

## 人物イラストのポーズ変更ツールの開発

鈴木啓晃<sup>†</sup> 岡良祐<sup>†</sup> 渡辺賢悟<sup>†</sup> 宮岡伸一郎<sup>††</sup>

<sup>†</sup>東京工科大学大学院 バイオ情報メディア研究科 メディアサイエンス専攻

<sup>††</sup>東京工科大学 メディア学部 メディア学科

## Pose Changing Tool for Portrait Illustration

Hiroaki SUZUKI<sup>†</sup>, Ryousuke OKA<sup>†</sup>, Kengo WATANABE<sup>†</sup>, Shinichiro MIYAOKA<sup>††</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Bionics, Computer Science and Media Science, Tokyo University of Technology

<sup>††</sup>School of Media Science, Tokyo University of Technology

fluorite-aks@hotmail.co.jp, aquaragangel@msn.com, kengo@mediatelier.net, miyaoka@media.teu.ac.jp

### 概要

近年、PC でイラストを描く人が増えている。描かれるのは人物イラストが多く、そのポーズでイラストの印象は大きく変わってくる。しかし、違うポーズの印象を見たいと思っても、ポーズを変更するには描き直しや、拡大縮小、変形処理をかけるなど、多くの工程や時間がかかってしまう。また、従来の変形処理は四角形の枠を用いた処理が多く、変形の自由度が低いいため、自然な形に変形することが困難である。そのため、作業を進めていると、イメージしたポーズや全体像が崩れてしまうことがある。この問題を解決するため、Harmonic Coordinates の技術を応用し、多角形による変形処理をすることができるツールを開発した。これにより、人物のような複雑な構造のものに対しても一度に変形処理を行うことができるため、ユーザーがイメージしたポーズに簡単に変更できるようになった。この結果、作業工程や時間が少なくなり、ポーズによる印象の違いを簡単に見ることができるため、よりイラストの表現の幅を広げられるようになった。

### Abstract

This paper presents an image transformation method for changing the pose of an illustrated human body. In these illustrations, changing one pose to another can convey different impression of human expression. This process is however time-consuming if it is manually redrawn. On the other hand, basic methods like affine transformation are limited for expressing various poses of the human body. To solve this problem, we propose the method using Harmonic Coordinates applied to a polygon framework. We developed a pose changing tool based on the above approach. With the tool we developed, changing the pose of illustrated human bodies can be done easily and effectively.

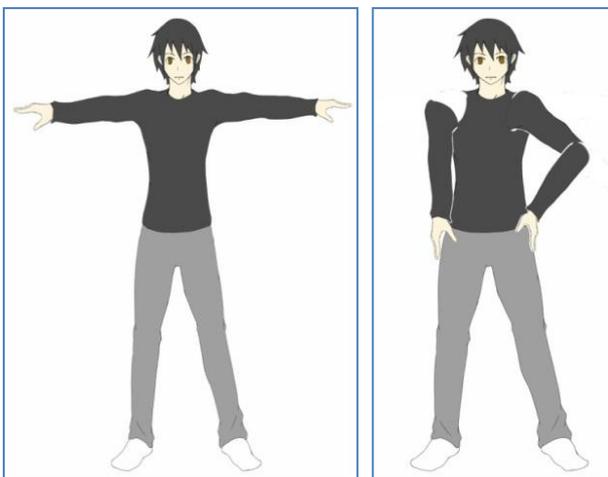
## 1. はじめに

近年、PCでイラストを描く人が増えている。特に人物のイラストを描く人が多い。しかし、人物の構造は複雑であり、イラストを描き始めた人などは、イメージ通りのポーズを描くことが困難である。また、人物はイラスト全体の印象を決めることが多いため、イラストを制作する途中で他のポーズに変えて印象を比較し、より自分のイメージに合ったポーズになるように描き進めることがある。しかし、それには描き直しのため、もともとあった線や特徴あるパーツを消さなければいけなかったり、同じものを再度描き込むなど面倒な作業が必要となる。

そこで、元の絵に対して、拡大縮小、変形、回転などの変形処理を行い、ポーズ変更をさせることがある。しかし、これらの変形を行うと、大きく曲げた部分や移動した部分の絵が切れてしまい不自然になる(図1(b))うえ、隙間の補完などで人の手による手直しが必要となる。また、多くの変形処理は四角形による変形であり、変形の形が決まっているため、思い通りのポーズにすることが難しい。

