

# デジタル画像群の複数次元を用いた インタラクティブな可視化に関する研究

田村 晃一<sup>\*1</sup> 萩原 拓真<sup>\*1</sup> 高嶋 和毅<sup>\*1</sup> 北村 喜文<sup>\*1</sup>

## A Study for Interactive and Multi-Dimensional Visualization of Digital Images

Kouichi Tamura<sup>\*1</sup>, Takuma Hagiwara<sup>\*1</sup>, Kazuki Takashima<sup>\*1</sup> and Yoshifumi Kitamura<sup>\*1</sup>

**Abstract** - We propose a new interactive visualization of a large set of digital image content using their embedded multi-dimensional meta-information. A prototype is designed and implemented based on the algorithm of D-FLIP, our previous work for flexibly displaying large image collection. We design various dynamic image visualizations with up to 4 dimensional meta-information by using Bertin's visual variables and 3 dimensional space. The prototype offers several interfaces allowing users to dynamically and effectively manage photo visualizations by selecting meta-information of user's current needs and interest. We also discuss its possible applications for content observation and search.

**Keywords** : Interactive content, Image processing, 3D and 4D Data Visualization, Computer Animation and Meta-information.

### 1. はじめに

デジタルカメラやスマートフォンの普及により、大量の画像を扱う機会が多くなってきた。これらのデバイスで撮影された画像には、撮影した時間や場所等のメタ情報が埋め込まれており、これらは探索等の画像の全般的な管理に利用されている。その他にも、例えばウェブ上で映画を探索する場面では、映画のアイコンとなる代表的画像には、発行年、役者名、評価スコア等、その画像（映画）を説明するための多くのメタ情報が付与されている（または一揃いのデータとして管理されている）。これらのメタ情報は、ユーザが所望のコンテンツを検索したり、見やすいように並べ替えたりするときに利用される。このように、我々は普段から様々な場面で、閲覧の対象となる画像だけではなく、それを説明する各種メタ情報（関連情報）も同時に扱っている。しかし、我々が扱う情報や画像は増える一方であり、また、それぞれの画像が持つメタ情報も多次元化する傾向にあるため、従来の単純な画像ビューワ（リスト表示とソート機能）等では画像とそのメタ情報の両方を効果的に可視化することは難しい。

これまで、画像群を効果的に見せる手法として、木構造に従ってインタラクティブに表示する PhotoMesa<sup>[1]</sup>、画像群が持つメタ情報を用いて2次元ディスプレイ上にアニメーションとともに再配置する D-FLIP<sup>[2]</sup>、そして3次元空間上に画像群を配置することで多様な情報を可視化する PhotoCube<sup>[3]</sup>等が提案されている。しかし、扱うメタ情報が低次元（1から2次元）に限られたり、高次元

では画像群の一覧性が著しく低下したりするという課題があり、画像とそのメタ情報を効果的に可視化するインタフェースはこれまで提案されてこなかった。

そこで本研究では、創発アルゴリズムを用いて画像群をインタラクティブに動的表示できる D-FLIP<sup>[2]</sup>（図1）をベースにし、画像群を複数次元のメタ情報を用いて柔軟に可視化できるインタフェースを開発する。本研究では、多次元のメタ情報の可視化にあたり、Bertin<sup>[12]</sup>の挙げた視覚変数のアイデアを導入することで、同時に4次元までの情報を効果的に可視化する。また、D-FLIPと同様に、画像群に対するグルーピング等、多様な操作やアニメーション等による印象操作も可能である。本稿では、画像群の複数次元を用いた可視化に向けたインタフェースの設計、実装、利用シナリオ、および予備的な評価結果について報告する。

### 2. 関連研究

これまでも、大量の画像群を限られたサイズの2次元ディスプレイ上で効果的に表示するための様々な工夫が提案されてきた。本章では、その代表的な研究例を紹介する。

#### 2.1 画像群の静的表示手法

PhotoMesa<sup>[1]</sup>は木構造にしたがって階層的にフォルダ分けされた画像群をグリッド状に配置し、ズームを有効活用することによって大量の画像群の中でも注目画像を見やすく表示する。同様に画像をグリッド状に配置する手法は数多く提案されている<sup>[4],[5]</sup>。これらは画像の配置場所によってその画像が持つ情報を可視化していることになるが（例えば画面右側に行くほどメタ情報の値が大きいが、等）、これまでの提案手法では、画像の持つメタ情

\*1: 東北大学 電気通信研究所

\*1: Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University



図1 D-FLIPによる画像群表示の例  
Fig.1 D-FLIP.

