

ハイパーフォト空間視覚化による時空間的閲覧 (B6-4)

田中 浩也 有川 正俊 柴崎 亮介

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
電話 03-5453-5690 FAX 03-5453-5699
<http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/>
{tanaka,arikawa,shiba}@csis.u-tokyo.ac.jp

分散的な情報の連携や半構造化を行うためのハイパーメディアの枠組みがさまざまに研究されているが、我々が研究開発している STAMP(Spatio-Temporal Association with Multiple Photographs)は、Web 上の写真データを用いて、半連続な擬似 3 次元空間を表現するハイパーフォト空間の構築システムである。ハイパーフォト空間は、写真データとそれらの共通部分を定義する空間ハイパーリンクからなるが、空間ハイパーリンクが通常のハイパーリンクと異なる点は、ノード(写真)間のトポロジ的な関係性のみならず、ノード(写真)どうしの距離や方向・角度といった若干のジオメトリ情報を暗に含んでいる点にあると考えられる。そこで本論文では、空間ハイパーリンクデータを用いて写真の相対的な位置を抽出・推定し、ハイパーフォト空間全体の略地図を動的に自動生成する機能を提案する。この略地図機能は、従来の STAMP で実現されている日常的な視界からの空間的・時間的ナビゲーションを補完するものであり、結果としてハイパーフォト空間に対してさまざまな時空間的な検索を施したり、高度な閲覧を行うことが可能となる。本論文では、従来の STAMP システムに加えて構造視覚化機能の提案を行い、その実験実証の報告を行う。

1・はじめに

コンピュータ内に現実空間に忠実な視覚像を備えた仮想空間を構築しようとする際、デジタル写真という素材はますます重要なものになってきている。その際、3次元の形状モデルに写真をテクスチャーとしてマッピングする従来のヴァーチャルリアリティの手法(VRML 等)とは別に、写真画像のみを用いて擬似的な 3 次元空間を構成しようとする Image-Based Approach と呼ばれる方法があり[1]、それらは製作の簡便性にひとつの特徴があるといえる。Image-Based Approach の最も有名な例は Apple の QuickTime VR であるが[2]、従来の QuickTime VR は「写真を切り替えながら空間の奥方向へ進めない」、すなわち表現できる空間範囲が狭いという大きな制

約を含んでおり、その問題点を解決する新たな手法が提案されてきている。例えば、IBNR(Image-Based Non-Rendering)の手法[3]は、複数の写真群の空間的な関連性をリンクで定義すると同時に、写真内にアバタを表示することで、広範囲に渡る「3人称的」擬似 3 次元空間を実現するものである。また、GPS を備えた専用カメラを用いてより詳細なメタデータを取得し映像空間を構築しようとする Town Digitizing with Omni-Directional Cameras[4]等の研究も見られる。

そのような研究背景のもとで、我々が提案した STAMP(Spatio-Temporal Association with Multiple Photographs)は、美術における従来のフォトコラージュの原理を立体的に拡張し、一般のデジタル写真を用いて広範囲に渡る擬似 3 次元空間を作り出すこと

を意図したシステムである[5,6,7]。立体的に写真群を重ね合わせていく際には、2枚の写真内の同一部分に「空間ハイパーリンク」を定義していく作業を行うが、このような「空間ハイパーリンク」と「写真画像群」の組み合わせで構成される全体構造を、我々は「ハイパーフォト空間」と呼んでいる(図1)。