ポーズ変更に応用可能な自由変形の技術として、Photoshop CS5に搭載されているPuppet Warps<sup>[1]</sup>や、自然な変形を行うGreen Coordinates<sup>[2]</sup>などが挙げられる。しかし、Puppet Warpsでは変形したい部分をレイヤー分けしなければならず、Green Coordinatesは設定した多角形の枠を超えて変形処理が行われるため、自然な変形は行えるが、ユーザーが意図しない形になるという問題がある。また、ポーズ変更の技術は3Dモデルに対する変形処理は多いが、写真やイラストの中の人物に対してのポーズ変更の特化した技術やツール<sup>[1][3]</sup>は少ない。

これらの問題を解決するため、本研究ではHarmonic Coordinates<sup>[4]</sup>の技術を応用し、選択した人物の部位に対し、多角形による変形を行うことで、人物イラストのポーズ変更の特化したツールの開発を行う。これにより、人物のポーズ変更を簡単にすることで、ユーザーがイメージしたポーズの制作を容易にし、作業の負担軽減を図る。



(a)元画像 (b)変形後  
図1. 単純な変形処理でのポーズ変更

## 2. 関連研究

写真や3Dモデルの人物のポーズや表情に対する変形処理については、数多くの研究が行われている。しかし、それらの変形処理がツールとして実装されているものは少なく、写真の人物に対してポーズ変更を行うことを目的としたツールは一つしか見当たらなかった。

ツールとなっているものとしては、Photoshop CS5のPuppet Warpsという機能が挙げられる。これは、レイヤー分けした物体に対し制御点を置き、その制御点を移動させることで物体に変形処理をかける機能である。写真の人物に対しても変形を行うことができるが、その場合人物は四肢が重ならないようにしなければならない。もし重なっている場合は、腕ならば腕のみをレイヤー分けしなければならぬなどの処理が必要となる。また、この機能の変形処理は曲線的な変形をするため、象の鼻の曲げ伸ばしや、紐の曲げ伸ばしのような曲線的な物体には自然な変形処理を行うことができるが、人間のように関節で曲がる場合には不自然な変形がかかってしまうことがある。

画像に対して変形処理を行う研究としては、Mean Value Coordinates<sup>[5]</sup>やGreen Coordinatesなどが挙げられる。これらの変形処理は主に多角形ベースの処理で、設定した多角形を変形させることで、多角形内の画像を変形させるという変形処理である。Mean Value Coordinatesは設定した頂点情報をもとに、各頂点を動かすことで変形処理を行うことが可能である。しかし、変形させたい部分以外が大きく歪んでしまう場合があり、ユーザーの意図しない形になることが多い。Green Coordinatesは、設定した頂点と辺の情報をもとに、大きく物体が動いても自然な変形をかけることができる。しかし、変形の際に設定した多角形をはみ出して変形がかかることがあるため、ユーザーの意図しない形になることが考えられる。

その他にも制御点ベースの変形処理であるPrincipal Warps<sup>[6]</sup>や、Moving Least Squares<sup>[7]</sup>などの変形処理がある。これらの処理は変形部位の内外に制御点を置くことで、それをもとに変形を行うものである。この技術は特に人物の表情を変更するための変形や、部位を伸縮する処理に関しては自然な変形を行うことが可能である。しかし、ポーズ変更のように部位を大きく曲げるなどの処理では歪みが発生することがある。そのため、ポーズ変更には向いていない変形処理と思われる。また、スケルトンベース等の変形処理<sup>[8][9]</sup>も多く使われているが、拡大縮小処理が難しく、ポーズ変更の場合の部位の細かい調節には向いていないと思われる。

そこで本研究ではHarmonic Coordinatesに注目した。Harmonic Coordinatesは主に3Dモデルに対する変形処理を行う技術であるが、画像に対しても応用することが可能である。その変形処理は設定した多角形の各頂点を動かすことで変形をかけるものである。また多角形をはみ出すことなく変形処理を行うことが可能であるため、ユーザーの意図した形になりやすく、いままで四角形などで変形処理を行っていたユーザーに対しても馴染みやすい変形処理であると考え本研究に応用することにした。

### 3. ポーズ変更処理の流れ

本研究では、人物イラストの動かす部位を選択し、その部位に対し変形処理を行うことで、ポーズ変更を行う。

まずユーザーがポーズ変更のために変形させる部位の範囲選択を行う。範囲選択には、ペンツールによる範囲選択、選択消去を行えるようにしている。ペンツールはほとんどのイラスト制作ツールに入っているため、慣れた操作で直感的に範囲選択が可能である。

次に人物の関節となる点をユーザーが指定し、その点と選択範囲をもとに変形をかけるために必要な多角形の設定を自動で行う。多角形を設定した後、Harmonic Coordinates を用いた変形処理が可能となり、ユーザーが指定した関節の点や設定した多角形の各頂点を動かすことでポーズ変更が可能となる。これらの処理の流れを図2に示す。

