

空間ハイパーリンクを用いた写真画像群の擬似 3 次元連携

田中 浩也[†] 有川 正俊[†] 柴崎 亮介[†]

近年、デジタルカメラの普及とともに、一般市民が大量の写真画像を取得し Web 上に公開するようになってきた。しかしながら、現在のところ Web 上の写真画像を位置的・空間的に組織化する方法に乏しい。写真画像どうしを関連づけようとする場合、通常のハイパーリンクでは、相互の位置関係を属性として定義することができない。また、個々の写真を一枚ずつ断片的に閲覧するにとどまっておき、リンクされた写真群を用いた、連続的なブラウジング手法も検討の余地が残されている。そこで本論文では「空間ハイパーリンク」と呼ぶデータ連携要素および「空間エフェクト」と呼ぶ写真の半合成表示方法を提案する。その両者をあわせて用いることで、Web 上の写真画像群を用いて、擬似 3 次元空間を構成することが可能となる。本研究は、VR の分野における Image-Based Rendering と呼ばれる一連の研究を、より Web と親和性の高いものへと拡張する意味も持つ。本提案手法を用いて、一般市民が Web 上の写真画像を組織化すれば、汎用的な擬似 3 次元空間データベースを Web 上に構築することができる。

A Pseudo-3D Association of Photographs by Using Spatial Hyperlinks

HIROYA TANAKA,[†] MASATOSHI ARIKAWA[†] and RYOSUKE SHIBASAKI[†]

A large number of landscape photographs have become available on the Web with the popularization of digital cameras. However, the Web does not provide enough functions for organizing the landscape photographs with their location information. Hyperlinks designed for HTML documents can represent simple associations between photographs, but the hyperlinks cannot be used for spatial associations among landscape photographs in order to browse and organize them as parts of 3D spaces. This paper proposes two components as extensions of hyperlinks for creating pseudo-3D spaces with landscape photographs, that is, *Spatial Hyperlink* and *Spatial Effect*. Our framework is also considered as extensions of Image-Based Rendering towards harmonizing the Web. Furthermore, our framework allows ordinary people to publish their landscape photographs as parts of pseudo-3D spaces that will grow on the Internet.

1. はじめに

従来より、現実空間を再現する 3 次元都市データを Web 上に構築する研究は広汎に進められてきた。その代表的なアプローチは VRML や X3D¹⁾などを用いて都市の 3 次元形状データを製作する Geometry-Based Approach と呼ばれる方法である。近年では、製作された 3 次元都市データの内部に、関連する Web サイトへのリンクを施し、都市情報のポータルとして提供する試みも行われており、それらは「3D デジタルシティ」などの呼称も与えられている²⁾。

しかしながら、都市の 3 次元形状データを作成するには、モデリングにかかる時間的・作業的負荷が大きく、現状では一部の代表的な都市を除いて広範に普及

しているとはいえない状況にある。

データ作成が過負荷である限りにおいては、3 次元都市データ作成は専門家がトップダウン的に行う以外に方策がなく、結果として代表的な都市以外のデータ整備はあまり行われてきていない。

一方で、近年デジタルカメラが社会的に急速に普及しはじめており、多くの一般ユーザが大量の写真群を撮影して Web 上に配信する状況が起こってきている。携帯電話内蔵型デジタルカメラも普及のきざしを見せており、今後も Web 上にはますます多くの写真画像が蓄積されていくと予想される。そのような状況から考えるならば、配信された写真画像のうち位置的に関連する写真画像どうしを連携させあうことで、画像を用いた擬似 3 次元都市データを共同で作り上げていくことも不可能ではないと考えられる。比喩的に述べるならば、HTML 文書(ホームページ)をノードとし、それらをハイパーリンクで連携する構造に基づいて拡

[†] 東京大学空間情報科学研究センター
Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo

大・発展してきたこれまでの Web の経緯と同じように、各ユーザが身近な写真画像（ホームフォト）を配信しあい、それらを互いにリンクしあうようなプロセスで都市データを製作していくことも可能と思われる。このような枠組みは、Web の特性である分散協調や不特定多数による共同作業を活かしたボトムアップ的な方法である。本論文では、そのようなビジョンに基づき、Web 上に配信される写真画像を連携して擬似 3 次元空間を構成するための、基礎的な手法を論じる。

本論文で提案する擬似 3 次元空間構成方法は 2 段階からなる。まず Web 上の位置的に関連する写真画像を連携するための「空間ハイパーリンク」を提案する。従来の「ハイパーリンク」³⁾は、HTML 文書・画像・音声・ムービーなどのファイル形式にかかわらず用いられるのに対して、本論文で提案する「空間ハイパーリンク」は、ノードを画像とした場合のみ付与可能な、拡張的なリンクである。次に、空間ハイパーリンクで結び付けられた写真画像を、ブラウザ上で視覚化する際の擬似 3 次元表示方法について述べる。この画面処理手法を本論文では「空間エフェクト」と呼ぶ。以上の 2 段階を経て、Web 上に写真画像を用いた擬似 3 次元空間を実現する原理を示す。

本研究では、提案手法の検証のため、擬似 3 次元空間の製作・閲覧を行うプロトタイプシステム STAMP (Spatio-Temporal Association with Multiple Photographs) の開発を行い、その利用実験を通じて基礎的な有用性を確認した。本論文では STAMP システムとその利用事例についても触れる。

次章以降、まず 2 章で現状の問題点をより具体的に指摘し、本論文の位置づけを明らかにする。次に、3 章・4 章で提案手法をそれぞれ述べる。5 章で、実装した STAMP システムの概要を説明し、6 章でシステムの試験運用について述べる。最後に、7 章で全体のまとめとする。

