

早稲田大学大学院 先進理工学研究科

博士論文概要

リアルな表情アニメーションの
効率的な生成法に関する研究

An Efficient Synthesis of
Realistic Facial Animation

申請者

久保	尋之
Hiroyuki	Kubo

物理学及応用物理学専攻 画像情報処理研究

2011年11月

昨今、映画やアニメ、ゲームなどの制作工程においてはそのデジタル化が進み、それら映像作品のほとんどがコンピュータを使用して制作されている。アニメーション制作の工程でコンピュータが使用されるものは一般にデジタルアニメーションと呼ばれ、3次元コンピュータグラフィクス（3DCG）を用いたデジタルアニメーションも広く公開されており、数々の優れた作品が誕生している。コンピュータの演算性能は年々向上しているものの、デジタルアニメーション作品の作り手や鑑賞者の求める映像品質の水準はそれを遙かに上回り、高効率なアニメーションの制作方法が必要とされている。

優れたデジタルアニメーション作品を制作するために、登場するキャラクターが人として自然で魅力的に振る舞うことは必要不可欠といえる。特にキャラクターの表情は、見る者に対してそのキャラクターの感情の機微やパーソナリティなど微妙なニュアンスを確かに伝え、よりリッチな映像を制作するための手段として極めて重要であるといえる。しかし、3DCGで作成されたキャラクターに対して物理的な破綻なく、リアルで豊かな表情アニメーションを付加する作業は、熟練のクリエイターでさえなお複雑で手間のかかる作業である。従って3DCGキャラクターに対してリアルな表情を自動で効率的に付加する技術が切望されている。

そこで本研究では、モーションキャプチャやビデオカメラからの動画像を入力として被験者の表情筋の収縮強度を推定することで、表情を自動で別のキャラクターにリターゲットングし、効率的にCGキャラクターの表情を制作するための手法を実現する。さらに、物体表面の凹凸に着目し、新たに提案する曲率に依存する反射関数を用いて入射光の皮下散乱現象をモデル化することで、効率よくCGキャラクターの肌の編集や描画が可能となった。

本論文の第1章では、本研究の背景、関連する先行研究について述べ、本研究の位置づけを行った。本研究の主たる目的は、CGを用いたリアルな表情アニメーションの効率的な生成技術の確立である。

本論文の第2章では、モーションキャプチャで測定された被験者の表情に対し、表情筋の収縮パラメータを推定する手法を提案する。さらに、推定された表情筋収縮パラメータを被験者とは別のCGキャラクターに適用することで、アクターの表情をCGキャラクターに移し替えることが可能となる。まずモーションキャプチャを用いて被験者の顔表面に貼付されたマーカの動作遷移を計測し、次に、被験者自身の顔形状をモデリングし、表情筋を配置して表情筋制約モデルを構築する。表情筋制約モデルを用いると、各表情筋を収縮させることで表情変形が可能であり、その際に計算される頂点の移動量と、実際に計測されたマーカの移動量とを比較することで、誤差を最小化する最適な表情筋収縮パラメータを推定する。このとき、推定されたパラメータは表情筋シミュレーションの非線形性により、一般に非常に不安定である。そこで、表情の表出が完了し安定して推定できる表情

筋収縮パラメータのみを使用することで、表情筋モデルの動力的な過渡特性によってリアルな表情合成を可能とする。さらに、求められた表情筋収縮パラメータを被験者とは別人の CG キャラクタに適用することで、被験者と同じ表情をリアルに付加する技術を実現する。

さらに、アーティストによる編集を前提としたアニメーション作成のワークフローへの組み込みもまた重要である。第 3 章では現在の制作工程では、CG キャラクタの表情アニメーション制作において、顔形状の変形を手作業で行うには、膨大な手間と時間が必要となる。一般に表情筋ベースの表情合成手法は、変形の元となるポリゴンのメッシュに対して、表情筋シミュレーション用のメッシュを新たに構築する必要があるが、概してその作業は繁雑で、さらにシミュレータ内部の理解が必要になるなど、アーティストにとっては負荷の大きい作業であった。そこでクリエイタのもつ鋭い感性をダイレクトに反映させ、多彩な表情アニメーションを短時間で作成可能な表情生成ツール **Phy-Ace** を提案する。**Phy-Ace** は、仮想的に再現された顔の皮膚と皮下構造に対し、配置された表情筋の張力パラメータを操作するだけで、簡単かつ自由自在にキャラクタに表情を付加することのできるシステムである。まず、前処理として簡単に表情筋シミュレーション用のメッシュを構築する。顔の特徴点にランドマークをマウス操作により設定することで、表情筋テンプレートに従って表情筋などが自動で配置され、これまで煩雑であったキャラクタセットアップが非常に簡単に実現可能である。さらに、表情筋の詳細な位置はユーザによって簡単にカスタマイズ可能であり、その特性を個々に調整することも可能である。ユーザはスライダ操作によって各表情筋に張力を与えることで、表情の作成が可能である。**Phy-Ace** は **DCC (Digital Contents Creation)** ソフトウェアである **Autodesk® Maya®** のプラグインとして実装されている。これにより、従来の制作ワークフローの中に提案法を容易に組み込むことが可能となり、デジタルアニメーション作品制作の効率化が見込まれる。