報の一部しか可視化することができていない。

画像群とそれらが持つ複数次元メタ情報を同時に可視化する表示手法として MIAOW がある<sup>[6]</sup>。これは、画像の配置場所や配置方法（点と線を利用した地図へのマッピング）によって、撮影日時と撮影場所を表すことができるが、この2つの限定された情報しか可視化できない。より多次元のメタ情報を表現できる画像の可視化手法として PhotoCube<sup>[3]</sup>がある。これは、立方体の内部に画像群を配置し、その立方体の各3軸を任意のメタ情報の変数軸として設定することができる。これにより、メタ情報をインタラクティブに切り替えて多次元の情報を可視化することができるが、視点によっては画像同士が重なってしまい画像群の一覧性が低くなる。

## 2.2 画像群の動的表示手法

アニメーションの利用は、画像群を複数次元で可視化する際に有用である。アニメーションを付加することによってユーザが情報を追従しやすくなる<sup>[7]</sup>他、視覚的に多様な表現ができるため、画像群をより印象的に表現する等<sup>[8]</sup>、画像の閲覧体験に付加価値を与えることができる。そのため、アニメーションを用いて効果的に画像群とそのメタ情報を可視化しようとする試みもある。Nieto<sup>[9]</sup>らや Xintong<sup>[10]</sup>らの手法では、画像群は画像同士の類似度や木構造に従って画面上に動的に配置される。そして、ユーザによって画像の配置が変更された場合、画像同士の重なり等の画像群の配置の良さを評価する関数をもとに、画像群全体をアニメーションを用いて再配置する。ただし、これらでは何か変更がある度に最適な解をその都度計算する必要があるため、画像群の再配置が完了するまでに時間がかかる。一方、図1に示す D-FLIP は、創発の考え方によるアルゴリズムを利用することにより、画像群の配置を柔軟かつ速やかに変更することが可能な表示手法である<sup>[1]</sup>。D-FLIP では、トップダウン的に与えられたアルゴリズムによって決定論的に画像の配置を決定するのではなく、個々の画像間の局所的な振る舞いを定めることで全体として画像同士の重なりを回避しつつ動的に画像群を表示できる。D-FLIP は可視性を高く保ちつつ画像群を印象的に表現でき<sup>[8]</sup>、画像群を用いたストーリー作成タスクにおけるユーザの負荷を軽減することが示されている<sup>[11]</sup>。なお D-FLIP では、画像群のメタ情報を利用した次のような機能が実装されていた。

- ・ 撮影日時順に画像を並べ替える機能
- ・ 撮影場所に依拠して地図上に画像を配置する機能
- ・ ベン図を描くことにより画像群をメタ情報に応じてグルーピングする機能
- ・ 注目画像に関連する画像を注目画像の近くに引き寄せる機能

それぞれの機能は有用であるが、D-FLIP でのメタ情報の可視化は2次元（平面の X と Y 軸への緯度と経度の割り当て）にとどまっており、また、メタ情報を管理したり取捨選択したりするインターフェースを持たなかったため、多次元メタ情報を有する画像群への対応が十分でなかった。

## 3. 画像群の複数次元を用いたインタラクティブな可視化

我々は D-FLIP の画像群表示アルゴリズムを利用し、画像群の複数次元メタ情報を可視化することができるインターフェースを設計し、実装した。本章では、設定した3つの設計方針とその実装方法について述べる。