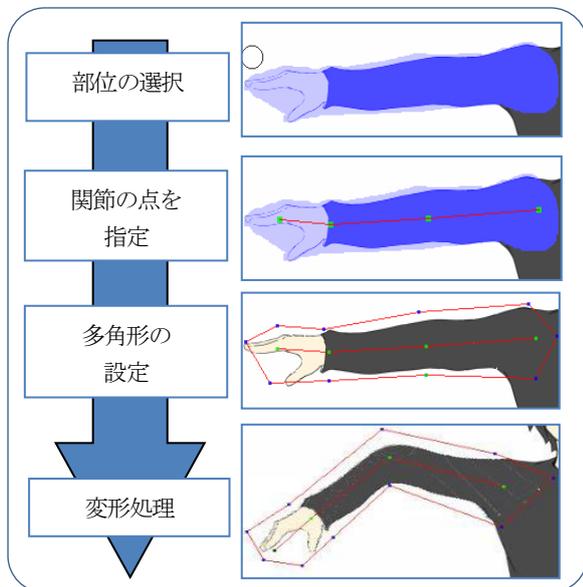


図2. 処理の流れ

## 4. Harmonic Coordinates

### 4.1. Harmonic Coordinates の重み計算

Harmonic Coordinates による変形処理とは、設定した多角形の各頂点から、多角形の内部のピクセルに対する重みを計算し、その重みを用いて変形処理を行うものである。この変形処理は、アフィン変換や射影変換のように三角形や四角形など、形を制限されることがないため、自由度の高い変形処理を行うことが可能である。そのため、人物の複雑な形に対する変形処理にも対応することができる。

以下では、Harmonic Coordinates の定式化および、それに必要な重みの計算について述べる。まず、変形や重み計算に必要な多角形Cの設定をする(図3(a))。設定した多角形C内のすべてのピクセルpに対し各頂点C<sub>i</sub>の重みg<sub>i</sub>(p)を計算する。これにより、多角形Cの内部のピクセルpを式(1)のように表すことができる。これが Harmonic Coordinates による表現である。

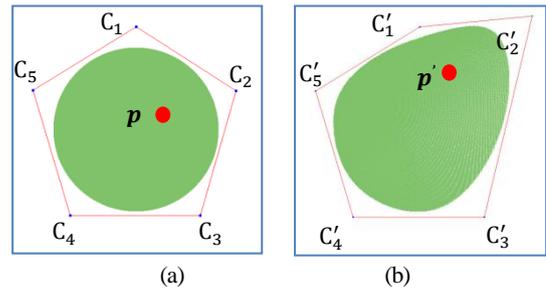


図3. Harmonic Coordinates で用いる多角形

$$p = \sum_i g_i(p)C_i \quad (1)$$

重みg<sub>i</sub>(p)は多角形を変形した後も変化しないため、この重みを用いて次式(2)により、変形後のピクセルの位置を求めることが可能となる(図3(b))。

$$p' = \sum_i g_i(p)C'_i \quad (2)$$

各頂点C<sub>i</sub>に対する重みg<sub>i</sub>(p)は、多角形C内にあるピクセルpに対し、以下のラプラス方程式を解くことで求めることができる。

$$\nabla^2 g_i(p) = 0 \quad (3)$$

また、ラプラス方程式を解くための、境界条件は以下のように設定する。まず、注目する頂点の値を1、隣接する頂点の値を0とし、頂点同士をつなぐ線上の値は線形補間をして求める。また、その他の頂点の値は0とし、各頂点をつなぐ線上の値も0に設定する(図4(a))。設定した境界条件をもとに、式(3)を解くことで、注目した頂点からの重みを算出することができる。図4(b)が頂点Aに対し、ラプラス方程式を解いた際の重みを可視化したものである。

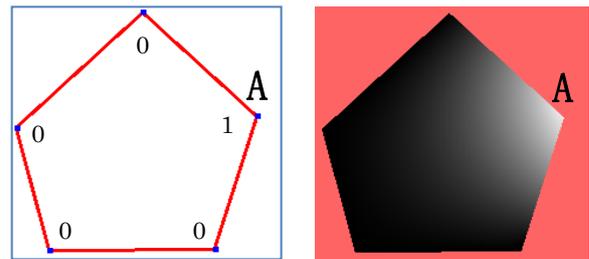
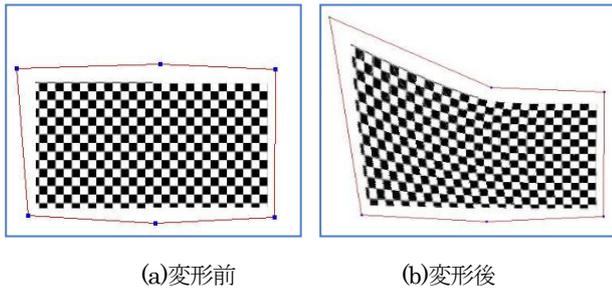


