

# 料理画像をアニメーションすることによる魅力的な料理動画生成システム

崎山 翔平    岡部 誠    尾内 理紀夫    平野 廣美\*

**概要.** 本研究は、1枚の料理画像をアニメーションすることで、より魅力的な料理動画を作成するためのシステムを提案する。泡や湯気、飛沫、具材の揺れなど、料理をより魅力的に見せる要素は多々ある。これらの要素は動きの中に多く現れるため静止画よりも動画の方が表現しやすいが、そうした要素をうまく捉えた動画を撮影することは専門家でも困難である。例えば湯気や泡を発生させるには、実際に火を点火するという方法が挙げられるが、こうした撮影を行うと料理の状態が撮影中に変化してしまうため、撮影のタイミングは極めてシビアであり、状態が変わってしまった料理は二度と撮影に用いることができない。そこで我々は、点火などといった料理の状態を変化させてしまう行為を行わず、料理を見栄えよくセッティングしただけの状態に撮影された静止画に、あとから湯気や泡などの動画を合成することでこれを解決する。こうした動画の合成を行うことのできる既存のソフトウェアは存在するが、非常にパラメータが多く、そのソフトウェアに対する専門的な知識が必要となすに、数秒の動画の作成にも膨大な作業時間が必要となる。そこで本提案では泡や具材の揺れのパラメータ設定を行うためのアルゴリズムを独自に考案することで、ユーザのわずかな入力を基に、短時間で魅力的な料理動画の作成を可能とするシステムを実現した。

## 1 はじめに

現在、料理店のWEBメニューや電子メニュー、ショッピングサイトの商品イメージには静止画が多く使用されているが、これらの料理静止画を動画に置き換えると、美味しさの表現の幅がさらに広がり、コンテンツ全体をよりリッチにすることができる。料理は「活き」がうまく表現されるとより魅力的に見えると言われており、新鮮な野菜を滴る滴、グツグツと食材を揺らす泡、パチパチと鉄板から弾ける飛沫など、料理の活きを表す要素は数多く存在するが、これらの多くは動きの中に現れるため、静止画よりも動画の方がより豊かな表現が可能である。しかし、料理の活きを思い通りに表現して動画を撮影することは大変難しい。

ここで、料理撮影の専門家が、撮影が困難であるとする「鍋料理」を例に説明する。鍋料理をより魅力的に撮影しようとした場合、鍋に火をかけてグツグツと煮立っている状態を撮影することが最も一般的であるが、実際に鍋に点火してしまうと、肉には火が通りきってしまい黒く変色し、白菜などの菜っ葉は萎れ元の形状が維持できず、多くの具材はやがてスープに沈んでいってしまう(図1-a)。状態が変化してしまった具材は二度と撮影には使用できないため、撮影タイミングは極めてシビアであり、専門家ですら魅力的な動画を撮影することは困難である。

一方で、図1-bのような静止画の撮影は可能である。この静止画は鍋に冷たい水を張り、具材を綺麗

に敷き詰めて、火をつけずに撮影したものである。火をつけていないため、肉には火が通りきることなく明るい色を保っており、春菊などの菜っ葉は萎れず新鮮さを保ち、全ての具材はスープに沈むことなく綺麗に並んでいる。撮影中に具材の状態が変化することがないため、ゆっくりと時間をかけて構図を決めて撮影できるうえ、何度も撮り直しが可能である。しかし、図1-bには泡や湯気、具材の揺れなどといった要素が全く存在していないため、料理の活きを感じられない。



図 1. (a) 実際に鍋に火を点火して撮影された動画の一部。(b) 点火せず冷水に具材を並べただけの状態に撮影された静止画。

ここで、図1-aのように具材の新鮮さを欠いてしまうことなく、図1-bに、図1-aにあったような泡や湯気などといった要素を加えることができれば、魅力的な料理動画の作成が可能である。

そこで我々は図1-bのように見栄えよく撮影された1枚の静止画に、あとから泡や湯気、具材の揺れなどを合成することで、より魅力的な料理動画を作成する手法を提案する。こうした動画作成はAdobe After Effects[1]などの既存ソフトウェアでも可能であるが、ソフトウェアに対する専門的な知識を必

Copyright is held by the author(s).

