

2D スケルタルアニメーションからの作画風モーションの生成

宮宗顯†¹ 藤田宜久†¹ 仲田晋†¹

手描きのイラストの各パーツに動きを定義する 2D スケルタルアニメーションの技術はモバイル向けのゲームで広く使われている。本研究はこの 2D スケルタルアニメーションで定義された動きから作画風のモーションを自動生成する技術を開発する。作画風のモーションとは本研究では日本の典型的な作画アニメの動きを想定し、分析結果に基づいた動きを数式モデルとして記述することにより作画アニメらしい動きの生成を目指す。

1. はじめに

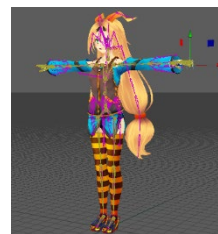
日本のアニメーション作品（以下、アニメ）は世界で広く親しまれており、映像表現の一手法として重要な役割を果たしている。日本のアニメ作品の大きな特徴はキャラクターがセルアニメ由来の作画スタイル（あるいはそれを模した CG 映像）として描かれること、およびリミテッドアニメーションと呼ばれる動きの表現技法が用いられることであり、フォトリアル CG アニメーションと対極をなしている[1][2]。本論文ではアニメ固有の作画と動きの特徴を作画風と呼ぶこととする。最近ではアニメ制作過程において CG が多用される作品も増えているが、最終的には 3D 形状モデルの変形[3]やセルレンダリング（セルアニメを模したレンダリング技術）の活用による作画風の映像とされており、セル画に由来する画風を維持することが市場への訴求力となることも指摘されている[4]。動画としての映像表現についても同様であり、第 2 章で詳述するリミテッドアニメーションの技法に沿った映像表現とすることがアニメ制作では重視される[2]。

アニメ制作における重要な課題の一つは生産性の向上である。典型的なアニメ制作過程では基本的にはすべてのコマをアーティストが 1 枚ずつ作画することとなる。CG を利用する場合にも CG に特化したスキルが要求されるとともに、前述のように作画風のレンダリングと動きの実現が求められるため根本的な課題解決にはなりづらい。すなわち、アーティストによる作画枚数を少なくすると同時に、前述の作画風の動きを簡易的に実現することが生産性向上において重要となる。

簡易的な動き定義の典型例は CG における 3D スケルタルアニメーションの技術である。これは 3D キャラクターの骨組みに相当するボーンを配置し、一連の動きのうちいくつかの主要なポーズ（キーフレーム）で定義されたボーンの姿勢を時間的に補間することでキャラクターの動きを表現する技術であり（図 1(a)）、テレビゲームや CG 映像の制作に用いられる。この技術を作画風アニメ制作に利用できれば 3D アニメーションと同様の制作過程でのアニメ映像制作が可能となり、作画枚数の削減を含む生産性向上が

期待できる。

本研究の目的は作画されたキャラクター画像に対して作画風の動きを持つアニメ映像の生成技術の開発である。具体的には、キャラクターの髪・頭部・腕・胴体といったパーツ画像群および各パーツの動きを入力とし、作画風アニメ映像を生成する（図 1(b)）。各パーツの動きの定義として 2D スケルタルアニメーションを導入することで 3D アニメーション映像の制作過程と同様に作画風アニメ生成の効率化を図る。



3DCG モデル(© UTJ/UCL)



作画

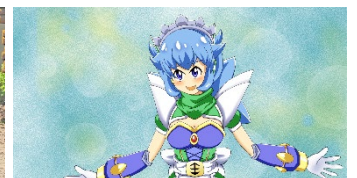
3D スケルタル
アニメーション



2D スケルタル
アニメーション



(a) CG 映像



(b) アニメ映像

図 1 スケルタルアニメーションによる映像制作過程

映像を作画アニメのスタイルに近づけるためには「見た目」と「動き」の両方を作画風にする必要がある。本研究では作画された画像を用いるため静止画像としての「見た目」は達成される。一方、動画像としての「動き」については以下 2 つの問題がある。一つは 2D スケルタルアニメーションが作画風の動きとにならないことであり、作画風の動きへの変換が求められる。もう一つは作画アニメの目と口の開閉に特殊な表現手法が用いられることであり、2D スケルタルアニメーションとは異なる専用の動き定義が必要とされる。

†1 立命館大学
Ritsumeikan University.