図4. 境界条件と重みの計算結果

### 4.2. Harmonic Coordinates による変形

Harmonic Coordinates を用いた変形処理は、設定した各頂点を動かすことにより行う。

Harmonic Coordinatesの重みはグラデーションのようになっているため、図5(b)に示すように、変形した多角形の頂点に近く強い重みを持つピクセルは大きく移動し、頂点から遠くほとんど重みがないピクセルには影響が少ない変形処理が行われる。そのため、人物イラストのように動く部分動かない部分が出てくものに対し、適切な変形処理を行うことが可能となる。



(a)変形前 (b)変形後  
図 5. Harmonic Coordinates による変形

## 5. ボーンと多角形の設定

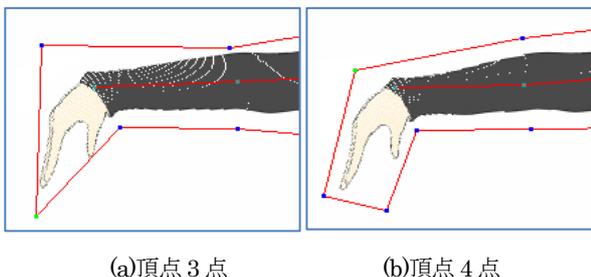
以下では、説明のため、設定した関節の点をつなげた骨に相当する部分を「ボーン」と呼ぶ。また、ボーンの本両端の点を端点、それ以外の点を接続点と呼ぶことにする。

### 5.1. 多角形の自動生成

Harmonic Coordinate を用いた変形処理を行うには多角形の設定が必要となる。しかし、ユーザーが多角形を設定する際、変形したい部位の範囲選択をした後にもう一度多角形で選択範囲を囲むのは二度手間となるうえ、最適な多角形を設定することが困難である。また、人物のポーズを変更するのに、多角形の各頂点一点一点を動かして変形処理を行うことは、人物など複雑な構造をしている対象に対しては、面倒な作業となる。そこで、ユーザーが範囲選択と人物の骨となるボーン設定を行うことで、多角形の自動生成を行い、変形に適した多角形の設定を可能とした。またボーンを動かすことで、多角形に変形がわかり、より人間を動かしているように、直感的で簡単なポーズ変更が可能となる。

#### 5.1.1. ボーンの本端点からの頂点の設定

ボーンの本端点から設定される多角形の頂点は 3 点とする。3 点とする理由は以下の通りである。図 6(a),(b)は、図 1 (a)の人物の腕から指先にかけて、(a)は多角形の頂点 3 点、(b)は 4 点を設定し、向きを変える変形処理を行った様子である。どちらの設定であっても変形の結果に大きな差は見られないことがわかる。そのため、指先の 1 点で向きの変更を行うことができ、頂点からの重みを算出する計算処理が少なくなる、3 点の設定としている。



(a)頂点 3 点 (b)頂点 4 点  
図 6. 手先の変形

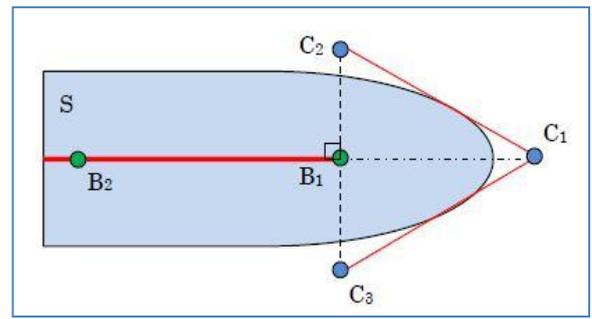


図 7. 端点に対する多角形頂点の設定

以下では、ボーンの本端点からの多角形の頂点の設定について、図 7 をもとに説明する。図 7 において、指定したボーンの本各点を  $B_1, B_2$ 、選択領域を  $S$ 、生成された多角形の頂点を  $C_1, C_2, C_3$  とする。

まず、先端部分となる頂点  $C_1$  の設定をする。 $C_1$  はボーン  $B_1, B_2$  の延長線上に位置し、選択領域  $S$  の 10 ピクセル外側に位置するように設定をする。この 10 ピクセルという値は、実験により最適であると判断した距離である。次に頂点  $C_2, C_3$  の設定をする。 $C_2, C_3$  は  $B_1$  から、ボーン  $B_1, B_2$  に対し垂直方向に位置し、 $C_1$  と同じように選択領域  $S$  の 10 ピクセル外側になるように設定する。