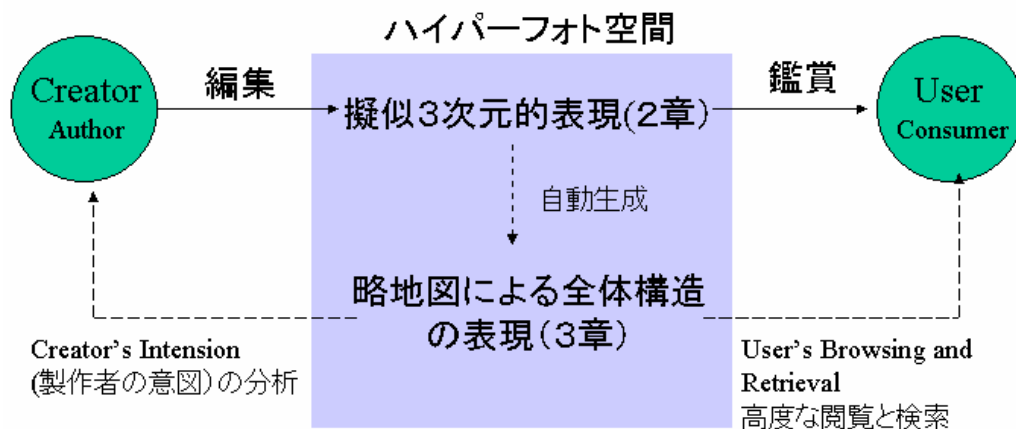
(図1) ハイパーフォト空間の構造

これまでに提案した STAMP の機能は、通常のインターネット・ブラウジングと同様、1枚ずつのノード(写真)を中心として次の写真を選択していくことで、日常的な視界からハイパーフォト空間の探索を行うものであったが、反面「現在いる位置」を俯瞰的に把握するための機能が不足しているという問題点もあった。

通常のインターネット・ブラウジングにおいても同様の問題が指摘され、ハイパーリンクデータからサイト全体のマップを自動描画するさまざまなシステムが提案されてきた経緯があるが[8]、本論文では、それらの手法を拡張し、空間ハイパーリンクデータを用いてハイパーフォト空間の全体構造を視覚化するシステムを提案する。

特に、通常のハイパーリンクがノード間のトポジ関係のみを定義しているものであったのに対し、我々の提案する空間ハイパーリンクは、ノード(写真)間の距離・角度・方向といった若干のジオメトリ情報を暗に含んでいる点に特徴があると考えられる。それらの情報を用いて推定を行なうことによって、写真一枚一枚の相対的なカメラ位置座標を得ることができ、それらの位置座標を総合して「略地図」描画が実現される。「略地図」とは本質的に、鑑賞者側のナビゲーション効率を高めるという利用法と、略地図を介して製作者側の空間把握の特性を分析するといった2つの意味を持つ。本論文ではその2点を踏まえ、STAMP システムにおける「略地図」の有効性を考察する(図2)。

本論文では、2章で従来の STAMP の基礎機能の概説を行い、3章で新たに提案するカメラ位置推定機能とその応用性について、4章ではその機能を検証する実験と分析について述べる。最後に5章で全体のまとめとする。



(図2) 略地図の自動生成とその応用方法

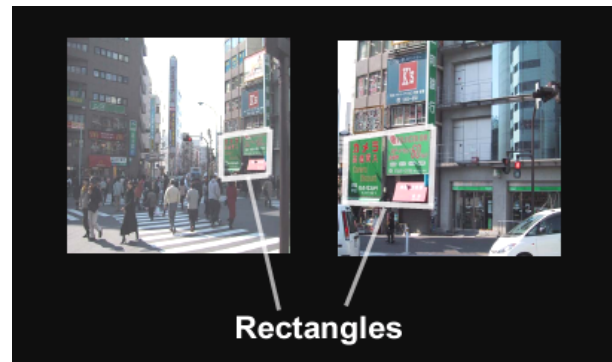
2・STAMP システムによるハイパーフォト空間の擬似3次元的表現

STAMP の基本システムは、撮影してきたデジタル写真群を取り込んで空間ハイパーリンクを定義し、擬似3次元空間構築を行うための STAMP-Maker と、生成されたデータを用いて擬似3次元空間を表示し、さまざまな空間的・時間的移動を実現するインターフェイスを提供する STAMP-Navigator からなる(図3)。本章では、STAMP-Maker と STAMP-Navigator それぞれについて、2.1、2.2 項で順に述べる。