\* Shohei Sakiyama, 電気通信大学, Makoto Okabe, 電気通信大学/JST CREST, Rikio Onai, 電気通信大学, Hiromi Hirano, 楽天株式会社/電気通信大学

要とするうえに、わずか数秒間の動画を作成するために数時間の作業時間を要するという問題がある。そこで本提案では、魅力的な動画作成において特に表現が困難とされる「泡」や「具材の揺れ」を中心に、静止画1枚とユーザの少ない入力を基に、短時間で魅力的な料理動画を生成するシステムを開発した。また、実際にシステムを使用して料理動画を作成し、自然で魅力的な動画が作成できることを確認した。

## 2 関連研究

静止画をアニメーションする既存研究は数多く存在する [6, 5]。これらは画像の中に入っていきような3次元的な視点の変更やキャラクタアニメーションに便利であるが、料理動画の作成には対応していない。Chuangらは静止画に確率的な動きを与え、水面の揺らぎ等を扱った [4]。水面の揺らぎは泡の表現に似ているが、我々が行う泡の配置では、泡領域同士の関係やユーザが入力した情報によってそれぞれの領域にパラメータの異なった泡を配置するため、この手法を使用することはできない。岡部らは静止画に流体の流れる向きをスケッチすることで流体アニメーションの生成を行った [10]。この手法は、流体動画の配置がユーザのスケッチ技術に依存してしまうため、今回扱うような料理静止画を入力したところで質の高いアニメーションを得られるという保証がない。

また、ビデオテクスチャ合成の研究も多く存在する [13, 12] が、これらで合成した動画の見た目や動きを編集するのは難しい。Bhatらは手書きスケッチに基づいて流体ビデオを編集した [3]。見た目の編集も可能だが画像アニメーションは扱っていない。

さらに、本研究では具材画像をその種類に応じて自動で歪ませることで、具材の揺れを表現する。画像を変形させる研究は以前から多く行われており [2]、五十嵐らはこれをインタラクティブに操作することを実現した [7]。その後もこの手法の拡張などが多く行われている [11, 8]。しかし、本研究のように料理画像に特化し、具材の種類に応じて自動で画像を歪ませ、具材の揺れを表現するといった手法は存在しない。

そこで本研究ではユーザの少ない入力を基に、具材の揺らしアニメーションの生成、各泡領域に対する泡の配置及びパラメータ設定等を行うためのアルゴリズムを独自に考案することで、短時間で料理動画を作成することができるシステムを目指す。

## 3 システム概要

本手法における動画作成の典型的な流れについて述べる。ユーザはまずマウスを使用して入力静止画(図2-a)に簡単なスケッチを行い、泡を配置する領

域(泡領域)と食材領域の指定を行う(図2-b)。同じスケッチの方法を用いて、図2-bで指定した食材領域を、具材ごとに分割する(図2-c)。次にユーザは図2-cで分割した具材それぞれについて、「変形パターン」と「形状」というもの指定する(図2-d)。変形パターンには「変形、非変形」の2つの選択肢が存在し、その具材が春菊のように柔らかく形が変わりやすいのであれば「変形」、大根のように固く形が変わりにくいのであれば「非変形」を選択する。形状には「平面、球形、棒状、葉類、麺類」という5つの選択肢が存在し、その具材に対してユーザが最も適切であると思うものを1つ選択する。あとは”合成”ボタンを押すだけで、ユーザが指定した領域や具材の情報を基に、システムが自動で泡の位置やサイズ、速さ、具材の揺らし具合などを決定し、動画を合成する(図2-e)。このとき、動画に付与する湯気や音の指定も行うことができる。

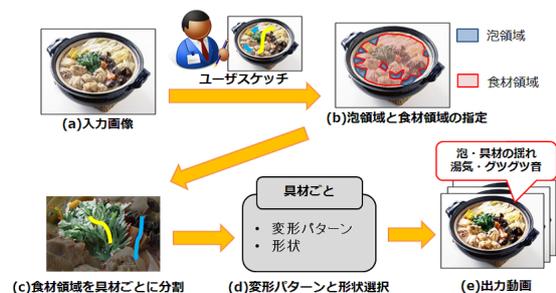


図 2. 動画作成手順.