以上の設定をボーンの本端点に対して行うことで、端点に対する多角形の頂点の位置を決めることができ、その頂点をつなぐことで、多角形の一部を生成することができる(図 7 参照)。

#### 5.1.2. ボーンの本接続点からの頂点の設定

次に接続点からの多角形の頂点の設定について図 8 をもとに説明する。

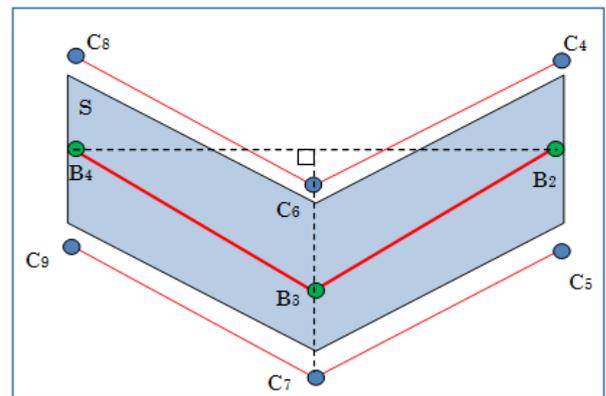


図 8. 接続点に対する多角形頂点の設定

図 8 において、指定したボーンの本各接続点を  $B_2, B_3, B_4$ 、選択領域を  $S$ 、生成された多角形の頂点を  $C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9$  とする。本項ではボーンの本接続点  $B_3$  に対する多角形の頂点  $C_6, C_7$  の設定について述べる。

ボーンの本接続点における多角形の頂点の設定は、端点からの設定方法と異なる。5.1.1 の設定方法では、ボーンの本端点と隣接する接続点を結ぶ線の垂直線上に設定した。しかし接続点で

は、図 8 の  $B_3$  のように、その両側に傾きの異なる二つの線分が存在する。そのため端点と同じように求めることができない。そこで、接続点の場合、注目する点に隣接する 2 点から多角形の頂点を設定する。図 8 で注目する点を  $B_3$  とすると、隣接する接続点は  $B_2, B_4$  となる。この  $B_2, B_4$  を結んだ線に対し  $B_3$  から垂直方向に位置する所に多角形の頂点  $C_6, C_7$  の設定をする。このとき、端点の場合と同じように選択範囲  $S$  の 10 ピクセル外側に位置するように点を設定する。

以上の処理によりボーンの設定をすることで、変形に適した多角形を自動的に生成することが可能となる。

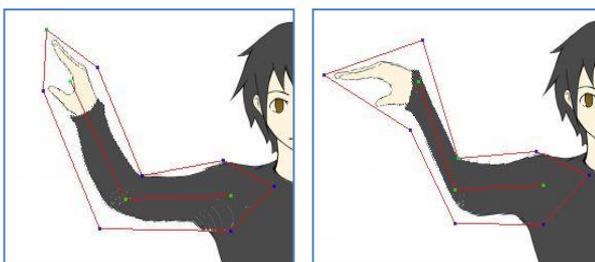
## 5.2. ボーンによる変形処理

5.1 で述べたように、ボーンを設定し、それを動かすことで変形処理を簡単にし、ポーズ変更をやすくしている。ボーンによる変形処理の手法は自然変形と平行移動変形の 2 つである。

ボーンを動かした際に、移動する多角形の頂点は、ボーンの各点から自動生成した各頂点である。つまり図 7 の  $B_1$  を動かした場合は  $C_1, C_2, C_3$ 、図 8 の  $B_3$  を動かした場合は  $C_6, C_7$  の頂点が移動し、多角形に変形がかかる。これを踏まえ、以下でそれぞれの変形手法について説明する。以下の実験はそれぞれ図 1(a)の腕に変形処理をかけたものである。

まず自然変形について説明する。自然変形は変形したい部位を、人間の動きに似せて変形させる変形手法である。これは、ボーンを動かした際に移動した多角形の頂点を、5.1 の生成手法と同じ手法で設定している。これにより、図 9(a)のように、手先の部分に設定されているボーンの端点を移動させるだけで、腕の形や指先の向きが人間の骨や関節に即した変形処理をかけることができる。そのため、ユーザーは人を動かすように、より直感的にポーズ変更をすることが可能となる。