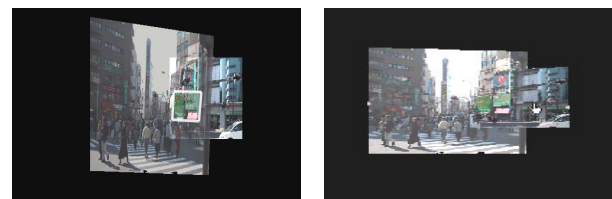
2.1 STAMP-Maker の機能

STAMP-Maker 上で、ユーザは2枚の写真に含まれている同一の領域を矩形または多角形で囲んで入力する。例えば、同じ看板を異なる位置、異なる角度で撮影した2枚の写真があった場合には、(図4)のようにそれぞれの領域を囲んで指定する。その入力が、空間ハイパーリンクとしてデータベースに書き込まれる。この空間ハイパーリンクデータを用いて、システム側は、指定された領域どうしが完全に一致するように、一方の写真(基準写真)を整形に保った上で、もう一方の写真(接続写真)の外形を歪める操作を行なう。また同時に、基準写真と接続写真の関係を逆転させた場合の、もう一方の合成状態も生成する。このようにして2枚の写真を用いた合成状態を2パターン生成する(図5)。

接続写真の外形を歪める処理は、1次アフィン変換を用いる。結果として計2パターンが生成される合成画像を、ユーザは視覚的に確認することができ、その合成結果に歪みやずれが見られる場合には、手で接続写真の各頂点を動かして、適切と思われる位置に定義しなおすことができる。その際、システム側は、再度空間ハイパーリンクデータを生成してデータを修正する。

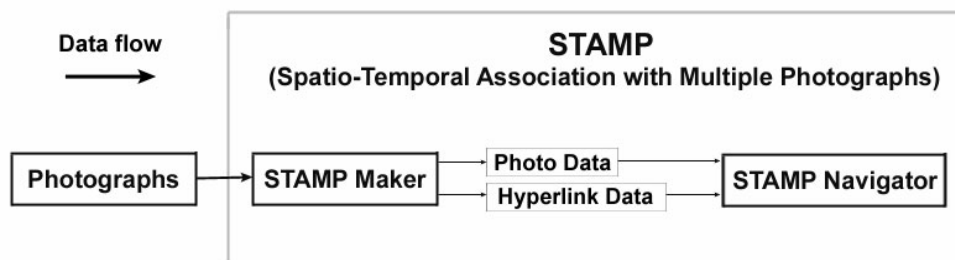


(図4) 写真間の共通領域を示す矩形の入力



(図5) 生成される2種類の合成パターン

この方法によって、次々に写真どうしの部分的な同一箇所を入力を行っていき、それは結果的に写真群の合成することとなる。STAMP-Maker においては、1枚の写真に何枚もの異なる写真を接続することもできるため、結果として生成されるデータは(図1)に示したように、複数の経路を持ったハイパーフォト空間となる。



(図3) STAMP の基本システムの構造

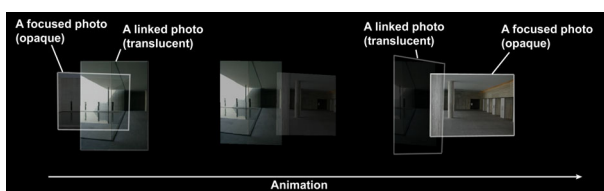
2.2. STAMP-Navigator の機能

STAMP-Navigator は, STAMP-Maker で生成された空間ハイパーリンクデータを用いて擬似 3 次元空間を表示し, ユーザのさまざまなナビゲーションを可能とするインターフェイスを提供する.

基本画面では, STAMP-Maker 同様, 基準写真と接続写真が合成された状態が静止画として表示される(図 6). ユーザが次に進みたい接続写真を選択してクリックすると, 次の合成状態を表示するまでの補完アニメーションを生成表示する(図 7). 補完アニメーションは, ひとつの合成状態から次の合成状態への写真の頂点位置の移動をモーフィングで表現すると同時に, 静止画状態では基準写真は不透明, 接続写真が半透明に表示されている状態から, それらの透明度を連続的に逆転させていくことで, 注視している視界の変化を表現する. これらの処理によって, ユーザはあたかも 3 次元空間を移動しているように錯覚的に視認することになる. また, 基準写真が 1 枚の接続写真に対してのみリンクを持つ場合に, ユーザがクリックせずとも自動的にシーンが展開するオートナビゲーション機能も持っている.