### 3.1 設計方針

#### 3.1.1 視覚変数を活用した複数次元の可視化

PhotoCube<sup>[3]</sup>や一般的な3次元グラフ等に示されているように、3次元空間の各軸にメタ情報の1次元を割り当てることで、3次元のメタ情報を用いた画像群の可視化は可能である。しかし、この方法では、視点により画像同士が重なる場合があるため、一覧性に欠けるという課題がある。本研究においても、2次元ディスプレイの横と縦の軸（X と Y 軸）に加えてディスプレイの奥行き方向を3次元目として利用するが、同時に視覚変数を活用することで、画像同士の遮蔽による一覧性の問題を回避することを試みる。本研究では、Bertin が挙げた視覚変数<sup>[12]</sup>（図2）<sup>1</sup>の中から、Mackinlay らが示す<sup>[4]</sup>（図3）ように、人がより正確に知覚しやすい視覚変数から優先的に利用する。

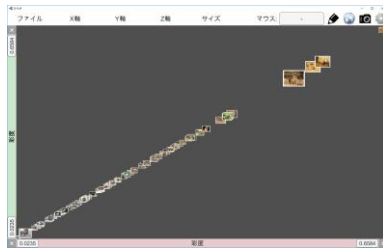
#### 3.1.2 柔軟な次元操作インターフェース

画像がもつ多次元の情報を全て可視化することは難しい。したがって多次元のメタ情報を持つ画像群の閲覧時には、多くの候補の中から所望する次元を簡単に取捨選択できるインターフェースが必要である。本研究では、

1: 図2は Carpendale<sup>[13]</sup>の論文より引用した。

Bertin's Original Visual Variables	
Position changes in the x, y location	
Size change in length, area or repetition	
Shape infinite number of shapes	
Value changes from light to dark	
Colour changes in hue at a given value	
Orientation changes in alignment	
Texture variation in 'grain'	

図2 Bertinの視覚変数表  
Fig.2 Bertin's visual variables.



(a) 完全に重なる状態

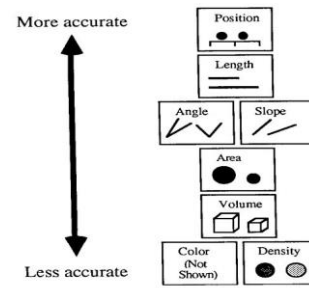


図3 視覚変数ごとの人間の知覚の正確さ  
Fig.3 Accuracy of visual variables.



(b) 重なりを回避した状態

図4 画像の可視性とメタ情報可視化のバランス調整  
Fig.4 Adjusting balance of visibility and visualization.

様々な応用可能性や一般的な慣習をもとに、次元を操作するインタフェースを実装する。この時、次元の取捨選択を繰り返すと画像群の表示の変化が大きいため、ユーザの理解を妨げる恐れがある。これについては、画像の変化を常にアニメーションを用いて表現することで、割り当てられた情報や画像配置の変化にユーザが追従できるようにする。

### 3.1.3 画像群とメタ情報の可視化のバランス調整

本研究は、元となる D-FLIP<sup>[1]</sup>の操作を様々に引き継ぐが、その一つに画像同士の重なりやサイズを制御できる機能がある。画像群とメタ情報を可視化する場合、これらは非常に重要な意味をもつ。例えば、同一のメタ情報を持つ複数の画像を2次元平面に配置した場合、それらの画像は全て同じ場所に配置されるため、図4(a)に示すように完全に重なってしまう。これを回避するために、D-FLIPのアルゴリズムを利用して画像同士が重ならないように可視化することはできるが、このとき図4(b)に示すように画像群の位置は正確にメタ情報を表現しない。このように、ある大きさを持つ画像をある座標にマッピングする場合には、画像自体の可視性とその配置場所(メタ情報可視化)の正確性はトレードオフの関係にある。どちらを優先すべきかは、ユーザの動機や閲覧している画像群の性質等に大きく依存するため、両者のバランスを調整するインタフェースを設ける。

## 3.2 実装

ゲームエンジン Unity, ver5.5, その他ライブラリとして Microsoft .Net Framework 2.0, プログラミング言語として C#を用いて本インタフェースを実装した。

### 3.2.1 ユーザインタフェース

初めに、実装したインタフェースのウィンドウ構成図

を図5に示す。図5青枠で示した領域はメニューバーであり、その中に配置された各ボタンを押すことで可視化するメタ情報の割り当てや、画像のサイズ等を調整することができる。画像群は図5黄枠で示した領域に表示される。本インタフェースでは4次元までの同時可視化が可能であり、現在可視化している次元に応じて、黄枠で示した画面の上下左右端の領域にバーが表示される。各バー上には現在割り当てられているメタ情報の名称とその最大・最小値が表示される。