CG を用いてリアルな表情を生成するためには、顔の形状の再現だけでなく、肌らしい反射特性をモデル化することも重要である。一般的に 3D コンピュータグラフィックスにおいて、様々な物質の反射特性をモデル化することはフォトリアリスティックなレンダリングを実現する上で極めて重要と言え、なかでも人間の肌に代表される半透明な物体で見られる柔らかな陰影を再現することで、リアリティを向上させ、映像に強い説得力を与えることができる。そのため、CG を用いた半透明物体の表現は、特に映画などのオフラインレンダリング用途で多く用いられるようになってきている。半透明物体では、物体表面に入射した光が内部に浸入し散乱を繰り返す、表面下散乱現象が生じる。散乱された入射光はある程度の距離が離れた点から出射するため、表面下散乱が生じる物体では一般に、光の入射点と出射点は異なる。従ってこの散乱現象の物理的に正確なモデル化に

は複雑なシミュレーションを要する大域照明モデルを導入せざるを得ず、結果としてリアルタイムなレンダリングにはほど遠いのが現状である。

第 4 章では入射光の表面下散乱が物体表面の曲率に依存する性質を利用して、曲率に依存する反射関数(Curvature-Dependent Reflectance Function; CDRF)を提案する。本手法では半透明物体における光の散乱現象のうち、ある局所的な範囲内において入射光の散乱によって光が回り込んでくる現象を近似的に表現するものである。物体の大局的な形状を考慮しないため物理的に厳密なライティング計算は出来ないが、あくまで局所照明モデルとして簡易で高速なレンダリングが可能である。

さらに第 5 章では前章で提案した反射関数をもとに、人間の肌をターゲットとして編集の容易性や使用メモリ量などにも配慮した、より実践的な手法を提案する。CDRF を用いたレンダリングに必要な計算コストは、古典的なランバートシェーディングと比較しても 3 回のテクスチャ参照を追加する程度であり、極めてコストの低いシェーディング方法を実現している。提案手法は多重散乱が支配的な様々な半透明物体に適用可能であるが、実際の商用作品での使用を想定した場合、特に人間の肌の高速で効率的な描画がターゲットとなる。そのため本稿ではスキンシェーダとしての適用例について詳述する。ゲームなどの映像作品では、登場するキャラクターの肌はそれぞれに特徴的で、実際の人間の肌の個人差と比較しても、より誇張した表現手法がとられることが一般的と言える。そこで本研究では材質の散乱特性を調整するだけでなく、曲率自体を強調する手法を導入することで、表面下散乱の影響が誇張された印象的な肌を表現可能なスキンシェーダを実現した。提案法の長所として、既存の制作工程、及びレンダリングパイプラインに大きな変更無しに実装できる点が挙げられる。なお実際に本研究は『真・三國無双 6』(株式会社コーエーテクモゲームス・2011 年 3 月発売)で正式にスキンシェーダとして採用され、ほとんどのシーンでキャラクターの肌のシェーディングには提案法が使用されている。本手法ではまず前処理として、入力された 3D メッシュオブジェクトに対し、あらかじめ曲率を計算する。さらに、材質の散乱パラメータを調整し、レンダリング時にはルックアップテーブルをテクスチャとして参照することで高速に輝度計算を行う。曲率を前処理として CPU で求めているため、デフォーマブルオブジェクトに対応できないが、光源の回転や平行移動に対してリアルタイムに処理可能である。また、ルックアップテーブルの作成は数秒以内に完了し、いずれの散乱パラメータに対しても同一のテーブルを利用可能であり、再度作成する必要はない。従って、アーティストの散乱パラメータの修正に対してもリアルタイムで反映可能であるため、効率的なキャラクターの肌の制御と描画手法が実現された。