(図 6) STAMP-Viewer の基本画面



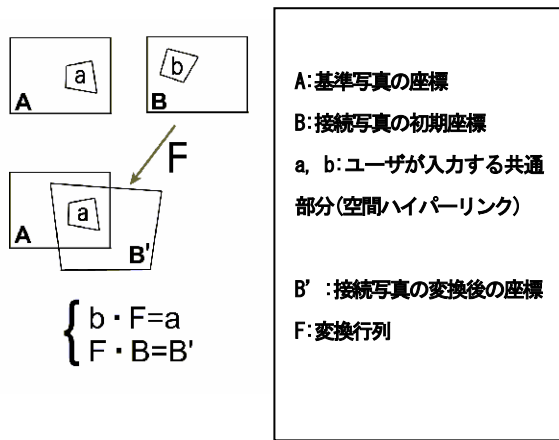
(図 7) STAMP-Viewer の移動アニメーション

3・STAMP システムによるハイパーフォト空間の略地図描画

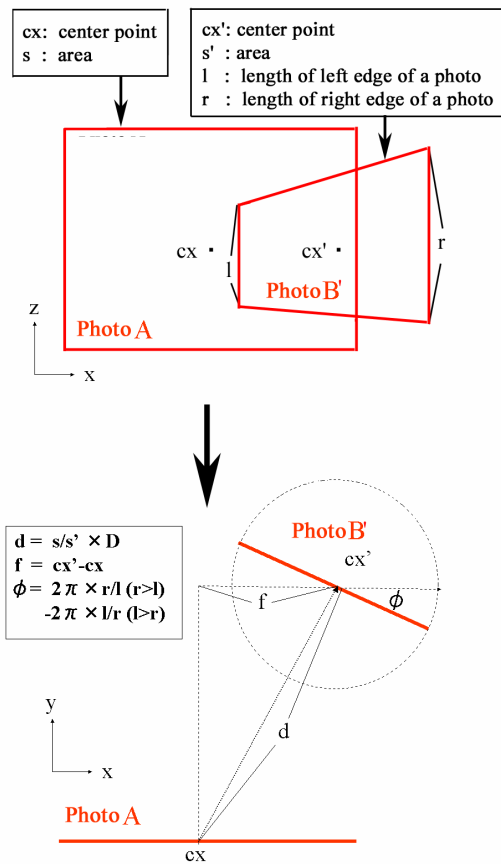
2 章では, ユーザが写真どうしに空間ハイパーリンクを定義することによってハイパーフォト空間を構築し, 擬似 3 次元空間をナビゲーションするための基礎的な手法を示したが, 作成された空間構造全体を概観する機能については考慮されていない. そこで, 本章では, 空間ハイパーリンクデータを用いて写真間の相対的な位置座標を推定し, 略地図を描画する方法について考察する.

3.1 略地図の描画

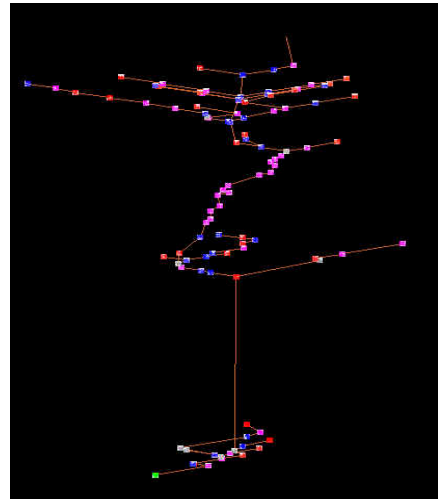
空間ハイパーリンクをもとに(図 5)に見られるような写真の合成状態を生成する場合には, 整形の基準写真の頂点座標をもとに, 1 次アフィン変換を用いて接続写真の新たな頂点座標を計算する(図 8). そこで得られた接続写真の頂点座標と, 基準写真の新たな頂点座標を比較することによって, それら 2 枚の写真どうしの相対的な 3 次元的位置関係のある程度推定することが可能となる. すなわち, 日常的な視界を表現する $x-z$ 座標系から, 俯瞰的な地図を表現する $x-y$ 座標系への変換が実現される. この場合, 2 枚の写真間の距離(d)は写真間の面積比から, 回転角度(ϕ)は接続写真の左辺と右辺の比率から, 移動方向(f)は, 基準写真と接続写真の中心位置の差から, それぞれ変換を行うことが考えられる. 結果として, 2 枚の写真の頂点座標値を相対的な位置座標へと変換するアルゴリズムを(図 9)のように設定した. このアルゴリズムを用いてハイパーフォト空間を視覚化した結果は(図 10)のようになり, 関連を表すトポロジー情報に位置を表すジオメトリ情報が付加された全体構造が描画される.