## 4 ユーザインタフェース

ここでは作成したユーザインタフェースについて述べる。

### 4.1 泡領域と食材(具材)領域の指定

ユーザは簡単なスケッチで入力静止画に対し、泡領域と食材領域を指定を行う(図2-a,b)。この指定には、スケッチベースの領域分割器を用いる [14]。泡領域を指定する場合、ユーザは左クリックで泡領域を指定し、右クリックで鍋の縁や背景、食材部分などといった泡領域以外の領域を指定する(図3-a)。この指定は数少ないストロークで実現可能であるため、この操作は数秒で完了することができる。同様の指定を食材領域についても行う(図3-b)。

また、鍋料理のような煮込み料理の場合は、泡の発生と共に「具材が揺れ」が生じていた方がより自然である。そういった料理の場合、図3-bで指定した食材領域を、さらに具材ごとに細かく分割する(図3-c)。この操作も1つの具材に対しておおよそ2ストロークのみで指定を行うことができるため、全ての具材に対しこの指定を行っても、数秒から数分といった短時間で完了することができる。

具材の揺れが存在しない料理（例えば、鉄板の上でジュージューと焼けるハンバーグには具材の揺れは存在しない）については図 3-c の操作は必要ない。

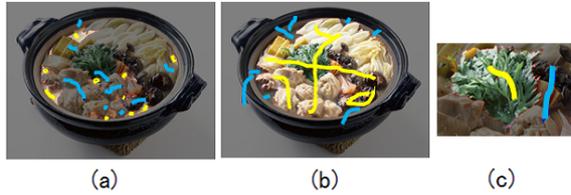


図 3. (a) 泡領域の指定. 黄色のストロークが泡領域, 青色のストロークが泡領域以外. (b) 食材領域の指定. (c) 具材の分割.

#### 4.2 具材情報の入力

ユーザは分割した具材（図 2-c）それぞれに対して、「変形パターン」と「形状」の指定を行う。変形パターンとは、具材の形が変わりやすいか否かを示すものであり、「変形、非変形」という 2 つの選択肢が存在する。春菊のようにひらひらと柔らかく形が変わりやすいものは「変形」、大根のように固く形が変わりにくいものは「非変形」をユーザが選択する。形状については、「平面、球形、棒状、葉類、麺類」という 5 つの選択肢が存在し（図 4）、この中から、その具材に対して最も適切であると思うものを 1 つ選択する。これらの情報は、具材の揺らしアニメーションを生成する際に使用する。



図 4. 具材に対する「形状」の分類例.

#### 4.3 湯気や音の選択

作成する動画に湯気や音を加えることができる。この指定は”合成”ボタンを押す前に行う。湯気を加える場合は、いくつか用意された湯気の素材動画の中から好きなものを選択し、インターフェースに表示された料理画像をクリックすることで、湯気を貼りつける位置を決定する。音を追加する場合は、用意されたいくつかの音素材の中から好きなものを選択するだけでよい。

#### 4.4 泡素材動画の選択

料理動画の合成に使用する泡素材動画を変更することができる。用意した泡素材動画には、水やソース、醤油など複数の液体の泡が存在する。例えば水

とソースでは、粘性について大きな差があるため、泡の膨らみ方に違いがみられる。ユーザは自分の作成したい動画の感触により合った泡素材動画を選択することができる。

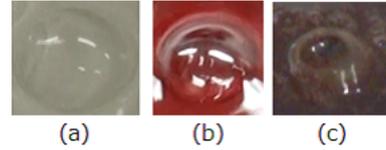


図 5. 泡素材動画. (a) 水 (b) 醤油 (c) ソース.