2. 既存手法

2.1 ハイパーリンクの拡張

現在、Web 上の写真どうしを連携するためには HTML 仕様³⁾に基づくハイパーリンクが最も一般的に用いられている。しかしながら本研究の目的からすると、ハイパーリンクには次のような問題点が存在する。

- (A) 2 枚の写真間の位置的な関係性を定義することができない。
- (B) ハイパーリンクで関連づけられた写真群をたどる際、断続的に切り替わるように表示されるのみであり、3 次元空間を移動するように連続的

に写真をつなぐことができない。

(A)、(B) の点について 2.1.1 項および 2.1.2 項でそれぞれ個別に論じる。

2.1.1 機能的な拡張に関する議論

(A) の問題は、通常のハイパーリンクが、その始点・終点として写真画像の URI を指定することしかできないことに起因する。2.2 節で詳しく述べるが、写真間の位置的な対応関係を定義するためには、写真画像の内部領域をそれぞれ始点・終点のアンカとして指定できることが必要となる。画像の内部領域をアンカとして指定する機構は、HTML3.2 以降標準化された <Map> タグで部分的に実現されている⁴⁾。しかしながら、<Map> タグはハイパーリンクの始点となるアンカを画像の内部領域として指定できるものの、リンクの終点は URI としてしか与えることができないという不足が存在する。

拡張リンクという意味では、現在 W3C で XLink⁵⁾ の仕様策定が進められている。しかしながら、XLink は文書情報である XML を前提とした拡張リンクの提案であり、画像データに対して付与することは想定されていない。また、HyTime⁶⁾ や SMIL⁷⁾、HTML+TIME⁸⁾、MPEG⁹⁾ といった拡張リンクを含む提案も数多く存在するが、これらはマルチメディアのオーサリングに主眼を置くものであり、写真画像に特化した拡張リンクの提案はあまり見受けられないのが現状である。

そのような中で、IBNR¹⁰⁾ は写真内部の「歩行可能部分」にリンクを与え、アバタを用いて移動することで擬似 3 次元空間を実現する提案であり、本論文の内容と強く関連する。しかしながら、リンク構造については比較的議論がなされておらず、扱える写真画像が道や床などの「歩行可能部分」が撮影されたものに限るといった特殊な制約もある。

2.1.2 視覚表現の拡張に関する議論

(B) の問題は、Web ブラウザの表示機構に依存する問題である。Web ブラウザ上でユーザがリンクをたどる動作を *Traverse* と呼ぶが、一般的な Web ブラウザで実現される *Traverse* の画面表現は、画像が断続的に入れ替わるのみであり、2 枚の画像を連続的につないで擬似 3 次元空間を表示するような機構は現在のところ実現されていない。XLink⁵⁾ では、*Traverse* の画面表現についても検討がなされているが、「ウィンドウそのものを入れ替える (Replace)」、「新たなウィンドウを立ち上げる (New)」、「リンクの終点にあるリソースを始点となるリソースの内部に埋め込む (Embed)」、の 3 種類の分類が与えられたのみであり、写真画像と

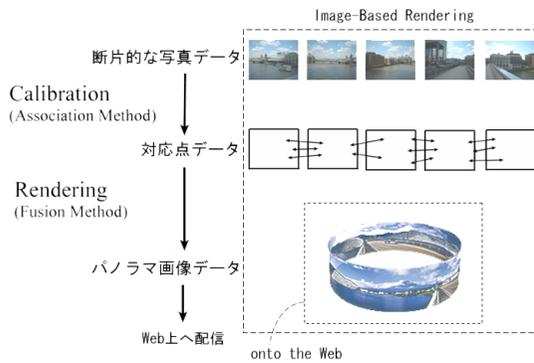


図1 Panoramic VR 生成処理の流れ

Fig.1 A process of creating a panoramic VR.

うしを連続的に表示するような提案はなされていない。

2.2 Image-Based Rendering

複数の写真画像をつないで連続的な擬似 3 次元空間を再構成する技術は、近年の Virtual Reality の分野で発展してきており、Image-Based Rendering と呼ばれている^{(11),(12)}。Image-Based Rendering のうち、最も社会的に普及している技術の 1 つが *Apple* の QuickTime VR⁽¹³⁾ に代表されるパノラマ空間構成手法である。一般的に QuickTime VR を製作する場合、まず全周 360 度の写真をそれぞれ撮影しておき、それらの写真内部の対応情報を人手あるいは何らかの自動検出を用いて取得し、合成処理を行う。この合成処理は Stitch とも呼ばれている。Stitch が完了したあと、できあがったパノラマ空間を Web 上に配信するというプロセスを踏む(図 1)。QuickTime VR では、Web 上に配信されたパノラマ空間どうしを相互にリンクで接続する機構も実現されている。しかしながら、パノラマ空間を構成する一部の写真のみを Web 上で入れ替えることはできない。また、写真を 1 枚だけ追加するといった編集も原理的に不可能である。

すなわち、QuickTime VR における問題点は、ノードの基本単位を「パノラマ空間」としているため、編集や更新・拡張の自由度が制限されている点にあるといえる。VR の分野では、他にも *Tour into the Picture*⁽¹⁴⁾ など Image-Based Rendering に属する手法が多く提案されているが、いずれもローカルコンピュータ上で写真画像の処理を行うことに主眼を置くものであり、Web 上に配信する枠組みや Web 上での相互連携に関する議論は現在のところあまりなされていない。

2.3 本研究のアイディア

以上に述べたような現状認識をもとに、本論文では、次のような基礎的な方針を立てる。

- ノードの基本単位を Web 上の写真画像とし、写

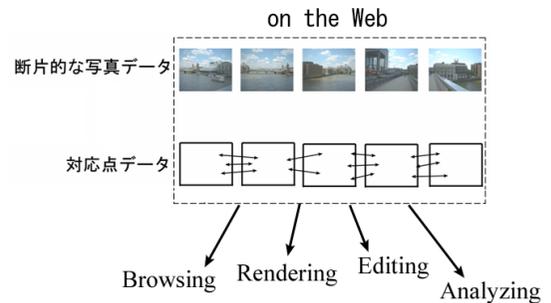


図2 本論文で提案する枠組み

Fig.2 Our proposed framework of Image-Based Rendering.