(図8) 1次アフィン変換を用いた写真の合成



(図9) 略地図生成のアルゴリズム



(図10) 略地図の描画結果

(点は写真、線は空間ハイパーリンクを表す)

3.2 特徴的な写真の抽出と時空間的性格づけ

3.1に示した略地図描画機能によって、写真1枚1枚が、位置的におよそどの場所で撮影したのかを判読することが可能となったが、ハイパーフォト空間は、位置的な情報(ジオメトリ)とともに空間ハイパーリンクとして定義される写真間の関連性、つまりトポロジー情報を備えている。空間ハイパーリンクデータのトポロジーを数値的に解析することによって、さらに「特徴的な写真」や「空間部分」を抽出することが可能ともなる。ここで用いる項目としては、時空間的な関連性に特徴が見出せる写真を抽出し、個別に性格付けを行なう目的で、例えば(図11)に示す5項目が挙げられる。(図10)は、略地図の描画結果であると同時に、“Times”項目として検出した写真を紫色に彩色した検索結果でもある。このように、ジオメトリとトポロジーの両面からハイパーフォト空間の全体構造を明らかにすることで、鑑賞側・製作側双方にさまざまな応用が実現される。次項でその応用例について詳細に述べる。

- Branches: 分岐をもったノードの部分
- Portals: 4つ以上の分岐をもったノードの部分
- Ends: 1つのリンクのみを持つ(行き止まり)のノード部分
- Loops: ハイパーフォト空間全体のループ部分
- Times: 前後両方のフレームと写真撮影の時間的連続性を持つ部分

(図11) 写真に対する性格付けを行なう評価項目

3.3 略地図の応用方法

3.1 で示した「略地図」描画機能および3.2 で示した特徴的な空間部分の抽出機能は大きく2つの方向性での応用が考えられる。ひとつは、STAMP を用いてハイパーフォト空間を鑑賞する際のナビゲーション効率を向上させるという点であり、略地図で全体構造や位置を把握したうえで、次に鑑賞したいシーンを直接選択したり、あるいは”Portal”,”Ends”として抽出された写真や,”Loops”として検出された空間部分のみを鑑賞するといった応用が考えられる。これは、ハイパーフォト空間そのものが巨大になった際に、必要とする部分のみを効率よく検出するといった効果があるともいえる。

逆に、ここで描画される「略地図」を用いてハイパーフォト空間を製作した側の意図を分析するという観点がある。ハイパーフォト空間は、写真を撮影する場所の建築的特性と撮影・編集を行なったユーザの認知的特性の両面が含まれた結果とみることができる。略地図や数値結果から、ある程度それらの特性を解析できる可能性がある。その具体的な実験結果について、第4章で述べる。