本研究では 2D スケルタルアニメーションとして定義された動きを作画風の動きに変換するために、アニメ制作で用いられるリミテッドアニメーションの技法を模した変換モデルを提案する。この問題は時刻に関する連続関数として定義されるアニメーションを適切にサンプリングする問題であり、アニメ映像の各フレームから時刻への写像を定義することで解決する。目と口の開閉に関してはアニメ映像の分析に基づくランダム性を取り入れることで実現する。

2. 作画アニメの動き

作画アニメの動きを数式モデル化するために、作画アニメと 2D スケルタルアニメーションの動きの違いを明確にする必要がある。作画アニメの動きは大きく分けて「間引き表現」と「口と目の開閉表現」の 2 つで表せる。

2.1 間引き表現

「間引き表現」とは、現実の動きの流れを簡略化するような表現を指す。アニメで使われる映像は 1 秒間に 24 フレームで描画されるが、リミテッドアニメーションの手法に従った作画アニメは 1 秒あたり 8 枚の絵または 12 枚の絵を描画することが主流となっている。前者は 1 枚の絵を 3 フレーム連続で使用する「3 コマ打ち」、後者は 1 枚の絵を 2 フレーム連続で使用する「2 コマ打ち」という手法が使用されている。アニメ制作では、先に「原画」と呼ばれる動きの始まりと終わり、または動作の途中の特徴的なポーズを描き、その後原画間の絵を補間する「中割り」という工程に移行する。少ない作画枚数で中割りを作成するにあたって、均等に原画間のポーズを補間するのではなく「タメ・ツメ」と呼ばれる作画技法を使用している。例として、ボールが左から右へ移動するときにコマを均等割りした場合とタメ・ツメを適用した場合は図 2 のように示される。タメの場合、動きの開始地点である「はじめの原画」に近いコマを、ツメの場合、動きの終了地点である「終わりの原画」に近いコマを、その原画に近い状態で描くことで動きの緩急を表現する。つまり、タメを強くすることで動きの加速、ツメを強調することで動きの減速が強調される。こうした誇張表現は現実の物理法則には従っていないが、メンタルモーションの表現として知覚的に違和感のない印象を与えるため、重要な要素として挙げられる[5]。

2D スケルタルアニメーションも動き付けとして最初に「キーフレーム」と呼ばれる原画に相当するフレームでポーズを定義しているが、キーフレーム間のポーズは自動補間による連続的な動きとして生成される点でリミテッドアニメーションと異なっている。

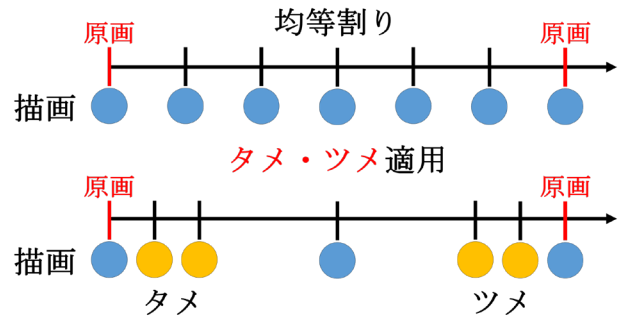


図 2 均等割り と タメ・ツメ適用 の比較

2.2 口と目の開閉表現

本研究では、「口と目の開閉表現」についても数式モデル化することを試みた。口と目の開閉表現は作画アニメで頻繁に用いられるものであり、間引き表現とは対照的に、現実の動きの流れに従わず、作画アニメならではの独特なルールに基づいて動きをつける。