真どうしの対応情報をすべてリンクデータとして記述する。リンクデータは写真画像に付随させて Web 上に配信する。

- Web ブラウザ上で写真画像を閲覧する際に、それに付随するリンクデータを同時に読み込んで表示処理を施し、写真間を擬似 3 次元的に *Traverse* できるようにユーザに提示する。

この枠組みは、従来の VR のようにローカルコンピュータ上で前もって製作した仮想空間を事後的に Web 上に配信するのではなく、素材となる写真画像と対応情報のみを Web 上に置くこととし、ブラウザの表示処理において逐一仮想空間を生成提示しようとするものである。この枠組みによると、1 枚の写真画像を追加・削除したり、新しい写真に更新したりすることが簡便に実現できる。また、リンクデータは擬似 3 次元空間表示以外の用途でも、リンク構造の解析など多目的に利用できる枠組みとなる。以上に述べた本論文で提案する基礎的な枠組みを図 2 に示す。図 1 と図 2 の比較でも示されるが、本論文は従来の Image-Based Rendering を、より Web と親和性の高いものへ拡張する意味も持つ。次章より提案手法について具体的に論じる。

3. ハイパーリンクの空間的拡張

3.1 写真間の対応関係

本章では、写真画像どうしの位置的な関連性を定義するための「空間ハイパーリンク」の提案を行う。まず議論の基礎的な準備を行う。写真画像が 2 枚あるとし、それらの写真内部のどこかに、現実世界における共通の対象が撮影されていたとするならば、それら 2 枚の写真画像間に、対応点を定義することが可能とな

たとえば定点観測カメラによって定期的に最新のものに更新される写真画像などを想定する。

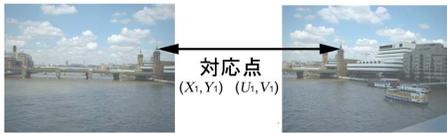


図 3 2 枚の写真の対応点

Fig. 3 Corresponding points in two photographs.

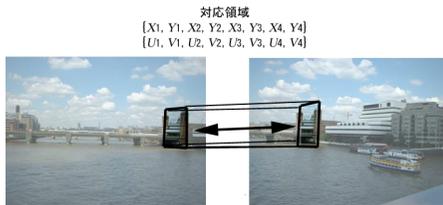


図 4 対応点から対応領域への変換

Fig. 4 Conversion from corresponding points to corresponding areas.

る(図 3)。

ここでいう対応点とは、現実世界で同一の 3 次元座標を指示する写真内ピクセルを意味する。対応点は、2 枚の写真画像それぞれについて与えられ、通常一組として扱われる。

写真の対応点が 2 つ以上取得できた場合、それらの対応点が現実空間内で同一の平面上にあることが保証されるならば、複数の対応点をまとめて、対応領域に変換することが可能となる。この時点で、対応領域内に含まれるすべての点を、対応点として見なすことができる。例として、対応点が 4 つの場合について、対応点から対応領域へ拡張した場合を図 4 に示す。対応点が 1 つの場合は、対応領域と対応点が一致する特殊な場合として扱うこととする。

3.2 空間ハイパーリンクと空間アンカ

本節では、3.1 節の考察をもとに、写真の対応領域をハイパーリンク³⁾と融合させたものとして、空間ハイパーリンクの概念を示す。まず通常のハイパーリンクの定義を示す。

ハイパーリンク (Hyperlink): Web 上に存在する 2 つのリソースを関連づけるための要素であり、*Traverse*の移動元となるリソースを始点リソース、移動先となるリソースを終点リソースと呼ぶ。*Traverse*の実際の動作は、始点リソースのある部分から、終点リソースのある部分への移動を意味するため、リソース中のある部分をアンカ (*Anchor*) と呼び、始点リソースのアンカを始点アンカ、終点リソースのアンカを終点アンカと呼ぶ。

アンカ (Anchor): ハイパーリンクを構成する端であ

り、Web 上におけるリソースあるいはその中の部分を特定する URI (Uniform Resource Identifier) を持つ。アンカは一般に、ユーザにクリック可能な領域を視認させる役割も同時に果たす。

この定義をもとに、ハイパーリンクを構成する両端のアンカを、3.1 節で論じた対応領域として拡張する。ここで拡張されたアンカを、本論文では「空間アンカ」と呼ぶこととする。両端が「空間アンカ」として指示されているハイパーリンクが「空間ハイパーリンク」となる。その定義を次に示す。

空間ハイパーリンク (Spatial Hyperlink): Web 上に存在する 2 つの画像を位置的に関連づけるための要素であり、*Traverse*の移動元となる画像を始点画像、移動先となる画像を終点画像と呼ぶ。画像の中のある部分領域を空間アンカ (*Spatial Anchor*) と呼び、始点画像の空間アンカを始点空間アンカ、終点画像の空間アンカを終点空間アンカと呼ぶ。

空間アンカ (Spatial Anchor): 空間ハイパーリンクにおける端であり、画像リソースを特定する URI と、画像内の部分領域から構成される。空間アンカは一般に、ユーザにクリック可能な領域を視認させる役割も果たす。