4. 構造視覚化の実験実証

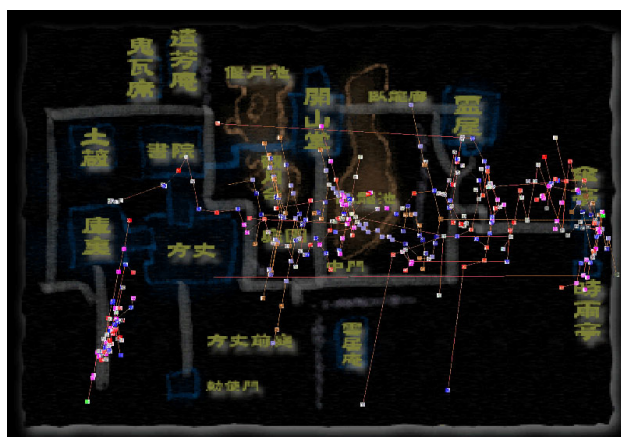
4.1 実験概要

3章で提案したハイパーフォト空間の略地図描画に関する有効性を検証するため、4人の被験者による実験実証を、京都の高台寺と龍安寺を撮影対象として計2度実施した。まず「2枚の写真どうしに共通部分を持たせること」という指示のもとで2時間自由に写真撮影を行い、さらに2.1 で示したSTAMP-Maker を用いた編集を行った。撮影した写真はそれぞれ約150枚程度となり、編集には各々約1日を要した。次に、4人全員の写真をすべて検討したうえで、異なる被験者が同じ箇所を撮影した写真を発見し、個々が作成したハイパーフォト空間どうしを連携・合成してハイパーフォト空間を作成する作業を行った。この全員のものを合成した最終的

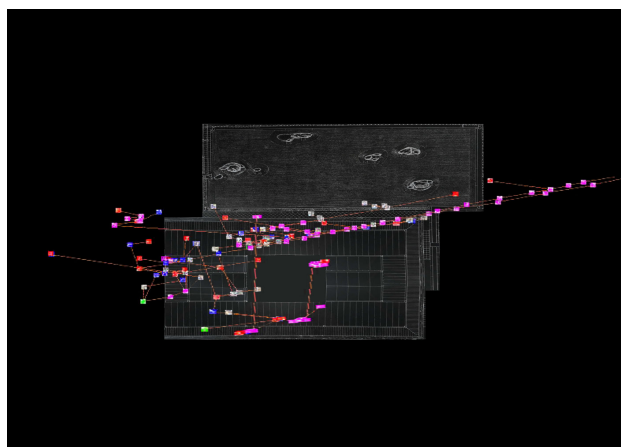
なハイパーフォト空間から描いた略地図を、実際に寺院内に掲示されていた観光案内の略地図と重ね合わせた結果を、高台寺・龍安寺双方について(図12)(図13)に示す。(図12)(図13)は、撮影した位置が確実な写真一枚を基点として、観光案内の略地図とハイパーフォト空間から描いた略地図を重ね合わせたものである。

4.2 実験結果の分析

ここで生成されるハイパーフォト空間の略地図は、(図12)に見られるように、基本的な骨格となる道の構成は、通常の略地図とはほぼ一致している。また、ノードが密集している部分は建物部分を、疎な部分は道を撮影した写真となっており、現実空間の場所の性格を忠実に再現しているといえる。

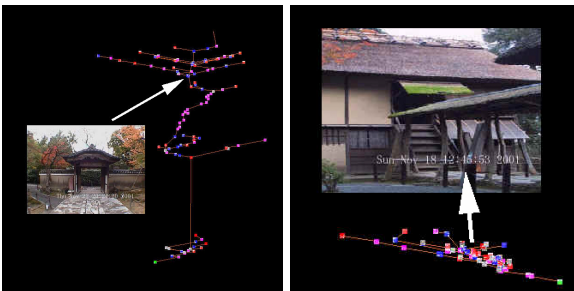


(図12) 高台寺の略地図描画結果



(図13) 龍安寺の略地図描画結果

また、高台寺のハイパーフォト空間において”Portal”として写真を検索すると、たとえば(図 14)のようなシーンが抽出される。これらの写真は、撮影対象とした建築空間において、「広場」のような分岐の中心となっている場所か、「ランドマーク」のような視線の中心となっている写真に相当していた。このように、ユーザはハイパーフォト空間の全体構造と現在位置を確認しながら、さらに時空間的な検索を施して目的とするハイパーフォト空間部分を限定し、鑑賞を行なうことができる。