6 章では本論文の結論と今後の課題について述べる。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 久保尋之 印

(2011年 10月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
○論文 (査読有)	<u>Hiroyuki Kubo</u> , Yoshinori Dobashi, Shigeo Morishima, "Curvature-Dependent Reflectance Function for Interactive Rendering of Subsurface Scattering", International Journal of Virtual Reality, 2011, 10(1):41-47. 2011.3
○論文 (査読有)	久保尋之, 土橋宜典, 森島繁生, "曲率に依存する反射関数を用いた半透明物体の高速レンダリング", 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J93-A No.11, pp.708-717. 2010.11.
○論文 (査読有)	久保尋之, 柳澤博昭, 前島謙宣, 森島繁生, "表情筋制約モデルを用いた少ない制御点の動きからの表情合成", 日本顔学会論文誌第6巻, pp.31-36. 2006.
○講演 (査読有)	久保尋之, 土橋宜典, 津田順平, 森島繁生, "曲率を用いた半透明物体のリアルタイムレンダリング", Computer Entertainment Developers Conference 2011, 2011.8
講演 (査読有)	<u>Hiroyuki Kubo</u> , Yoshinori Dobashi, Shigeo Morishima: Real-time and Interactive Rendering for Translucent Materials such as Human Skin. HCI (12) 2011, pp.388-395. 2011.7.
講演 (査読無)	久保尋之, 土橋宜典, 津田順平, 森島繁生, "リアルタイムスキンシェーダとしての曲率に依存する反射関数の提案と実装", 第143回グラフィクスとCAD研究会, Vol.2011-CG-143 No.2, 2011.6.
講演 (査読無)	久保尋之, 土橋宜典, 森島繁生, "影付けを考慮した半透明物体の高速描画法", Visual Computing ワークショップ 2010 講演要旨, 画像電子学会誌, Vol. 40, No. 1, pp.247 (2011).
講演 (査読無)	久保尋之, 土橋宜典, 森島繁生, "人肌などの半透明物体の高速描画法", 第15回日本顔学会 フォーラム顔学 2010, 口頭発表・O1-04, 顔学会論文誌, 第10巻, 第1号, pp.111, 2010.10
講演 (査読有)	久保尋之, 土橋宜典, 森島繁生, "曲率を用いた半透明物体のリアルタイムレンダリング", CESA Developers Conference 2010, 2010.8
○講演 (査読有)	<u>Hiroyuki Kubo</u> , Yoshinori Dobashi, Shigeo Morishima, "Curvature-Dependent Reflectance Function for Rendering Translucent Materials" SIGGRAPH '10 ACM SIGGRAPH 2010 Talks
講演 (査読有)	久保尋之, 土橋宜典, 森島繁生, "半透明物体の高速描画に向けた曲率に依存する反射関数の近似式", Visual Computing / グラフィクスとCAD 合同シンポジウム 2010, 37.pdf, 2010.6
講演 (査読無)	久保尋之, 森島繁生, "曲率を考慮した局所照明モデルによる表面下散乱現象のレンダリング", Visual Computing ワークショップ 2009 講演要旨, 画像電子学会誌, Vol. 39, No. 1, pp.91 (2010).
講演 (査読有)	<u>Hiroyuki Kubo</u> , Mai Hariu, Shuhei Wemler, Shigeo Morishima, "Curvature-Dependent Local Illumination Approximation for Translucent Materials", ACM SIGGRAPH2009, Poster
講演 (査読無)	久保尋之, 鈴木孝章, 石橋康, 森島繁生, "表情筋モデルを用いた動画像からの表情合成", Visual Computing ワークショップ 2008 講演要旨, 画像電子学会誌, Vol. 37, No. 6, pp.1061 (2008)
講演 (査読無)	久保尋之, 上村周平, 石橋康, 前島謙宣, 森島繁生, "筋配置のカスタマイズが可能な表情生成シミュレータの提案", フォーラム顔学 2008, 口頭発表, 2008.10