#### 4.5 火元位置の指定

ユーザは火元の位置を指定することができる。火元とは画像中で最も強く加熱されている点であり、例えば鍋料理において、鍋の中心部を火元として設定したとすると、鍋の中心部に最も熱が加わっているかのように鍋の中心部には激しい泡が発生し、鍋の縁の方では中心部と比較して穏やかな泡が発生する。

この火元の位置の指定は、料理動画視聴者の視線の誘導につながると考えている。一般に、人は動きの大きな部分に着目する。本システムでは火元がその部分に該当するため、動画視聴者に特に注目してほしい部分を火元に設定することで、視聴者の視線をそこへ誘導することができる。

#### 4.6 動画の生成

ここまでの情報を入力すれば、あとは”合成”ボタンを押すだけで料理動画が生成される。ユーザは泡の位置や粘性、具材の揺らし方など、細かなパラメータ設定を一切行う必要がない。計算は数十秒で終了し、料理動画が出力される。ユーザは出来上がった料理動画を見て、泡の状態や具材の揺れ方などに関して気に入らない点があれば変形パターンや形状といった情報を変更して、料理動画を修正することができる。動画作成に必要な情報の入力のほとんど（領域分割以外）はワンクリックで行うことができるため、動画作成はすべて合わせてわずか数分で完了することができる。

### 5 アルゴリズム

ここでは、泡の配置や具材の揺らし方の決定、泡のレンダリング、音や湯気の追加で用いたアルゴリズムについて述べる。

#### 5.1 泡の配置アルゴリズム

用意した泡データベースには、水、醤油、ソースなど複数の液体それぞれについて、大きさや速度の異なるものが多数含まれている（図 5）。本システムではこのデータベースから適切な泡を選び出し、ユー

ザが図 2-b で指定した泡領域に対して配置する。この配置を行うために独自のアルゴリズムを考案した (表 1)。

表 1. 泡の配置アルゴリズム.

	対象の泡領域		配置する泡	
	位置	広さ	速度	サイズ
手順 1 基本配置	火元付近	狭	極遅	小
		広	遅	小
	火元遠く	狭	遅	極小
		広	速	大
手順 2 重み付け	食材領域との境目及び 食材領域間の泡の速度をより遅く			

この泡配置アルゴリズムは我々が実際に鍋料理や鉄板料理などといった泡の発生しやすい料理の映像を複数観察し、手で料理動画の試作を何度も試みた結果定義したものである。手順 1 では各泡領域に配置する泡の速度、サイズ、座標を決定し、手順 2 では手順 1 で配置した泡に対して重み付けを行う。

我々が調査したところ、発生する泡の特徴の違いには、その泡の領域の火元から距離と、その泡の領域の広さが大きく関係している。基本的に火元に近い部分では、発生から消失までの速度が遅く、縦横のサイズが小さい泡が発生しやすい。火元に近い部分の中でも特に、他の領域と比較して領域の広さが狭い場所では速度がより遅い泡が発生する傾向が見られる。一方、火元から離れた部分では領域の広さによって発生する泡の特徴が大きく異なる。狭い領域では速度が遅く、且つ火元付近で発生する泡などと比較してよりサイズの小さい泡が発生するのに対し、比較的広い領域では速度が速くサイズの大きな泡が発生する。手順 1 はこれらの特徴を考慮している。

手順 1 を本システムにおいて実現するために、各泡領域のピクセル数と、各泡領域の重心から火元までの距離を使用して、各泡領域に配置する泡のサイズ、速度のパラメータを決定する。泡領域  $i$  のピクセル数を  $a(i)$ 、重心から火元までの距離を  $d(i)$  としたとき、その領域に配置する泡のサイズ  $S(i)$ 、速度  $V(i)$  はそれぞれ次のように定義される。