### 3.2.2 画像群表示アルゴリズム

本インタフェースでは、画像群の表示アルゴリズムとして、D-FLIPと同様の創発アルゴリズムを利用した。これにより、「重なりが無い場合に大きくなる」や「重なりが有る場合に小さくなり、重なりを回避するように平行移動する」といった個々の画像間の局所的な関係を更新していくことでシステム全体の画像群の一覧性を保つ(画像同士が重ならずに表示される)ことができる。詳細については先行研究<sup>[1]</sup>を参照されたい。

### 3.2.3 インタラクション

前述のように、4次元以上の多次元のメタ情報を持つ画像は少なくない。これに対応するため、柔軟に軸を入れ替えることができる2つのインタラクションを用意した。ユーザは、メニューバー上に配置されたボタンを用いて可視化するメタ情報を取捨選択することができる。それに加えて、メタ情報が割り当てられた軸のバーから別のバーへのドラッグアンドドロップによって、メタ情報を割り当てる次元を柔軟に入れ替えることが可能である。

その他、ユーザが注目したい画像をダブルクリックするとその画像を中心にズームし、データ点間の距離を広



図5 ウィンドウ構成  
Fig.5 Window constitution.

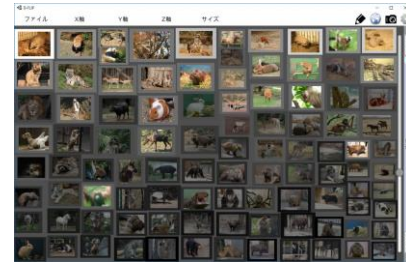
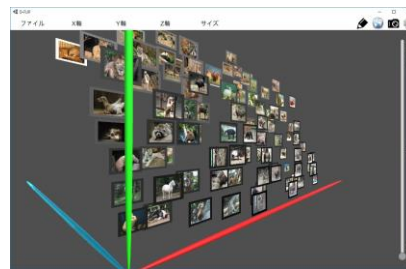


図6 明度へのメタ情報の割り当て  
Fig.6 Mapping metadata to brightness.



(a) 正射投影視点



(b) 透視投影視点

図7 視点の切り替え  
Fig.7 Exchanging viewport.

げることのできるインタラクションを実装した。

### 3.3 画像群の可視化の実装

#### 3.3.1 1, 2次元目の可視化—位置の利用

本インタフェースでは同時に4次元までのメタ情報の可視化が可能である。始めに1, 2次元目についてはそれぞれ画面横軸をX軸, 縦軸をY軸とし, 各軸に関する画像の位置(2次元平面上の座標値)でそのメタ情報を可視化した。それぞれ, 図5に示す赤矢印の向きをX軸正方向とし, 同図緑矢印の向きをY軸正方向とした。

#### 3.3.2 3次元目の可視化—位置・明度の利用

3次元目の可視化では, 視覚変数のうち位置と明度を利用した(図6)。まず, 画面奥行をZ軸として用い, Z軸上における画像の位置により可視化したいメタ情報を表現する。このとき, 画面の奥に向かう方向(Y軸からX軸へ右ねじを回す方向)を正とした。本インタフェースでは, 画像群を重なりなく閲覧するための正射投影視点(図7(a))と, Z軸上の画像位置も同時に閲覧することができる透視投影視点(図7(b))の2つをユーザは任意に切り替えることができる。

次に明度について, 画像同士の遮蔽の問題を回避するため, Z軸位置に割り当てたものと同じメタ情報を, 同時に画像枠線の明度にも割り当てた。枠線の明度が大きいほどその画像のメタ情報の値が大きいことを表す。加えて, Z軸バーに付属するスライダを用いて, Z軸に沿ってユーザの仮想的な視点を移動させることができる操作機能を実装した。ここで, ある画像のZ軸位置が, この仮想的な視点よりも後方にある(仮想的な視点のZ軸上の値よりも画像が持つメタ情報の値が小さい)場合, 図6に示すようにその画像の明度は下がって表示される。これより, ユーザはそのスライダを操作することによ