Web 上の 2 枚の画像データの連携に関して、ハイパーリンクを用いた場合、および空間ハイパーリンクを用いた場合との比較を、それぞれ図 5、図 6 に示す。空間ハイパーリンクが 3.1 節で論じた対応点や対応領域と異なる点は、*Traverse*の方向性を指示するため、有向のリンクとして定義している点である。双方向のリンクを実現する場合には、始点と終点の関係を逆にした空間ハイパーリンクを相互に与えることとする。

空間ハイパーリンクを導入することによって、Web 上に存在する写真画像群を、位置的な対応関係をもとに連携できるようになる。2 章で述べたように、HTML3.2 以降採用された <Map>タグ⁴⁾は、ハイパーリンクの始点となるアンカを画像の内部領域として指定できるものの、リンクの終点は写真の URI のみとして指定するしかできない。空間ハイパーリンクは、リンクの始点・終点のアンカをともに写真の内部領域として定義できるものであり、この具体的な XML 仕様については 5 章に示す。

3.3 写真画像と空間ハイパーリンクを用いたネットワーク構造

複数の写真群を空間ハイパーリンクを用いて連携すると、図 7 のように、写真画像をノード、その内部の対応領域どうしを空間ハイパーリンクで結び付けたネットワーク構造を Web 上に実現することができる。

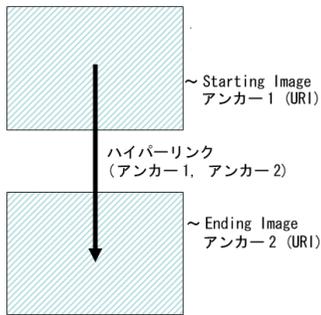


図 5 写真画像に適用した従来のハイパーリンクの概念図
Fig. 5 A conceptual image of *Hyperlink*.

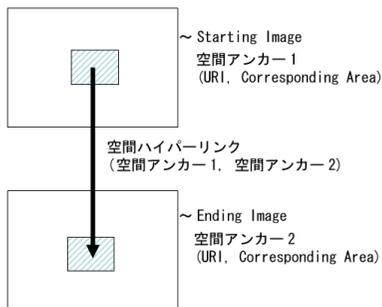


図 6 空間ハイパーリンクの概念図
Fig. 6 A conceptual image of *Spatial Hyperlink*.

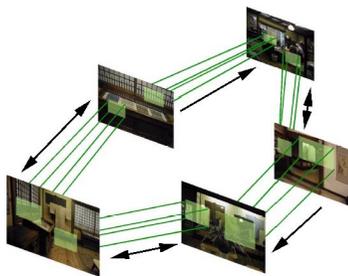


図 7 空間ハイパーリンクで関連づけられた Web 上の写真群
Fig. 7 Photographs associated with *Spatial Hyperlinks*.

以降の議論はこのデータ構造を前提とする。次章では、このデータの画面上の提示手法について述べる。

4. 空間ハイパーリンクを用いた画面表現

4.1 既存手法の検討

図 7 のように空間ハイパーリンクで関連づけられた写真群が Web 上に存在したとすると、次の段階としてそれらを用いた画面上の表現方法について考察することができる。しかしながら、1 つのデータに対して無数の視覚化がありうるように、空間ハイパーリンクから生み出すことのできる画面表現も一意に定めるこ

とは原理的にできない。逆にいえば、さまざまな画面表現での活用を可能とすることも空間ハイパーリンクの利点であるといえる。

この観点から述べるならば、VR における Image-Based Rendering の各手法は、空間ハイパーリンクがある条件を満たした場合にのみ可能な画像処理と位置づけられる。たとえば、QuickTime VR¹³⁾は「1カ所から見回した状態で撮影した」という条件を前提として、4つの対応点を取得できればパノラマ画像を生成できるという原理に基づいている。また、3D-Mode¹⁵⁾では、6つの対応点を取得できれば最終的に3次元オブジェクト形状までを再現することができる。図7に示したようなデータが必要な条件を満たしていれば、以上のような処理も事後的に可能である。

しかしながらこれらの既存手法には、次のような問題もある。

- 指定された条件を満たしていない写真画像群に対しては、画像合成処理を実行できない。
- 合成写真画像だけが公開の対象であり、元の写真画像群を利用して Web 上で閲覧できる枠組みは作られてない。
- 高品質な写真画像群の合成をブラウザレベルで行うには処理時間もかかり、元の写真画像の品質もさまざまであるため不確実性が高い。

以上の理由から、本論文では、どのような空間ハイパーリンクに関しても適用できる汎用的な表示方法について検討を行う。

4.2 空間エフェクト

4.2.1 座標変換を用いた写真画像の変形

本論文では空間ハイパーリンクを *Traverse* する際の画面上の表示手法を「空間エフェクト」と呼ぶ。これはリンクをたどる際に擬似 3 次元的な視覚効果を挿入し、写真間をスムーズにつなぐための処理である。

VR の分野で行われているように、写真どうしを完全にスムーズにつなぐためには、ピクセルブレンディングなど光線の計算を行って画像の補間を行う手法が最も高品質な結果が得られる。しかしながら、ブラウザ上で表示する際に、逐一光線の計算を行うのは負荷が高く、速度の問題も生じる。そこで本論文では、光線の計算は回避し、写真それぞれの空間アンカ部分のみを画面上で一致させて重ね合わせる処理方法を提案する。これを半合成処理と呼ぶ。

半合成処理で前提として用いるのは、行列を用いた座標変換の方法である。座標変換によって、2枚の写真画像における対応部分が一致するように、写真の輪郭全体を変形して重ね合わせるこ

表 1 代表的な座標変換の一覧

Table 1 Various types of coordinate transformations.