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種類別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演 (査読有)	<u>Hiroyuki Kubo</u> , Yasushi Ishibashi, Akinobu Maejima, Shigeo Morishima, "Synthesizing Facial Animation using Dynamical Property of Facial Muscle", ACM SIGGRAPH2008, Informal Forum and Poster, 2008.8
講演 (査読有)	久保尋之, 上村周平, 石橋康, 前島謙宣, 森島繁生, "カスタマイズにより多様な表情を生成可能なシミュレータプラグイン Phy-Ace", 第4回デジタルコンテンツシンポジウム, 6-4, 2008.6
講演 (査読有)	久保尋之, 石橋康, 前島謙宣, 森島繁生, 表情筋運動モデルの過渡特性を考慮した表情アニメーション, Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2008, 2008.6
講演 (査読有)	<u>Hiroyuki Kubo</u> , Hiroaki Yanagisawa, Akinobu Maejima, Demetri Terzopoulos, Shigeo Morishima, "Facial Animation by the Manipulation of a Few Control Points Subject to Muscle Constraints", ACM SIGGRAPH 2006 Research posters, 2006.8
講演 (査読無)	久保尋之, 柳澤博昭, 前島謙宣, 森島繁生, "表情筋変形パラメータの推定による表情合成", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105, No.682, pp.31-36, 2006.3
講演 (査読無)	<u>Hiroyuki Kubo</u> , Akinobu Maejima, Shigeo Morishima, Muscle Based Facial Animation using a Few Motion Capture Markers, The 5th 21st COE symposium on Physics of Self-organization Systems, Poster Session, 2007.9
講演 (査読有)	久保尋之, 矢野茜, 石橋康, 前島謙宣, 森島繁生, "表情筋モデルによるキャラクタ表情アニメーション", 第3回デジタルコンテンツシンポジウム, P1-5, 2007年6月
総説	森島繁生, 八木康史, 中村哲, 伊勢史郎, 向川康博, 榎原靖, 間下以大, 近藤一晃, 榎本成悟, 川本真一, 四倉達夫, 池田雄介, 前島謙宣, 久保尋之, "新映像技術「ダイブイントゥザムービー」", 電子情報通信学会誌 Vol.94, No.3, pp.250-268, 2011.3
その他 (講演) (査読無)	鎌水 裕刀, 久保尋之, 前島 謙宣, 森島 繁生, "医用画像から得られる個人特徴を反映した顔面筋肉モデルの提案", Visual Computing ワークショップ 2010 講演要旨, 画像電子学会誌, Vol. 40, No. 1, pp.245-246 (2011).
その他 (講演) (査読有)	小坂昂大, 服部智仁, 久保尋之, 森島繁生, "複数視点からの深度マップ利用による半透明物質の実時間描画法", Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2011.
その他 (講演) (査読有)	三間大輔, 久保尋之, 前島謙宣, 森島繁生, "顔画像における表情変化に伴う表情皺の自動生成手法の提案", Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2011.
その他 (講演) (査読有)	高見澤涼, 矢野茜, 山本達也, 久保尋之, 前島謙宣, 森島繁生, "発話時の閉口を考慮したリップシンクアニメーションの生成", NICOGRAPH International 2011(春季大会特別セッション), 2011.6
その他 (講演) (査読無)	小坂昂大, 服部智仁, 久保尋之, 森島繁生, "複数視点からの深度マップを用いた半透明物体の高速描画法", 電子情報通信学会 2011 年総合大会講演論文集, d_12_009.pdf, 2011.3
その他 (講演) (査読無)	三間大輔, 鎌水裕刀, 久保尋之, 前島謙宣, 森島繁生, "顔画像における陰影変化に伴う表情生成", 電子情報通信学会 2011 年総合大会講演論文集, d_12_039.pdf, 2011.3
その他 (講演) (査読無)	高見沢涼, 矢野茜, 久保尋之, 前島謙宣, 森島繁生, "話速変化に応じたリップシンクアニメーションの作成", 第15回日本顔学会 フォーラム顔学 2010, ポスター発表・P1-09, 顔学会論文誌, 第10巻, 第1号, pp.132, 2010.10
その他 (講演) (査読無)	前島謙宣, 久保尋之, 森島繁生, "アクティブスナップショット", 第15回日本顔学会フォーラム顔学 2010, 実演デモ発表・展示 D-04, 顔学会論文誌, 第10巻, 第1号, pp.104, 2010.10