て簡単に当該メタ情報に関する画像間の関係を知ることができる。

#### 3.3.3 4次元目の可視化—サイズの利用

4次元目の可視化には, 視覚変数として画像のサイズを用いた。Mackinlayらによれば, サイズは明度よりも人間が知覚しやすい視覚変数である<sup>[14]</sup>。これを3次元目として用いなかったのは, 2.2節で述べたように, D-FLIPのアルゴリズムでは重なりを回避するために画像のサイズが時間的に変化するためである<sup>[1]</sup>。したがって4次元目の可視化としてサイズに情報を割り当てると, 各画像のサイズはそれぞれ時間的に一定となるため, 画像同士は重なりやすくなる。一方, メタ情報と視覚変数の相性や, 3.1.3項で述べたような画像の重なり可否についてはユーザの動機や画像群およびメタ情報の性質等に大きく依存するため, ユーザがインタラクションを用いて任意に可視化する軸を切り替えることができれば良い。

## 4. 応用例

### 4.1 画像コンテンツ群の鑑賞

本インタフェースの応用例として, 画像群の「鑑賞」と画像群の中から特定の画像を探す「探索」の2つについて述べる。

画像群の鑑賞とは, 美術鑑賞教育に代表されるような画像コンテンツ群の閲覧行為そのものを目的とするシナリオである。実際にD-FLIPを絵画鑑賞に応用する試みもある<sup>[15]</sup>。ここで一つの例として, 図8に示すような「デジタル動物図鑑<sup>2)</sup>」を実装した。動物につきそれぞれ解説を設ける従来の動物図鑑と異なり, 本インタフェースでは多くの動物の画像を一覧することができる。また,

2: 画像は動物写真のホームページ<sup>[16]</sup>のものを用いた。



図8 デジタル動物図鑑  
Fig.8 Digital visual dictionary of animals.

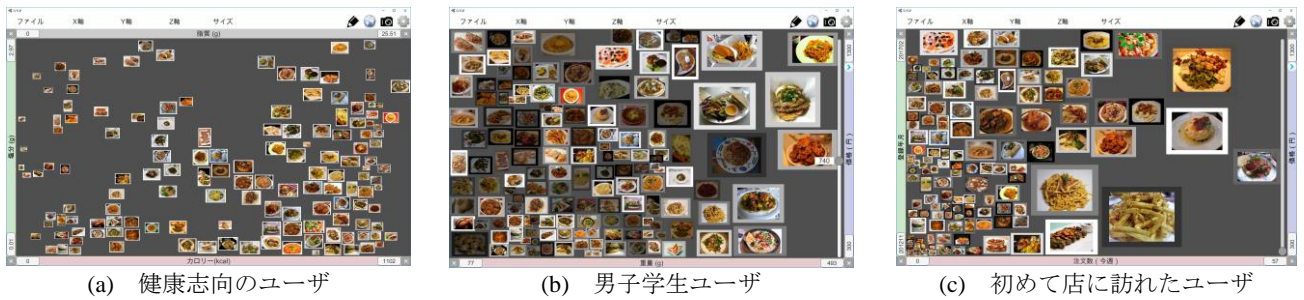


図9 デジタルメニュー  
Fig.9 Digital menu.

様々なメタ情報を用いて画像の鑑賞の質を向上させる。例えば、図8(a)ではX軸に「体長」を割り当て、動物の大小関係を可視化している。図8(b)はさらにY軸に「出産数」を割り当てたものである。このときの画像群の様子から、身体の小さい動物のほうがより多くの子を産む傾向等が見て取れる。さらに図8(c)はZ軸に「寿命」を割り当てたものである。Z軸のスライダを動かすことで各画像のZ軸位置を確かめることができ、同図で示す例では、寿命が13年以下の動物の画像が暗く表示されている。例えば、このような可視化では、画面右下に明度が高い動物画像が多いため、図8(b)で示した体長だけではなく、寿命が短い動物がより多くの子を産む傾向にあるということ等が見て取れる。