2.2.1 口の開閉

本項で述べる「口の開閉」とは、キャラクターが台詞を言う際に使用される口の動きを表し、作画アニメにおいて多用される表現である。口の開閉は一般的に「閉じ口」「中口」「開き口」の 3 枚の口の形状を台詞の長さに応じて交互にコマ打ちすることで動きを表現する。これは手塚治虫によって編み出された技法[6]とされている。台詞と口の形状は一致していないことが多く、アニメーターの中では形状の順番について明確な指示があっても、結果的には見栄えとしてランダムな動きとなっている。これは音声の整合性を無視した場合に限り、整合性が確実に合うような例外的なものとしては、話し手の感動を表す「あっ」、「えー」の類をはじめとする短い台詞等が挙げられる。

2D スケルタルアニメーションのキャラクターが台詞を言うとき、口の形状の数は 3 つではないということが分かる。これは動き付けの際「開き口」と「閉じ口」をキーフレームとし、その間の口の形状を自動補間するので「中口」の形状が不特定になってしまう。

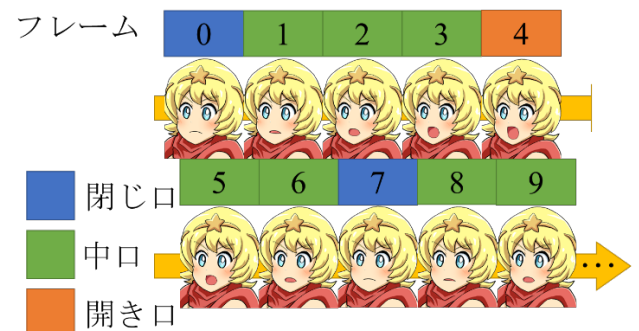


図 3 スケルタルアニメーションにおける口の動きの例

2.2.2 目の開閉

本項で述べる「目の開閉」とは、キャラクターの瞬きを表す。瞬き1つで生きた表情を見せることができるため、口の開閉と同様に、多用される表現である。目の形状もまた「開き目」「中目」「閉じ目」の3枚で構成されており、動きに関しては調査の結果「開き目」→「閉じ目」→「中目」→「開き目」の流れのパターンでコマ打ちすることが多いことが分かった。

図4にスケルトルアニメーションにおける瞬きの例を示す。2Dスケルトルアニメーションのキャラクターの瞬きにおける目の形状および動き付けも口と同様に、「開き目」と「閉じ目」による自動補間で無数の「中目」の形状を生成している。

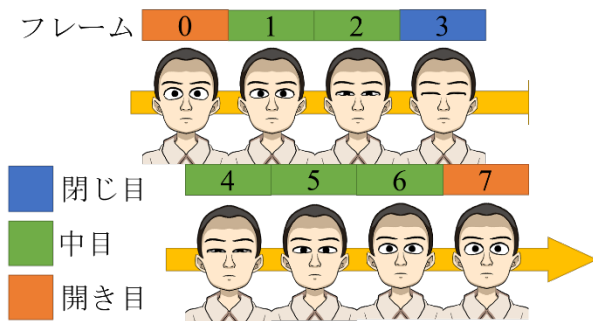


図4 スケルトルアニメーションにおける瞬きの例

3. 提案手法

3.1 間引き表現への変換手法

間引き表現への変換は、言い換えれば「フルアニメーション」の動きから「リミテッドアニメーション」への動きへの変換を表す。フルアニメーションからリミテッドアニメーションへの研究は3DCGの分野でも研究が行われている。中割りの再現を試みたもの[7]や、モーションキャプチャのデータを入力として、タメ・ツメや中無しの再現を可能としたもの[8], [9]がある。これらの研究は、不要なフレームを削除、または調整を基本とした手法を行っている。2Dスケルトルアニメーションでも同様にフレームの調整を基本とした手法を適用すれば、作画アニメ風のモーション生成は可能ではないかと考えた。本研究ではこの手法を基本とし、さらに柔軟性を持たせた手法を開発した。具体的には、原画に近いフレームをどのぐらい原画に近い状態に寄せるかタメ・ツメの強度を自由に変更できるようにすることで、アニメーターの個性による様々な表現を可能とした。