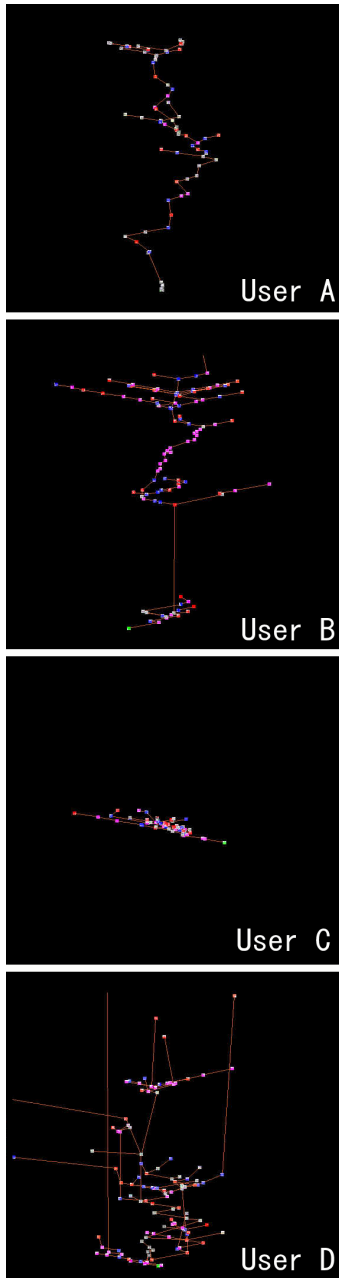


(図 14) ハイパーフォト空間から抽出される”Portal”

しかしながら、特に(図 13)において顕著のように、実際には移動不可能な位置に推定されている写真も見られる。これには2つの原因が考えられる。ひとつは、(図 7)に示した略地図生成アルゴリズムにおいて、回転角度を換算する部分の精度が低いことであり、もうひとつは、2.1 で述べた STAMP-Maker によるユーザの編集精度が低いことである。また、(図 12)において、急に離れた位置に突出している写真が何点か見受けられるが、これらは実際にはある部分にズームインした写真であり、移動を伴ったものではない。(図 9)に示した写真の面積差による奥行き推定は、ある地点から次の地点へ移動したものとしてみ解釈し変換を行なっているが、位置を変えず画面のスケールのみを変更して撮影した場合は判別することができないという問題点も残っている。このように、現状のアルゴリズムは、写真1枚1枚に与える位置精度の点で検討の余地が残されており、推定アルゴリズムのさらなる改良が必要である。あるいは、自動描画機能を補完するものとして、人間が手動で位置を再定義する機能が有効である可能性もある。

一方、ハイパーフォト空間製作者側の意図を分析する初期的な例として、(図 15)に4人のユーザがそれぞれ高台寺を再構成したハイパーフォト空間から描画した略地図を別々に示す。ユーザ A,B の略地図に類似性が見出せる反面、ユーザ D は特にある箇所に集中して写真撮影を行なっており、ユーザ C に関してはさらに狭い移動範囲のなかで集中的に撮影を行なっている。ユーザ C を除きユーザ A,B,D に関して、(図 11)に示した項目により、特徴を持った写真を抽出すると、”Portal” ”Branches” ”Loops”項目で数多くの写真が検出される。これは同じユーザが龍安寺を製作したハイパーフォト空間と比較して格段に多い。(図 12)(図 13)の比較からも明らかであるが、高台寺はユーザに自由な経路での観光を許容する建物である一方で、龍安寺は回遊的なひとつの経路に固定されているという場所的な性格が、ハイパーフォト空間として再構成された結果にも反映されていることがうかがえる。

STAMP システムは現実空間を人間の手によって仮想空間へと置き換えることを支援するものであるが、そのプロセスには(図 16)に示すように場所の建築的特性と各製作者の認知的特性の両面が反映されている。今後実験方法を再考することにより、それらの暗黙的な編集プロセスを定量的に分析することが一定程度可能であるとの見地が得られる。このような編集プロセスの分析は、今後ハイパーフォト空間を用いて効率的に空間情報を伝達する際の演出技法として利用可能であると思われる。さらには、STAMP を用いて建築設計における設計者の意図と利用者の解釈の関係性を明るみに出すことも見込まれる。