対応頂点個数	代表的な座標変換	処理内容
$n \geq 1$	平行移動	平行移動
$n \geq 2$	ヘルマート変換	移動・回転・縮尺
$n \geq 3$	アフィン変換	スキュー歪・縮尺・移動
$n \geq 4$	射影変換	3次元偏位補正
$n \geq 6$	二次変換	放物歪補正
$n \geq 10$	三次変換	3次歪み補正

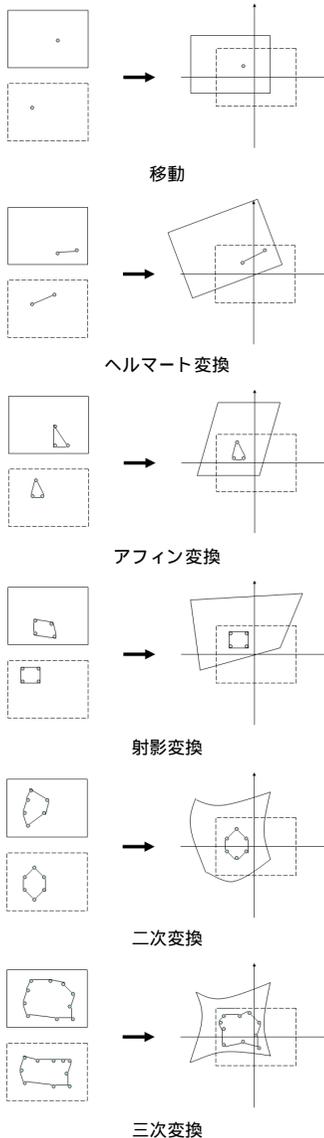


図 8 代表的な座標変換の概念図

Fig. 8 Conceptual images of coordinate transformations.

形処理には、対応する頂点の個数に応じて、表 1 および図 8 に示すような変換を適用できる¹⁶⁾。

空間アンカの頂点個数に応じてこれらの座標変換を

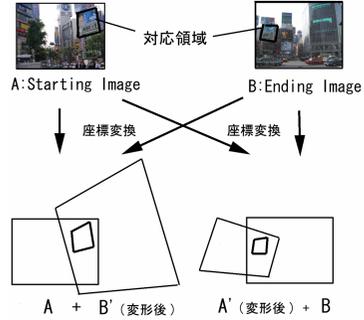


図 9 座標変換を用いた合成枠生成

Fig. 9 A method for warping frames of photographs by using coordinate transformations.

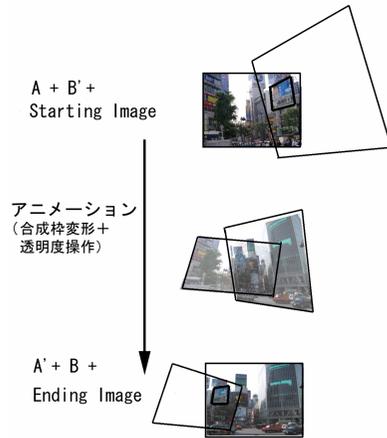


図 10 空間ハイパーリンクの Traverse を示すアニメーション
Fig. 10 An animation of traversing a Spatial-Hyperlink.

用いれば、写真画像の輪郭を変形し、対応領域どうしを画面上で一致させることができる。この方法を前提とし、リンクをたどる際のアニメーションについて次項で述べる。

4.2.2 アニメーションを導入した半合成処理

座標変換に時間的なアニメーションを加え、次のようなアルゴリズムを導入する。

- (1) 空間アンカ頂点数に応じた座標変換を用いて、Traverse前の合成枠 A+B' および Traverse後の合成枠 A'+Bをあらかじめ計算する(図9)。
- (2) A+B' 枠のなかに始点画像部分のみをマッピングし表示する(図10上段)。
- (3) ユーザから Traverseの開始を指示する操作があった場合、B' 枠のなかに終点画像を透明な状態でマッピングし、時間の進行にともなってその部分を不透明の状態へと変化させる。同時に、始点画像部分を徐々に透明の状態へと変化させる(図10中段)。

- (4) (3)の透明度操作と同時に、A 枠を A' 枠へ、B' 枠を B 枠へと徐々に変形させる(図 10 中段)
- (5) 変形が完了した時点で、終点画像部分だけを残り、始点画像部分を消去する(図 10 下段)。
- (6) (1)へ戻る。

以上のアルゴリズムをまとめたものが図 9, 図 10 である。このように *Traverse*の開始点・終了点の画像をあらかじめ計算しておき、それらをアニメーションでスムーズに補間する手法は CG の分野で *Morphing* と呼ばれている。また、形状のみならず、透明度の交換を行う手法は *CrossDissolve* と呼ばれる。本手法は *Morphing* と *CrossDissolve* をあわせた表示手法である。図 9, 10 には、空間アンカ頂点数が 4 の場合を代表して示したが、頂点数に応じた座標変換を用いることで、どのような個数の場合にも対応できる。このアニメーションが、空間ハイパーリンクを *Traverse* する際に画面に表示されるものである。この処理は、光線の計算を回避しているため、ブラウザ上で逐一計算処理を行っても妥当な速度で実現できるという利点がある。また、2 枚の写真が区分された状態でありながらも、その中間状態が連続的に表現される。

この方法によって提示される擬似 3 次元空間は、正確に現実空間を再現しているものではないが、輪郭の変形によって、写真間の距離・回転・方向をおおまかにユーザに視認させる効果を持つ。通常のハイパーリンクの *Traverse* のような、画面が瞬時に切り替わる断続的な表現と比較して、現実世界を散策しているのに近い移動感覚を与えることができる。