「コマ打ち」はコマ打ちする数の分のフレームを連続して使用することで、「タメ・ツメ」は原画間の中割りとなるフレーム数と「タメ・ツメ」の基準となる中間のフレーム番号を決定することで再現できる。コマ打ちする数を $n_{duplicate}$ と定義して、現在指定している原画のフレームを G_x ,

次の原画のフレームを G_{x+1} , G_x から中間のフレームまでに必要なフレーム数を h とすると h を表す式は以下のように示される。

$$h = \left(\left\lfloor \frac{G_{x+1}}{n_{duplicate}} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{G_x}{n_{duplicate}} \right\rfloor \cdot \frac{1}{2} \right) - 1 \quad (1)$$

この式によって、ユーザーが指定した始めと終わりのキーフレーム間を間引く。また、選択しているフレームが何枚目の中割りのフレームかを j , 中割りとして採用するフレームを f_j , 「タメ・ツメ」の強弱の度合いを s と表すと, f_j を求める式は以下のように示すことができる。原画から中間のフレームの間に使用するフレームを表す式は以下のように示される。

$$f_j = G_x + \frac{G_{x+1} - G_x}{2} \cdot \frac{1}{s^{h+1-j}} \quad \left(\frac{G_x}{3} < j < h \right) \quad (2)$$

中間から次の原画の間に使用するフレームを表す式は以下のように示される。

$$\begin{cases} k = \left\lfloor \frac{G_x}{n_{duplicate}} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{G_{x+1}}{n_{duplicate}} \right\rfloor - j & (h < j) \\ f_j = G_x + G_{x+1} - f_k & < \frac{G_{x+1}}{n_{duplicate}} \end{cases} \quad (3)$$

3.2 口と目の開閉表現への変換手法

この表現は、動かし方が「間引き表現」と根本的に異なるので、前項の手法で再現することはできない。したがって、前章で述べた分析に基づいて、新しい変換手法を定義した。

3.2.1 口の開閉への変換手法

口の動かし方として、まず複数ある「中口」の形状を1つに決定する処理、次に「閉じ口」「開き口」「中口」の3形状を交互にランダムで入れ替える処理を定義する。

「開き口」と「閉じ口」のそれぞれを、元のモーション値の最大値 M_{max} と最小値 M_{min} と表すと「中口」 M_{mid} は「閉じ口」から「開き口」への割合を表す変数 $n_{M_{mid}}$ を利用すれば以下の式のように表すことができる。

$$M_{mid} = n_{M_{mid}} M_{max} \quad (0 < n_{M_{mid}} < 1) \quad (4)$$

発話のタイミングを利用して口の変動するフレーム範囲を求めて、3つの形状をコマ打ちでランダムに並び替える。交互に切り替えるために同じ形状が連続して並ばないようにする。したがって口の形状の状態遷移は図5のようになる。この処理を何度も乱数生成によって行うことで口の開閉の表現が可能になる。

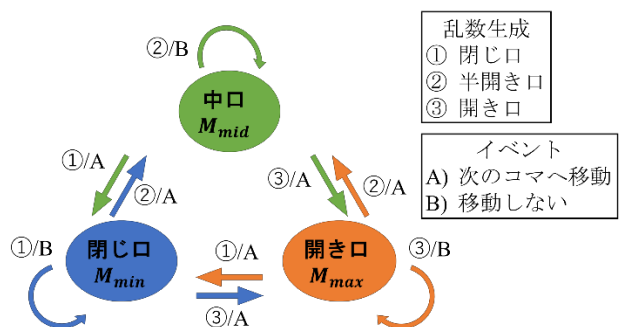


図5 口の形状の状態遷移図

3.2.2 目の開閉への変換手法

目の形状も口と同様に最初に複数ある「中目」の形状を1つに絞る必要がある。また、動かし方は前章の分析より「開き目」→「閉じ目」→「中目」→「開き目」の流れのパターンを採用する。