$$S(i) \propto a(i) \cdot d(i) \quad (1)$$

$$V(i) \propto \frac{a(i)}{d(i)} \quad (2)$$

ここで、泡領域  $i$  に対して、サイズ  $S(i)$  の泡をグリッド状に並べる。これによりそれぞれの泡の座標が求まる。

さらに、食材との境目に存在する泡や複数の食材領域の間に挟まれて存在する泡は、その周囲の泡と比較して速度が遅くなる傾向が見られるため、手順

2 では、そのような泡に対して手順 1 で決定した速度を 0.7 倍し、これを重み付けとする。

## 5.2 具材の揺らしアニメーション生成

鍋のような煮込み料理では、グツグツと発生する泡と共に具材が揺れる。本システムではこの揺れのアニメーションを、ユーザが図 2-d で指定した「変形パターン」と「形状」に応じて自動生成する。

揺らし方については 2 パターン用意した。1. 具材画像を変形して歪ませることで揺れを表現するパターンと、2. 具材画像の座標を移動させることで揺れを表現するパターンである。図 2-d において、ユーザが「変形」を選択したい具材についてはパターン 1 の揺らし方、「非変形」を選択した具材についてはパターン 2 の揺らし方を適応する。

### パターン 1: 画像変形による揺れの表現

春菊や青葉のような葉類が揺れるとき、具材全体が一様に揺れるのではなく、固い茎のある根本はあまり動かずに、柔らかい葉先だけが揺れていた方がより自然に見える。本提案では、リジット変形 [11] を用いて、春菊の根本のように形の変わりにくい部分を固定したうえで、葉先のように形の変わりやすい箇所を歪ませるように変形することで、具材の揺れを表現する。ここで、リジット変形を行う際、固定する点を固定制御点、歪ませる点を振動制御点という。

各具材に対する固定制御点と振動制御点の決定には、ユーザが図 2-d にて指定した「形状」の情報を使用する。我々は、用意した 5 種類の形状に対して、固定制御点と振動制御点をそれぞれどのように設定するかについて定めた (図 6)。



図 6. それぞれの形状に対する固定制御点 (中抜き円:赤) と振動制御点 (塗りつぶし円:黄色) の位置。

ユーザが入力した「形状」情報のみを使用して、システムが自動で図 6 のように制御点を設定するには、具材画像の傾きを考慮しなければならない。例えば図 6 の「平面」の例にある牛肉は、横軸に対して水平ではなく、左下から右上に向かって斜めに横たわっているため、この傾きに応じて制御点の座標を決定しなければ、変形が不自然なものになってしまう。そこで、本手法では主成分分析 [9] によってこの傾きを推定したうえで、制御点の座標を決定する (図 7)。決定された振動制御点は上下左右ランダ

ムに動かすことで具材が揺れているようなアニメーションを生成する。

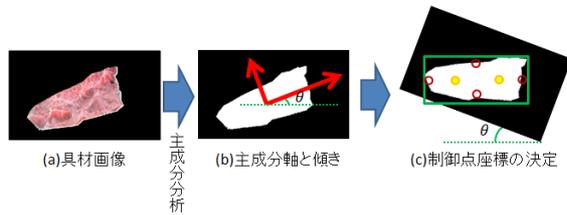


図 7. 主成分分析を利用した具材の傾き推定による制御点座標の決定。

### パターン 2: 座標移動による揺れの表現

鶏肉やカットされた大根のような固めの食材が揺れるときは、パターン 1 のように具材の一部が揺れるよりも、具材全体が一様に揺れた方がより自然に見える。そこで、そのような具材に関しては具材画像全体を上下ランダムに座標移動し揺れを表現する。

### 5.3 レンダリング

泡素材動画と入力静止画の泡領域の色が異なっても泡が自然に見えるように、泡素材動画の泡の動きだけを取り出して泡領域に合成する。これは図 8 のように HSL 色空間の輝度 (Lightness) チャンネルの動きのみを用いることで実現可能である。ただしこのとき、入力静止画の泡領域に存在したエッジが目立ってしまわないよう、泡領域に対してブラーをかけたうえで泡を合成する。