4.2.3 矢印描画を用いた簡易表示

4.2.2 項ではアニメーションを導入した処理の提案を行ったが、これは PC 環境を前提とした空間ハイパーリンクの画面表現である。さまざまな環境下で、空間ハイパーリンクで関連づけられた写真群を閲覧する場合、必ずしもアニメーションを処理できない状況も予想される。たとえば携帯電話を用いて閲覧する場合、スクリーンのサイズや、処理に要するメモリの関係上、アニメーションを実現するのは現在のところ困難である。そこで、空間ハイパーリンクを用いた、より簡易な画面表現として、写真画像上に矢印を表示するアルゴリズムも考えうる。以下にそのアルゴリズムを示す。

- (1) 始点画像を表示する。
- (2) 始点画像の中心を始点、図 9 に示した B' の中心を終点とした矢印を描画する。矢印が画像枠内におさまらない場合には別途処理を行い、矢印の長さを調節する。
- (3) ユーザからのアクション待ちとなる。アクション



図 11 空間ハイパーリンクを用いた矢印描画

Fig. 11 An arrow generated as visualization of *Spatial-Hyperlink*.

があった場合 (1) に戻り、次の画像を表示する。

図 11 にこの表示結果を示す。このアルゴリズムの場合、ユーザからのアクションが発生すると、写真間が断続的に切り替わり、アニメーションは挿入されない。そのため、写真間の距離・回転・方向を視認させる効果は乏しくなる。しかしながら、携帯電話のような環境下でも実現できるという柔軟性が利点である。このように、空間ハイパーリンクを用いた画面表示は、複数のパリエーションを実現可能なため、閲覧する環境に合わせて切り替えられることが望ましいと考えられる。これはデータの内容と表示方法を分離する考えに基づくものである。本章では、半合成アニメーションを用いた手法と、矢印を用いた手法の 2 種類を、現時点での空間エフェクトとして提案した。

5. STAMP システムの実装

3 章および 4 章で提案した理論を用いて、STAMP (Spatio-Temporal Association with Multiple Photographs) システムの実装を行った。STAMP は、空間ハイパーリンクデータを生成する編集ソフト STAMP-Maker と、Web 上に存在する空間ハイパーリンクと写真画像群を読み込んで、空間エフェクト処理を加えて提示する閲覧ソフト STAMP-Navigator からなる(図 12)。通常の HTML に即して述べるならば、STAMP-Maker は、ホームページ製作支援ソフトに相当し、STAMP-Navigator は、Web ブラウザに相当する。

STAMP システムの開発にあたって、空間ハイパーリンクのデータ形式を、表 2 の例のように XML を用いたものとして策定した。次項で STAMP システムの内容について詳しく述べる。

5.1 STAMP-Maker

STAMP-Maker の画面を図 13 に示す。ユーザは、まず写真画像群をローカルコンピュータあるいは Web 上から取り込んだあと、画面下部のサムネイルから任意の写真の組を選択し、それらに対して好きな個数の対応点を入力する。この対応点データは、表 2 に示し

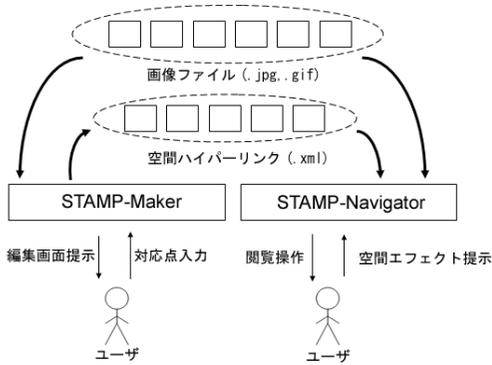


図 12 STAMP システムの構成

Fig. 12 System configuration of STAMP.

表 2 空間ハイパーリンクの XML データ例
Table 2 XML data of *Spatial Hyperlink*.

```
<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS"?>
<spatial-hyperlinks>
  <spatial-hyperlink id="0001">
    <starting_image>
      <URI>http://www.abc.com/1.jpg</URI>
      <spatial-anchor>x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4</spatial-anchor>
    </starting_image>
    <ending_image>
      <URI>http://www.abc.com/2.jpg</URI>
      <spatial-anchor>u1,v1,u2,v2,u3,v3,u4,v4</spatial-anchor>
    </ending_image>
  </spatial-hyperlinks>
</Spatial-Hyperlinks>
```



図 13 STAMP-Maker の画面構成

Fig. 13 A screenshot of STAMP-Maker.

たような XML 形式の空間ハイパーリンクデータとして保存される。ここで生成された空間ハイパーリンクデータと写真画像をサーバ上に配信することとする。

5.2 STAMP-Navigator

ブラウジングの際に用いる STAMP-Navigator の画面を図 14 に示す。ユーザが画像の URI を入力すると、まずそれに付随する XML データが読み込まれ



図 14 STAMP-Navigator の画面構成

Fig. 14 A screenshot of STAMP-Navigator.