以上の例のように、ユーザは画像群の複数次元のメタ情報を柔軟に変更しながら、画像コンテンツ群に対する理解を深めたり、興味を見出したりできると考えられる。

#### 4.2 画像コンテンツ群の探索

コンテンツ群の探索とは、オンラインショッピングや観光プランの決定等の、多くの選択肢の中から目的に沿ったものを探索シナリオである。画像コンテンツ群の探索への本インタフェースの応用例として、図9に示すような飲食店における「デジタルメニュー<sup>3</sup>」を実装した。既にデジタルメニューを導入している店は少なくないが、単に印刷メニューのデジタル版であったり、Webインタフェースに類似したものが多かったりするため、大量のメニューを一覧した上で所望のモノを探すための工夫等はみられない。

本インタフェースでは、画像に埋め込まれているメタ情報を様々な利用できるが、ここでは例として、多くの

メニューが持つ定量的な情報をもとにした探索行動について考えてみる。健康志向の客の場合は、図9(a)に示すように食べもののカロリー(X軸)や塩分(Y軸)、脂質(サイズ)等のメタ情報を重要視することが考えられるが、男子学生客の場合は、図9(b)に示す通り、価格(Z軸)、重量(X軸)等がより注目されるかもしれない。またその店舗に初めて訪れた客の場合は、図9(c)のように月間の注文数(X軸)や価格(Z軸)、料理の登録年月(Y軸)等に注目するかもしれない。このように、ユーザは目的やその時置かれている状況に沿って様々な要求事項を持っていると考えられるため、複数の要求事項を同時に複数の次元に割り当てることができる本インタフェースは探索行動を支援できると考えられる。

### 5. 考察

#### 5.1 予備実験

予備的な評価実験として、大学生および大学院生の計5名に本インタフェースの応用例(デジタル動物図鑑・デジタルメニュー)を実際に使用してもらい、インタビューを行った。得られた意見・インタフェースの使い方の代表的なものを以下に記す。

5名全員から「軸の切り替えやアニメーションにより画像群を楽しく閲覧することができた」という意見をもらい、本インタフェースが画像群の閲覧の楽しさに寄与できたことが確認できた。一方で「4次元の可視化を同時に行った場合は、可視化された情報を理解するのに時間がかかる」といった意見もあったため、よりユーザに

3: 画像は Flickr<sup>[17]</sup>よりパブリックドメインのものを用いた。

理解しやすい可視化を目指す必要がある。

次に使い方として、メタ情報割り当て後、初めはデータの傾向を見るために画像同士の重なりを許し、その後重なりを回避するという使い方があった。これは全体を掴んでから詳細に入るという、画像を探索したり鑑賞したりする際の一般的なアプローチであり、本インタフェースにおいてもこれに十分対応することができた。

## 5.2 高次への拡張

本インタフェースの可視化をさら高次へ拡張することも可能と考えられる。本研究では視覚変数のうち形状や色は用いなかったが、それらを利用することや、アニメーションを活かし、画像の動きの激しさ（振動・回転）等を視覚変数として利用することも考えられる。一方で5.1節に示したように、高次への拡張を考えながらも画像の可視性やその関係性の理解しやすさには十分配慮する必要がある。そのため、利用頻度が高い次元の利用法をプリセットとして導入する等が考えられる。一度理解すれば解釈しなおす必要がないため、ユーザの理解を妨げないまま次元を上げることができると考えられる。

## 5.3 画像セット

本研究では画像群を用いた複数次元のメタ情報可視化に焦点を当て、用いる画像セットについては議論してこなかった。ここで、画像セットについて簡単に触れる。

現在、画像のメタ情報については統一の規格が存在しておらず、撮影日時やGPS情報が取得できるExifもjpg, tiffのみでpng等には付加されない。その一方でInstagram, Flickr等の写真共有サービスでは、タグ、すなわちメタ情報を写真につけた上での投稿が当たり前となっている。したがって、画像に複数次元のメタ情報が当然のように付加されているという場面は近い将来実現するだろうと考えられ、将来的にはそれらサービスと連携することで本インタフェースを様々な端末でどのような時でも利用することができると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、創発アルゴリズムを用いて画像群をインタラクティブに動的表示できるD-FLIP<sup>[2]</sup> (図1)をベースにし、画像群を複数次元のメタ情報を用いて柔軟に可視化できるインタフェースを開発した。本インタフェースでは画像の位置、明度、およびサイズの視覚変数を利用して4次元の情報を可視化することができ、また、ユーザは任意に複数次元メタ情報の中から注目したいメタ情報を取捨選択することができる。本論文では、本インタフェースを用いた画像群の鑑賞と探索の応用例を示した。今後は本インタフェースの有用性についての定量的な評価や、ヒストグラム等の利用価値の高い可視化手法の本インタフェースへの適用も検討したい。