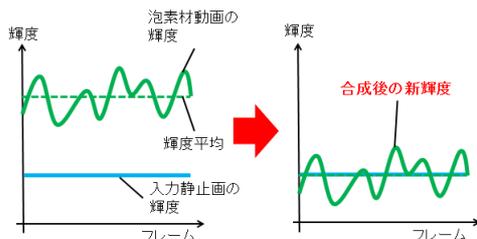


図 8. 輝度の揺らぎを付与するアルゴリズム。

### 5.4 湯気と音の合成

湯気は泡や具材の揺れと違い、細かいパラメータの設定をしなくても、湯気の素材動画を配置するだけで、動画に馴染んだ適切な湯気に見える場合がほとんどである。そのため、本システムではユーザが指定した位置に湯気の素材動画を貼りつけるだけで湯気の合成を完了する。音に関しても、料理の音はジュージュやパチパチ、グツグツといった白色性の高いものがほとんどであるため、音と映像の同期を考える必要はなく、ユーザが選択した音を動画に付与するだけで合成を完了する。

## 6 結果と考察

本システムを用いて 4 つの料理動画を作成した (図 9)。料理動画 a, b に使用した泡素材動画は図 5-a, 料理動画 c, d に使用した泡素材動画は図 5-c である。



図 9. 実験に使用した静止画と動画作成に要した時間。

作成した料理動画 a-d について、動画全体や具材の揺れ方などの自然さを確認するためにユーザテストを行った。ユーザテストによって確認したのは Q1-Q4 の 4 項目である。

- Q1 料理動画は静止画よりも美味しそうに見えたか。
- Q2 料理動画は全体的に見て自然であったか。
- Q3 泡は自然であったか。
- Q4 具材の揺れは自然であったか。

4 つの料理動画 (図 9 a-d) に対し、Q1-Q4 それぞれについて、学生 7 人に 5 段階評価を行ってもらった (5:最高評価, 1:最低評価)。

ユーザテストの結果を図 10 に示した。なお、料理動画 d に関しては映像中に具材の揺れが含まれていないため、Q4 への回答は存在しない。

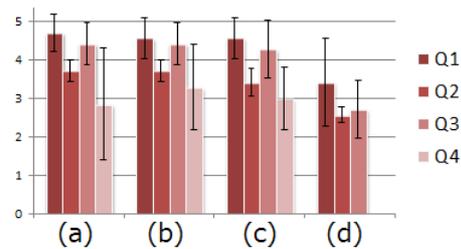


図 10. ユーザテストの結果。色棒は平均点、誤差棒は標準偏差。

ユーザテストの結果、システムで作成した料理動画 a-d すべてにおいて、作成に使用した静止画よりも美味しそうに見えるとの結果が得られた (図 10-Q1)。料理動画 d 以外は標準偏差も小さく、料理静止画をシステムによってより美味しそうな動画にすることができたことには、被験者のほぼ全員が同意したといえる。

動画全体の自然さ、泡の自然さ、具材の揺れの自然さなどを総合的に見て、最も評価が高かったのは料理動画 b であった。料理動画 b に使用した泡素材動画は図 5-a であるが、元画像の赤い色が合成した

泡にうまく反映されており、違和感をほとんど感じさせなかった。具材の揺れに関しても、「棒状」と指定したネギなどが非常に自然に揺れており、他の結果と比較して評価が高かった。一方、最も低い評価となったのは料理動画 d であった。料理動画 d は泡の配置も動画全体としても多少不自然であるという評価を受けた (図 10 d-Q2, Q3)。料理動画 d に対する被験者のコメントには「泡がぼやけて見える」という意見が多かった。これはレンダリング時、入力静止画の泡領域にブラーをかけてから泡の合成を行っていることが大きく影響したと考えられる。入力静止画の泡領域の色の差が激しいときや、指定した泡領域が大きい場合はこうした結果になりやすい。

料理動画 a, b, c のスコアを見ると、どれも同じような形をしている。泡の自然さ (Q3) のスコアの高さが、具材の揺れ (Q4) のスコアの低さに引っ張られた結果、動画全体としての自然さ (Q2) のスコアが下がっているという構図が見て取れるため、具材の揺れが今後改善されれば、動画全体としての自然さも向上することが期待される。