る。次に、始点画像として表示され、同時に終点画像が変形枠だけの状態で重ね合わされる。ユーザが始点画像内の空間アンカ部分をクリックすると、終点画像へ向かって *Traverse*するアニメーションが表示される。このアルゴリズムは 4.2.2 項で論じたとおりである。その後、再び静止状態へ戻り、ユーザのクリック待ちとなる。1 枚の写真画像に対して複数の空間ハイパーリンクが施されている場合には、次に移動したい写真画像を画面下部のサムネイルのなかから選択することができる。

6. STAMP システムの検証

6.1 利用事例

STAMP システムを Web 上に公開して自由にダウンロードできるようにし試用を求めたところ、現時点で 189 件のダウンロードがあり、45 つの擬似 3 次元空間が公開されている。それらをリンク集としてまとめたサイトが文献 17) である。そのサイトの画面を図 15 に示す。製作された擬似 3 次元空間のうち、すでに撮影してあった写真群を再利用して編集した事例は 6 件、STAMP システムを知ってから新たに写真撮影を行って編集した事例は 39 件であった。また、異なるユーザ同士が、撮影した写真どうしを互いに連携しあい、共同で擬似 3 次元空間を製作した事例は 2 件あった。その 1 つは、複数の参加者による建築空間アーカイブの製作実習に STAMP システムを用いたものであり、もう 1 つは、美術館の訪問者がそれぞれに写真を撮影して、1 つの擬似 3 次元空間を製作したものであった。このそれぞれの事例について詳しくは論文 18), 19) で述べた。

現在のところ、製作された擬似 3 次元空間は、中国の円楼地区を対象としたものから、北海道や福島に存在する建築物を対象としたものなど、地理的に点在した場所のものが公開されている。代表的な都市のみ



図 15 STAMP システムによって作成された擬似3次元空間のギャラリーサイト

Fig. 15 A public gallery site for pseudo-3D contents produced based on STAMP tools.

ならず、各地から徐々に配信されはじめている状況にある。本研究の最終的なビジョンからいうならば、現在は初期段階にあるといえる。各ユーザが自分の管理するドメイン内に公開している擬似3次元空間は、HTMLの比喩でいうならば、1つのドメインにおけるWebサイト（ホームページ）に相当するものといえる。STAMPシステムで製作された擬似3次元空間は、現在のHTML文書ネットワークのように、ドメイン間を横断して相互にリンクしあうような状況に

までは至っていない。しかしながら、今後より多くのユーザが擬似3次元空間を作成して配信できるようになれば、異なるドメインにある写真群も相互に接続され、広域にわたる擬似3次元空間がボトムアップ的にできあっていく可能性もあると考えられる。本論文は、そのような今後の発展を可能とするための、技術的な提案である。

本研究では、地理的に分散している擬似3次元空間どうしを連携するための社会的なアプローチとして、主要な幹線道路や街区の写真画像をある程度用意し、一般ユーザが作成した路地や建物の擬似3次元空間をそこに連携できるようにするための整備活動を行っている。そのような意図で、青山区の街路を再現した擬似3次元空間を製作してWeb上に配信を行った¹⁷⁾。

今後さまざまな参加者の活動が社会的にうまく連動すれば、ドメイン間を横断した擬似3次元空間も増えてくるものと考えている。空間ハイパーリンクは、従来のハイパーリンクと同様に、URIで指定できる画像であればドメインを問わずに連携を行うことができるため、原理としてはHTML文書ネットワークの生成とほぼ同一である。提案する仕様のもとで、今後どのようなプロセスで写真画像群の連携が進行するかについて、観察を行っていく予定である。

6.2 試用者からの意見収集

システムの試用者より自由に意見収集を行ったところ、代表的なコメントは以下のようなものであった。重要と思われるコメントのみを抜粋して示す。

（QuickTime VR との比較に関するコメント）

- ある地点に関して360度の写真をすべて撮影しなくても、好きな方向に移動しながら撮影すればよい。写真の撮影は自由度が高くなった。
- 写真の対応領域の指定のやり方によって、非常に違和感のあるアニメーションになってしまう場合もある。QuickTime VRのように、高品質な擬似3次元空間が必ず保証されているわけではないため、写真連携のノウハウを示す必要がある。

（ビデオムービー・スライドショーとの比較に関するコメント）

- ビデオムービーよりも、重要な視界のみを選別した写真画像を扱える点で便利である。
- 単純な写真のスライドショーよりは、画面の変形によって多少なりとも位置関係が示唆されている。
- インタラクティブに閲覧できる点は評価できる。
- 編集は簡便というものの、手作業で対応領域を指定するのは十分ではない。編集の自動化が必要である。

本論文で述べた空間エフェクトが、どのような3次元移動感をユーザに与えているのかは、今後認知実験や詳細なアンケートを通じて明らかにする必要がある。しかしながら、本論文で提案した表現手法の精度は、以下の3つの要因によって複合的に変化するものである。

- (I) 写真撮影の際のレンズの種類・投影法・画素数
- (II) 空間ハイパーリンクで連携する写真の組の、画像的類似度
- (III) ユーザが手動で入力する対応点の数や、対応領域の面積および手動入力の編集精度

十分に時間的・空間的に密な写真画像を用意できれば、画像の組の類似度が高くなるため、まるでビデオムービーのようなスムーズなアニメーションを作成できる。逆に比較的疎に撮影した写真画像群であれば、やや違和感のある画面となる場合も生じる。本研究において重視した点は、共通の対象が撮影されている写真の組であれば必ず連携することが可能であり、アニメーションで *Traverse* できるという柔軟性である。QuickTime VR のように、一地点から 360 度全周方向の写真を用意することを前提条件として課すシステムの場合は、結果としてできあがる3次元表現の精度も保証される。しかしながら STAMP システムは、用意する写真の制約を緩めたものであり、その反面、できあがる擬似3次元空間の表現精度も場合に応じて変化するものとなっている。