## 7. 参考文献

- [1] Bederson Benjamin B: PhotoMesa: a zoomable image browser using quantum treemaps and bubblemaps; In Proc. Symposium on User Interface Software and Technology, pp.71-80 (2001).
- [2] 北村 喜文, 高本 恵介, 高嶋 和毅, 伊藤 雄一, 横山 ひとみ, Liu Gengdai, Subramanian Sriram: インタラクティブで柔軟なデジタル写真群動的表示法; インタラクシオン2013 論文集, pp. 40-47 (2013).
- [3] Hlynur Sigurþórsson, Grímur Tómasson, Björn Þór Jónsson & Laurent Amsaleg: PhotoCube: Towards Multi-Dimensional Image Browsing; Reykjavik University Technical Report Computer Science, RUTR-CS 12001 (2012).
- [4] 五味愛, 宮崎麗子, 伊藤貴之, リジア: CAT: 大量画像の一覧可視化と詳細制御のためのGUI; 画像電子学会誌, Vol. 37, No. 4, pp. 436-443 (2008).
- [5] Gerald Schaefer: A next generation browsing environment for large image repositories; In Proceedings of Multimedia Tools and Applications, Vol. 47, No. 1, pp. 105-120 (2010).
- [6] 五味愛, 伊藤貴之: 「何時, 何処で, 誰と」3つのメタ情報を用いた大量個人画像の一覧可視化手法; 情報処理学会グラフィクスとCAD 研究報告学生合宿表彰者セッション, CG-138-2 (2010).
- [7] Pierre Dragicevic, Anastasia Bezerianos, Waqas Javed, Niklas Elmqvist & Jean-Daniel Fekete: Temporal Distortion for Animated Transitions; In Proc. Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.2009-2018 (2011).
- [8] 高嶋 和毅, 佐藤 拓弥, 山口 徳郎, 立澤 茂, 野中 雅人, 北村 喜文: インタラクティブな画像群動的表示法の評価; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 17, No. 1, pp. 27-38 (2015).
- [9] Erick Gomez Nieto, Danilo Motta & Luis Gustavo Nonato: Semantically Aware Dynamic Layouts; In Proc. Patterns and Images, pp.220-226 (2014).
- [10] Han Xintong, Zhang Chongyang, Lin Weiyao, Xu Mingliang, Sheng Bin & Mei Tao: Tree-Based Visualization and Optimization for ImageCollection; IEEE Transactions on Cybernetics, Vol. 46, No. 6, pp. 1286-1300 (2016).
- [11] Chi Thanh Vi, Kazuki Takashima, Hitomi Yokoyama, Gengdai Liu, Yuichi Itoh, Sriram Subramanian & Yoshifumi Kitamura: D-FLIP: Dynamic & Flexible Interactive PhotoShow; In Proc. Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, pp. 415-427 (2013).
- [12] Jacques Bertin: Semiology of graphics: diagrams, networks, maps; University of Wisconsin Press (1983).
- [13] Carpendale, M. S. T.: Considering Visual Variables as a Basis for Information Visualisation; University of Calgary, Department of Computer Science, 2001-693-16 (2003).
- [14] Jock Mackinlay: ACM Transactions on Graphics, Vol. 5, No. 2, pp. 110-141 (1986).
- [15] Shoko Usui, Katsumi Sato & Yoshifumi Kitamura: A dynamic, flexible & interactive display method of paintings for communicative art appreciation among students; In Proc. SIGGRAPH Asia Symposium on Education, Article No. 3 (2015).
- [16] 動物写真のホームページ  
(<http://www.ax.sakura.ne.jp/~hy4477/>)
- [17] Flickr (<https://www.flickr.com/>)