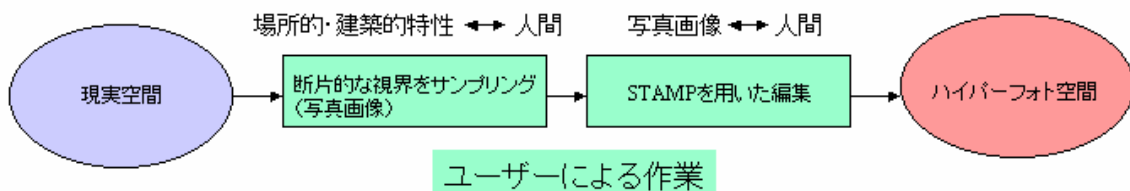
(図 15) 4人の製作者による高台寺
ハイパーフォト空間個々の分析

6. まとめ

本論文では、断片的な写真データに対して「空間ハイパーリンク」を定義することで、擬似3次元的な合成画像を提示する手法(2章)と、そこで生成されるハイパーフォト空間の全体像を「略地図」として視覚化するアルゴリズム(3章)を示した。さらに、略地図機能の応用として、鑑賞側の「ハイパーフォト空間のナビゲーションの向上」と製作側の「建築の空間特性・人間の認知特性の定量的分析」の2点を挙げ、それらを検証する実証実験の結果を示した(4章)。本論文で示した略地図描画アルゴリズムは、精度としては不十分な点もあり、さらなる改良が必要であるが、本論文で示した応用可能性について基礎的な有効性と課題が明らかとなった。

最後に本研究の今後の方向性を示す。

- 擬似3次元空間の製作効率をさらに向上させるため、STAMPシステムを通常のデジタルカメラやPDAと連動させる。
- 略地図描画機能によって(推定)位置データが付加された写真画像を、その位置データを用いて、ネットワーク上で他の空間情報システムとの連携を計る。
- STAMPシステムで可能となるさまざまな編集パターンを分析し、その認知的効果を明らかにする。
- カメラ位置自動推定アルゴリズムの改良と、手動によるカメラ位置補正機能の実装の両面から、写真位置の精度をさらに向上させる方法を検討する。



(図 16) STAMP システムを用いた現実空間からハイパーフォト空間作成の編集プロセス

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)の支援をいただきました。また、本論文における実験実証は、雑誌「建築文化」付属 CD-ROM における連載企画「建築時空間旅行—多次元フォトコラージュ—」の一環として行ないました。撮影許可の交渉には(株)彰国社の鷹村暢子さんにご尽力いただき、龍安寺・高台寺関係者の方々には実験開催にご協力いただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- [1] Go, J.: *Epipolar Geometry in Stereo, Motion and Object Recognition: A Unified Approach*, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [2] QuickTime VR: <http://www.apple.com/quicktime>
- [3] IBNR (Image Based Non-Rendering):
<http://www-nishio.ise.eng.osaka-u.ac.jp/IBNR/>
- [4] H. Ishiguro, "Development of low-cost and compact omnidirectional vision sensors and their applications," *Proc. Int. Conf. Information systems, analysis and synthesis*, pp. 433-439, 1998.
- [5] H. Tanaka, M. Arikawa, R. Shibasaki, "Public pseudo-3D spaces with association of photographs on the Web", Symposium on ASIA GIS 2001, 2001, in electronic proceedings.
- [6] 田中浩也, 有川正俊, 柴崎亮介, 「写真画像を用いた建築空間の擬似3次元的表现」, 日本建築学会学術講演梗概集, E-1(建築計画I), pp. 941-942, 2001.
- [7] 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」, インタラクティブシステムとソフトウェア IX, pp. 75-84, 日本ソフトウェア科学会 WISS2001, 近代科学社, 2001.
- [8] Cyber Space Atlas: <http://www.cybergeography.org/>
- [9] STAMP ホームページ: <http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/~stamp/>