7. おわりに

本論文では、Web 上に存在する写真画像群を位置的に連携して擬似3次元空間を構成するための「空間ハイパーリンク」と呼ぶデータ連携要素および「空間エフェクト」と呼ぶブラウザ上の表示手法の提案を行った。それらをあわせて実装した STAMP システムを示し、各地から徐々に擬似3次元空間の公開がなされはじめている現状を述べた。今後は実際に作成されたデータを用いて、さらに高度な運用方法および応用可能性を検証したい。また、空間エフェクトは、データとは別に独立して改良することも可能なため、ブラウザの処理速度とのトレードオフにはなるが、アニメーションの品質を向上させるための新たな画面表示方法を導入することも予定している。

最後に、本研究の今後の課題を列挙する。

- 空間ハイパーリンクデータを用いた、ネットワーク視覚化や略地図生成に関する研究。
- 都市の3次元形状データとの重ね合わせの研究。
- 新たな空間エフェクトの開発。

- 実社会での応用例の実証とその分析。

補足事項

本論文では、擬似3次元空間を製作する目的で、写真画像の組に発見される対応領域に施すものとして「空間ハイパーリンク」を提案したが、その編集はユーザが手動で行うものとしているため、実際には逸脱的な利用方法も可能である。たとえば、CG 画像や地図画像を用いたり、現実世界で対応していない部分に空間ハイパーリンクを与えて画像どうしを連携することも可能である。このように、本論文の目的とは異なる利用方法もシステムの試用者から報告されはじめているが、稿を改めて論じたい。

参考文献

- 1) VRML, X3D. <http://www.web3d.org/>
- 2) 石田 亨：デジタルシティの現状，情報処理，Vol.41, No.2, pp.163-168 (2000).
- 3) HTML (HyperText Markup Language). <http://www.w3.org/MarkUp/>
- 4) <MAP> tag. <http://www.w3.org/TR/REC-html32#map>
- 5) XLink. <http://www.w3.org/XML/Linking>
- 6) Newcomb, S.R., Kipp, N.A. and Newcomb, V.T.: The "HyTime" Hypermedia/Time-based Document Structuring Language, *CACM*, Vol.34, No.11, pp.67-83 (1991).
- 7) SMIL (Synchronized Multimedia Integration Language). <http://www.w3.org/TR/REC-smil/>
- 8) HTML+TIME (Timed Interactive Multimedia Extensions for HTML). <http://www.w3.org/TR/NOTE-HTMLplusTIME/>
- 9) MPEG (Moving Picture Experts Group). <http://www.mpeg.org/MPEG/index.html>
- 10) Tsukamoto, M.: Image Based Pseudo 3-D Visualization of Real Space on WWW, *Digital Cities: Technologies, Experiences, and Future Perspectives*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.1765, pp.288-302, Springer-Verlag (2000).
- 11) Zhang, Z.: Image-Based Geometrically-Correct Photo Realistic Scene/Object Modeling: A Review, *Proc. 3rd Asian Conference on Computer Vision*, pp.340-349 (1998).
- 12) McMillan, L. and Gortler, S.: Image-Based Rendering. <http://www.siggraph.org/publications/newsletter/v33n4/contributions/mcmillan.html>
- 13) Chen, S.E.: QuickTime VR—An Image-Based Rendering to Virtual Environment Navigation,

Proc. ACM SIGGRAPH'95, pp.29-38 (1995).

- 14) Horry, Y., Anjyo, K. and Arai, K.: Tour into the Picture: Using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image, *Proc. ACM SIGGRAPH'97*, pp.225-232 (1997).
- 15) 徐 剛: 写真から作る3次元CG, 近代科学社 (2001).
- 16) 村井俊治: 空間情報工学, 日本測量協会 (2000).
- 17) STAMP Gallery. <http://www.photowalker.net/>
- 18) 田中浩也, 有川正俊, 柴崎亮介: 建築アーカイヴ作成のための擬似3次元写真編集システム, 日本建築学会計画系論文集, 2003年2月出版号(採録決定).
- 19) Kiriya, T., Otake, M., Tanaka, H., Tokuda, J., Tanji, H., Matsushita, T., Arikawa, M. and Shibasaki, R.: Exploring Exhibit Space in a Personal Perspective: An Interactive Photo Collage of a Folk Crafts Museum, *Proc. ACM SIGCHI DIS2002*, pp.393-398 (2002).
- (平成14年10月1日受付)
(平成14年12月26日採録)

(担当編集委員 有澤 博)



田中 浩也 (学生会員)

1998年京都大学総合人間学部卒業。2000年同大学院人間環境学研究科修了。現在、東京大学大学院工学系研究科博士課程在学中。東京芸術大学・多摩美術大学非常勤講師。

マルチメディア情報システム, ユーザインタフェース, インタクション技術に興味を持つ。日本建築学会, 日本バーチャルリアリティ学会, 認知科学会各会員。



有川 正俊 (正会員)

1986年九州大学工学部情報工学科卒業。1988年同大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年九州大学大型計算機センター助手。1989年同大学工学部情報工学科助手。1993年京都大学工学部情報工学科助手。1994年広島市立大学情報科学部助教授, 1999年東京大学空間情報科学研究センター助教授, 現在に至る。博士(工学)。空間情報技術, データベース, ユーザインタフェースに興味を持つ。地理情報システム学会学術委員長, 地理情報システム学会空間IT分科会主査, G-XML機能拡張検討小委員会委員長。



柴崎 亮介 (正会員)

1980年東京大学工学部卒業, 1982年同大学院修了。同年より建設省土木研究所勤務。1988年東京大学工学部助教授, 1991年より同大学生産技術研究所助教授。1998年より東京大学空間情報科学研究センター教授と生産技術研究所教授を兼任, 現在に至る。工学博士。都市・地域から地球までの様々な空間スケールを対象に, 実空間情報の構築や, 空間を通じた情報の共有化と環境問題等への応用に取り組んでいる。