次に平行移動変形について説明する。本研究では対象をイラストとしているため、自然変形だけでは勝手に変形がかかり、ユーザーの意図しない変形処理が行われることがある。そこで、平行移動変形では、図 9(b)の手先のように、ボーンを動かしても手先の角度が変わらないなど、勝手に変形処理が行われず、指先の向きや手の形などを保持したままの変形処理を行うことを可能とする。なお、図 9(b)では腕が細くなるなど不自然な変形が起こっているが、これは処理途中であり、肘の部分の多角形の頂点を動かすことで不自然さは解消されるため問題はない。



(a) 自然変形 (b) 平行移動変形

図 9. 変形手法

## 6. 実験と評価

### 6.1. ポーズ変更の実験と評価

#### 6.1.1. ポーズ変更の結果

本研究で述べた処理をツールに実装し、実験を行った。図 10 は、4 枚の画像に対し本研究のポーズ変更処理を行った結果である。なお変形の際、変形した部位がそれ以外の部位の前面に来るように配置するものとする。

図 10(a),(c),(e),(g)のそれぞれに対し、本手法による変形処理を行った。腕や足などを、図 10(b)のように大きく曲げたり、図 10(d)のように伸ばしたりしても、不自然な切れ目や繋ぎ目の少ない変形をかけることができる。また、図 10(e)のように、体や足が腕に重なっていても変形したい部位と体を離してポーズ変更することも可能である。この場合、図 10(f)の服や足の部分のように、変形させた部位があった場所に欠損が生じてしまう。現状ではこのツールだけで欠損を補完することは不可能である。しかし、欠損の補完のための手直しは、変形させたい部位を描き直すよりも作業が少なくなる。そのため、たとえ欠損領域が現れても、ポーズ変更としては十分に有効であると言える。このように、本研究の変形処理を行うことで、元の絵を消して描き直す、切れ目の補完の手直しをするといった作業の負担を減らすことができる。

また、最初にボーンを設定し、人間の動きに近い変形処理を行うことができるため、直感的なポーズ変更をすることが可能である。これにより、ポーズによる印象の違いを確かめたい人や、イラストを描き始めの人の構造がまだ難しいという人でも、動かしながらポーズ変更をすることができるため、イメージしたポーズや、イラストに合ったポーズを取らせやすくなる。

しかし、図 10(g)の腕を突き出しているような奥行きがある場合、変形に十分な腕の情報や長さが無く、大きなポーズ変更は困難である。大きく動かそうとすると図 10(h)に示すように手が歪んでしまうなど、不自然な変形がかかってしまうことが多い。そのため、奥行きがある場合のポーズ変更には向いていない。

#### 6.1.2. 既存技術との比較

既存技術との比較として、ツールによるポーズ変更機能である PhotoshopCS5 の変形機能である Puppet Warps<sup>[1]</sup>と、既存研究の変形処理の中の制御点ベースの変形処理である Moving Least Squares (以下 MLS)との比較を行う。比較する画像は図 10(c),(e)の 2 枚で、それぞれに対し変形処理を行った結果が図 11 である。

まず、図 10(c)に対し、手首、肘、肩に制御点を置き、曲がった腕を伸ばす変形処理を行った結果が図 11(a),(c),(e)である。なお本手法の場合、制御点はボーンの端点と接続点である。Puppet Warps で曲がったものを伸ばす変形処理を行うと、曲がっていた部分を伸ばし切ることが難しく、肘に見られるよう

