し、クリックされた点を注視点とするように、地図上の撮影ベクトルが連続的に変化し、その変化に合わせて写真画像によるパノラマ映像が生成され、両者に適切な注釈が配置される。

WEB空間と称したリストに登録された注釈を選択すると、写真画像、地図上の撮影ベクトルが、それぞれ、注釈が配置される点にフォーカスするように連続的に切り替わる。また、リスト中のURLをクリックすることで、WEBブラウザが立ち上がる。

このような写真画像、地図、WEBの連携は、全ての情報を位置情報で管理することで実現している。

## 4 考察と課題

PhotoFieldで提案した映像空間は、地図と実空間をより直感的につなぐ働きを持つ。そこで、現在2次元的な地図が果たしている、情報の管理や共有のベースとしての社会基盤的な役割を補完する、いわば写真の地図としてこの映像空間を整備していくことが今後の課題として考えられる。引き続き渋谷駅前地区での撮影を続け、写真画像を追加することで、同地区の映像空間を拡大し、より詳細なものにしていく予定である。位置情報をキーとして情報を管理しているため、データの追加・更新は容易に行うことができる。関連して、位置情報というキーを介すことで、既存の2次元的な地図や、GIS、カーナビ等に写真画像や注釈を付加することも可能である。



また、PhotoField 上でのユーザの行動パスや注視点を分析したり、BBS システムを設けて空間内に情報を投稿してもらうことで、ユーザの行動分析や景観評価等の空間的な分析に向けた応用にも取り組む。

上記のような観点から、本システムを WEB 上で公開する予定である。注釈等の情報をトップダウン的に整備するだけでなく、広くユーザからの投稿を受け付けることで、空間コンテンツの詳細度が自立的にボトムアップで増加することが見込まれる。

撮影ベクトル場のモデルの応用も複数考えられる。2 次元地図上で任意のパスをなぞることで、そのパスに対応したウォークスルー映像を自動生成したり、撮影ベクトルの密度や、ユーザの関心に合わせて、適切なパスを自動生成し、そのウォークスルー映像を提供するといったことが可能であろう。これらの機能の実装も今後の課題である。

## 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会・未来開拓学術研究推進事業（知能情報・高度情報処理研究分野）「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究」（プロジェクト番号：JSPS-RFTF97P00501）および文部科学省研究費補助金特定領域研究（平成 13 年度）「IT の深化の基盤を拓く情報学研究」の支援をいただきました。九州大学情報基盤センター助教授・岡村耕二先生からは数々の有益なコメントをいただき感謝いたします。また、九州大学大学院修士課程 1 年生の冷水明君には、渋谷の風景写真データのキャプチャ作業など技術面で支援いただきました。

## 参考文献

- [1]徐剛,辻三郎,「3次元ビジョン」,単行本,共立出版,1998.
- [2]杉原 厚吉,「グラフィックスの数理」,情報数学講座 (13),単行本,共立出版,1995.
- [3]田中浩也,有川正俊,柴崎亮介,「写真画像群の重なりを用いた広域的な擬似3次元空間」,ロングペーパー,WISS2001(The 9<sup>th</sup> Workshop on Interactive Systems and Software)(第9回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ),日本ソフトウェア科学会,2001年12月5-7日,pp.75-84.
- [4]村尾真洋,有川正俊,岡村耕二,「定点観測カメラを用いた拡張/減少空間ハイパーメディアの実現」,電子情報通信学会データ工学研究会,第10回データ工学ワークショップ(DEWS'99)講演論文集,DEWS99-4A-2,指宿,1999年3月5-6日,CD-ROM掲載.
- [5]Masatoshi Arikawa, Takeshi Sagara, Koji Okamura, "Spatial Media Fusion Project", Proceedings of ICDL, 2000 Kyoto International Conference on Digital Libraries: Research and Practice, Organized by Kyoto University, British Library and National Science Foundation (U.S.A.), November 13th-16th, 2000, Kyoto University, Kyoto Japan, pp. 75 - 82.
- [6]James J. Gibson, "The Ecological Approach to Visual Perception", Lawrence Erlbaum Assoc, 1986.
- [7]Robert Laurini, "Information Systems for Urban Planning: A Hypermedia Co-Operative Approach", Taylor & Francis, 2001.