## 7 まとめと今後の課題

本研究では、ユーザの少ない入力を基に短時間でより魅力的な料理動画を作成するシステムを提案し、ユーザテストによって、その有用性を示した。ここでユーザテストに使用した静止画 (図 9 b, c) に注目したい。これらの静止画にはあらかじめ「料理画像に湯気を合成する」という加工が施されていた。料理画像に湯気を合成するのは、料理をより美味しく見せる方法としてメジャーなものであり、現在多くの料理店で使用されている静止画はこのように湯気が合成されているが、そういった加工を施すよりも (あるいは施した上で) 本システムによってその静止画を動画にした方が、料理をさらに美味しく見せることができる可能性が高いことをユーザテストの結果は示している (図 10 c, d-Q1)。つまり、現在の料理店のメニューなどが本システムにより動画に置き換えれば、料理の美味しさの表現はその幅を広げることにつながると考えられる。

今後の課題としては、具材の揺らしアルゴリズムの改善などが挙げられる。現状として、具材の揺れにおける若干の不自然さが動画全体としての自然さを損なっているため、今後具材の揺れが改善されることで、いまと同じ労力で、より魅力的な動画の作成が可能になると考えている。さらに、今後はユーザインタフェースにも改良を加え、システムによって自動生成された動画をユーザがより自分の感覚にあった動画を直感的に微調整できるようにしたいと考えている。現在レンダリングに数十秒の時間を要しているが理論的には 2, 3 秒程度で可能であるため、ユーザのスケッチを瞬時に結果に反映するなど、よりインタラクティブなシステムにしていきたい。

## 参考文献

- [1] Adobe After Effects. <http://www.adobe.com/jp/products/aftereffects.html>.
- [2] T. Beier and S. Neely. Feature-based image metamorphosis. In *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol. 26, pp. 35–42. ACM, 1992.
- [3] K. S. Bhat, S. M. Seitz, J. K. Hodgins, and P. K. Khosla. Flow-based video synthesis and editing. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 23, pp. 360–363. ACM, 2004.
- [4] Y.-Y. Chuang, D. B. Goldman, K. C. Zheng, B. Curless, D. H. Salesin, and R. Szeliski. Animating pictures with stochastic motion textures. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 24, pp. 853–860. ACM, 2005.
- [5] A. Hornung, E. Dekkers, and L. Kobbelt. Character animation from 2D pictures and 3D motion data. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 26(1):1, 2007.
- [6] Y. Horry, K.-I. Anjyo, and K. Arai. Tour into the picture: using a spidery mesh interface to make animation from a single image. In *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 225–232. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997.
- [7] T. Igarashi, T. Moscovich, and J. F. Hughes. As-rigid-as-possible shape manipulation. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 24, pp. 1134–1141. ACM, 2005.
- [8] A. Jacobson, I. Baran, J. Popovic, and O. Sorkine. Bounded biharmonic weights for real-time deformation. *ACM Trans. Graph.*, 30(4):78, 2011.
- [9] I. Jolliffe. *Principal component analysis*. Wiley Online Library, 2005.
- [10] M. Okabe, K. Anjyo, T. Igarashi, and H.-P. Seidel. Animating pictures of fluid using video examples. In *Computer Graphics Forum*, Vol. 28, pp. 677–686. Wiley Online Library, 2009.
- [11] S. Schaefer, T. McPhail, and J. Warren. Image deformation using moving least squares. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 25, pp. 533–540. ACM, 2006.
- [12] A. Schödl, R. Szeliski, D. H. Salesin, and I. Essa. Video textures. In *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 489–498. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000.
- [13] L.-Y. Wei and M. Levoy. Fast texture synthesis using tree-structured vector quantization. In *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 479–488. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000.
- [14] 清野達也, 林貴宏, 尾内理紀夫, 三條正裕, 森正弥. 改良領域拡張法による高速画像切抜き手法の提案と評価. *情報処理学会論文誌*, 12(50):3233–3249, 2009.