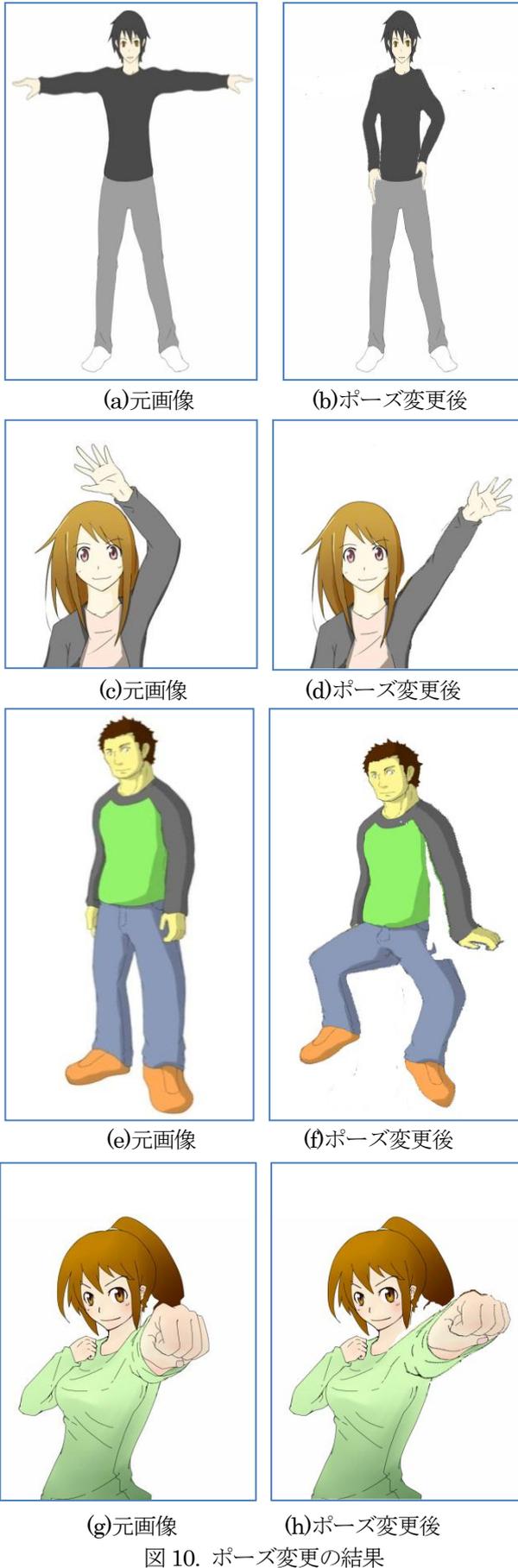


図 10. ポーズ変更の結果

に尖りが残ってしまう。また、MLS も同様に肘に尖った部分が残るうえ、腕がまっすぐにならず歪んでしまう。本研究では、歪みの発生しない自然に伸ばしたような変形処理を行うことが可能である。

次に、図 10(e)に対し、指先、手首、肘、肩に制御点を置き、伸ばした腕を曲げる変形処理を行った結果が図 11(b),(d),(f)である。Puppet Warps による変形の場合、腕を曲げる処理などを行うと、肘や腕など、丸みを帯びた変形がかかり、人物に対しては不自然な変形処理となる。MLS では、Puppet Warps よりも人物の構造に沿った変形ができていて、図 11(f)の例では肘の内側周辺に歪みが発生してしまい不自然になっている。本研究では、曲げる部分に対して大きく変形しても、他の部分への影響が少なく、歪みの発生を抑え、なおかつ肘など変形で曲がる部分以外は直線を保つことが可能なため、より人の動きに近い変形をかけることが可能である。

また、MLS は部位の大きさを変形することが困難であったり、Puppet Warps は変形のためにその部位をレイヤー分けしなければならないなど、部位の変形やポーズ変更には不向きな点が多かった。これらのことから、ポーズ変更のための変形処理としては本研究のほうが有効な手法であると判断した。



図 11 本研究と Puppet Warps, MLS との比較

## 6.2. 作業効率の評価

ここでは本研究とイラスト制作の効率が高いペイントツールSAI<sup>®</sup>による変形処理について、作業工程や作業時間から作業効率の比較評価をする。図 12(a),(b)が図 10(a)の画像に対しそれぞれ変形処理を行ったものである。純粋に変形処理を比較するため、変形後に補完のための手直しは行っていない。

まず作業工程についてだが、本研究の作業工程は図 2 で示した通りである。対してペイントツールの工程は、動かす部位の範囲選択、選択した部分の回転、変形である。変形処理のための作業は、範囲選択、変形と、どちらもほとんど変わらないが、ペイントツールでは、関節ごとに範囲選択、変形をしなければならない。そのため、腕を曲げるにも、肩、ひじ、手首に対しそれぞれ処理を行わなくてはならない。これは動かす部位が多くなるほど作業の量は多くなるため、本研究のほうが少ない作業で変形処理を行うことが可能である。

また、図 12(d)の肘の部分ように、ペイントツールによる変形処理では、ひじの部分など変形した部位に亀裂が入っていたり、わきの下に腕の線が入ってしまうため、補間や修正などの手直しが必要となる。本研究による変形処理では、肩などにノイズが発生する場合があるが(図 12(c))、余計な亀裂などが少ないため、手直しは少なくて済む。手直しの作業は、変形する部位の形や模様が複雑になるほど作業が困難になるため、亀裂などが少ない本研究のほうが手直しをする作業工程も少なくなると考えられる。



図 12. 変形処理の比較

次に作業時間について評価する。作業時間はどちらの変形処理も同じ 7 分間だった。しかし作業工程の評価でも述べたように、ペイントツールによる変形は、本研究よりも手直しをする作業が多く必要となる。そのため、手直しをする時間を含めた作業時間は、ペイントツールのほうが多くかかると考えられる。