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種類別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
その他 (講演) (査読有)	Tomohito Hattori, <u>Hiroyuki Kubo</u> , Shigeo Morishima, "Curvature Depended Local Illumination Approximation of Ambient Occlusion", SIGGRAPH '10 ACM SIGGRAPH 2010 Posters
その他 (講演) (査読有)	服部智仁, <u>久保尋之</u> , 森島繁生, "遮蔽度の曲率近似を用いたアンビエントオクルージョンの局所照明モデル化", Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2010, 38.pdf, 2010.6
その他 (講演) (査読有)	鈴木孝章, <u>久保尋之</u> , 前島謙宣, 森島繁生, "顔動画像に基づく陰影変化を伴う表情アニメーション生成", 2010 年 NICOGRAPH 春季大会 論文集, SI-2.pdf, 2010.3
その他 (講演) (査読有)	服部智仁, <u>久保尋之</u> , 森島繁生, "遮蔽度の曲率近似によるアンビエントオクルージョンの局所照明モデル化", グラフィクスと CAD 研究会 第 138 回研究発表会, 2010.2.
その他 (講演) (査読有)	鈴木孝章, <u>久保尋之</u> , 前島謙宣, 森島繁生, "顔動画像を用いたデータドリブンな陰影変化を伴う表情アニメーションの生成", Visual Computing ワークショップ 2009 講演要旨, 画像電子学会誌, Vol. 39, No. 1, pp.87 (2010).
その他 (講演) (査読有)	鏈水裕刀, <u>久保尋之</u> , 前島謙宣, 森島繁生, MRI 画像に基づく皮膚下の厚みを反映した顔面筋肉モデルの構築, フォーラム顔学 2009, 2009.10
その他 (講演) (査読有)	Akinobu Maejima, Takanori Suzuki, Hiroto Yarimizu, <u>Hiroyuki Kubo</u> , Shigeo Morishima, "An automatic individual character head modeling for instant casting", The 9th ACCV Invited Workshop1: Vision Based Human Modeling and Synthesis IW1-2, 2009.9
その他 (講演) (査読有)	Hiroto Yarimizu, Yasushi Ishibashi, <u>Hiroyuki Kubo</u> , Akinobu Maejima, Shigeo Morishima, "Muscle-based Facial Animation Considering Fat Layer Structure Captured by MRI", ACM SIGGRAPH2009, Poster
その他 (講演) (査読有)	鏈水裕刀, 石橋康, <u>久保尋之</u> , 前島謙宣, 森島繁生, "MRI 計測から獲得される皮膚下の厚みを適用した顔面筋肉モデルの構築", Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2009, 2009.6.
その他 (講演) (査読有)	高見澤涼, 鈴木孝章, <u>久保尋之</u> , 前島謙宣, 森島繁生, 多様な表情を合成可能な固有顔空間の構築, 電子情報通信学会総合大会, A-15-17, 2009.
その他 (講演) (査読有)	鏈水裕刀, 石橋康, <u>久保尋之</u> , 前島謙宣, 森島繁生, MRI に基づく皮膚下構造を反映した顔面筋肉モデルの構築, 電子情報通信学会総合大会, A-15-14, 2009.
その他 (講演) (査読有)	鈴木孝章, 石橋康, <u>久保尋之</u> , 前島謙宣, 森島繁生, "高速度カメラを用いた 3 次元表情アニメーション生成", フォーラム顔学 2008
その他 (講演) (査読有)	Takanori Suzuki, Yasushi Ishibashi, <u>Hiroyuki Kubo</u> , Akinobu Maejima, Shigeo Morishima, 3D Facial Animation from high speed video, ACM SIGGRAPH2008, Poster, ACM SIGGRAPH 2008 Posters, 2008.8
その他 (講演) (査読有)	Yasushi Ishibashi, <u>Hiroyuki Kubo</u> , Akinobu Maejima, Demetri Terzopoulos, Shigeo Morishima, Facial Muscle Adaptation for Expression Customization, ACM SIGGRAPH 2007, San Diego, Sketches and Posters, 2007.8
その他 (講演) (査読有)	Akane Yano, <u>Hiroyuki Kubo</u> , Yoshihiro Adachi, Demetri Terzopoulos, Shigeo Morishima, Variable Rate Speech Animation Synthesis, ACM SIGGRAPH 2007, San Diego, Sketches and Posters, 2007.8
その他 (講演) (査読有)	石橋康, <u>久保尋之</u> , 柳澤博昭, 前島謙宣, 森島繁生, "表情筋モデルを用いた表情の再現と個人表情の表現", Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2007, pp.263-268, 2007 年 6 月