これらのことから、ポーズ変更のための作業効率は、本研究のほうが効率的であるといえる。一方で、本研究では、自動選択機能がないなど、ペイントツールよりも範囲選択の機能が劣っていた。そのため、特に指先などの細かい部分に対し、背景を変形部位に含めないように範囲選択を行う作業が困難である。また、頂点が 10 点の多角形でラプラス方程式を解く時間は  $300 \times 100$  ピクセルで 2 秒、 $300 \times 200$  ピクセルで 5 秒ほどかかる。

なお使用 PC は、CPU が Intel Core i7 870, 293GHz、メモリは 4.00GB である。プログラム言語は C++ を使用した。変形部位が大きい場合や、多角形の頂点が増加することで、より計算時間が長くなる。部位ごとにボーンや多角形の設定を行わないといけないため、より計算を高速化することや、範囲選択、多角形の設定の簡略化をすることでユーザーの作業効率を上げ、負担を減らすことができると考えている。

## 7. おわりに

本研究では、Harmonic Coordinate の技術を応用し、ポーズ変更ツールの開発を行った。

一般的なイラスト作成ツールで使用される、射影変換やアフィン変換による変形処理とは異なり、多角形による変形処理を行うことで、人物の複雑な形に対応できる変形をかけることが可能となった。また、人物の動きと同じような変形処理を行ったり、動かしながらポーズを決定することができるため、容易にイメージしたポーズに変更することが可能となり、より表現の幅を広げられるようになった。

しかし、本研究のツールでは、変形後に変形した部位があった部分に欠損が生じてしまったり、Harmonic Coordinates による変形が順変換のため、変形後の部位のピクセルの色が抜けてしまい、それに対する補完が不十分で違和感が残るなどの問題点がある。

今後は実用性を高めるため、変形のクオリティを上げるとともに、欠損の補完機能について研究していく予定である。

## 参考文献

- [1]. Adobe : Photoshop CS5 Puppet Warps, <<http://www.adobe.com/>> (2010)
- [2]. Yaron Lipman, David Levin, Daniel Cohen-Or: Green Coordinates, ACM Trans. Graph. SIGGRAPH'08, 27, 3(2008)
- [3]. 鈴木啓晃, 岡良祐, 渡辺賢悟, 宮岡伸一郎: 人物イラストのポーズ変更ツールの開発, NICOGRAPH 論文コンテスト(2011)
- [4]. Pushkar Joshi, Tony De Rose, Mark Meyer : Harmonic Coordinates for Character Articulation, SIGGRAPH'07 pp.71:1-71:10 (2007)

- [5] Tao Ju, Scott Schaefer, Joe Warren: Mean Value Coordinates for Closed Triangular Meshes. ACM Trans. Graph. 24, 3, 561-566 (2005)
- [6]. Bookstein Fred.L : Principal Warps : Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations ,IEEE Trans Pattern Anal. Mach. Intell. 11, 6, 567-585 (1989)
- [7]. Scott Schaefer, Travis McPhail, Joe Warren : Image Deformation with Moving Least Squares, SIGGRAPH '06, pp.533-540 (2006)
- [8]. Igarashi Takeo, Moscovich Tomer, Hughes John.F : As-rigid-as-possible shape manipulation. ACM Trans. Graph. 24, 3, 1134-1141 (2005)
- [9]. Alec Jacobson, Ilya Baran, Jovan Popovic, Olga Sorkine : Bounded Biharmonic Weight for Real-Time Deformation, SIGGRAPH '11, pp.78:1-78:8 (2011)
- [10]. SYSTEMAX : ペイントツール SAI  
<<http://www.systemax.jp/ja/sai/>> (2008)

#### 鈴木 啓晃



東京工科大学メディア学部メディア学科卒, 同大学院バイオ情報メディア研究科メディアサイエンス専攻博士前期課程在籍.

#### 岡 良祐



東京工科大学メディア学部メディア学科卒, 同大学院バイオ・情報メディア研究科博士前期課程修了. 同年株式会社アルス・ウェアに入社, 現在に至る. EC系サービス開発に従事.

#### 渡邊 賢悟



東京工科大学メディア学部メディア学科卒, 同大学院バイオ情報メディア研究科メディアサイエンス専攻博士後期課程在籍. 東京工科大学片柳研究所メディアテクノロジーセンター嘱託研究員を経て, 個人事業によるアプリケーションコンテンツ開発に従事, 現職.

#### 宮岡 伸一郎



東京工科大学メディア学部教授. 工学博士. 京都大学工学部数理工学科卒業, 同大学院工学研究科修士課程修了の後, 日立製作所に勤務. 同社システム開発研究所主任研究員, 独立システムコンサルタントを経て現職. イメージメディア技術関連の教育・研究に従事.