開き目と閉じ目の形状は口の開閉と同様に、開閉を表すモーション値の最大値 E_{max} と最小値 E_{min} で表すことができる。中目 E_{mid} は、閉じ目から開き目への割合を表す変数 n_{Emid} を利用すれば以下のように示すことができる。

$$E_{mid} = n_{Emid} E_{max} \quad (0 < n_{Emid} < 1) \quad (5)$$

一旦閉じ目に入ってまた開き目に戻るといふ瞬きの大きかな流れは、作画アニメと2Dスケルトルアニメーションで共通している。したがって閉じ目を基準にしてモーション値の塗り替えを考える。作画アニメにおける開き目から閉じ目に入る前半の流れは、中目を挟まずに開き目から一気に閉じ目へ形状変化する。したがって閉じ目に入る前の中間値は全て E_{max} で塗り替えられる。

閉じ目から開き目に戻る後半の流れにおいて、コマ打ち数は元のモーションの閉じ目から開き目までのフレーム数によって決まる。このフレーム数を O_{term} とする。元のモーションの閉じ目の開始と終了フレーム番号をそれぞれ C_{start} 、 C_{end} 、開き目までにかかるフレーム数を O_{semi} と表すと次のように示される。

$$O_{term} = (C_{end} - C_{start}) + O_{semi} \quad (6)$$

したがってコマ打ち数を変数 $n_{eyedepuplicate}$ とすると

$$n_{eyedepuplicate} = \begin{cases} 1 & (O_{term} \leq 3) \\ 2 & (3 < O_{term} \leq 5) \\ 3 & (5 < O_{term}) \end{cases} \quad (7)$$

と表すことができる。この式で求められたコマ打ち数でモーション値を塗り替えていく。

4. 実験と考察

本手法で生成されたモーションについて評価する。変換前と変換後のモーションはモーション値が形成するモーショングラフによって詳細な比較が行える。分析から述べた作画技法を基に適切なモーショングラフは本来どのようなものになるか想定し、それが提案手法によってどれぐらい再現できているかを評価する。実装にはLive2D Cubism2.0[10]を用いた。「間引きの表現」と「口と目の開閉表現」が両立して再現できているか確認するために、適用するモーションはキャラクターが腕を振りながら喋り、瞬きも同時に行うモーションを適用した。

4.1 間引き表現

分析を基に考えると間引き表現が形成するグラフの形状は、「コマ打ち」で同じモーション値が数フレーム連続で同

じ値になっていること、「タメ・ツメ」で原画に近い程フレームのモーション値が原画フレームのそれに近い値が適用されていることが条件である。コマ打ちは3コマで変換を行った。原画としてフレーム番号は0, 10, 25, 35, 50, 60, 75, 85, 100を選択した。

図6に左腕の変換前と変換後のモーショングラフ、図7にフレーム毎のイラストの比較(一部)を示す。赤点および赤字は原画を表す。本手法で得られた結果では、原画に近いモーション値は原画のそれに近く位置することで極端な間引きを形成することができたが、1コマや4コマ打ちしているようにコマ打ちに不安定な箇所が少し見られた。原因として天井関数を使用した中割り選択の式が原因ではないかと考えた。このような誤差は連続的に生み出されたものではなく、1枚絵は1フレーム0.04秒で見せるわけであり、口と目の開閉表現とは違って動きの流れは自然であるため、映像で見ると知覚的に違和感は然程気にならない程度であると思われる。

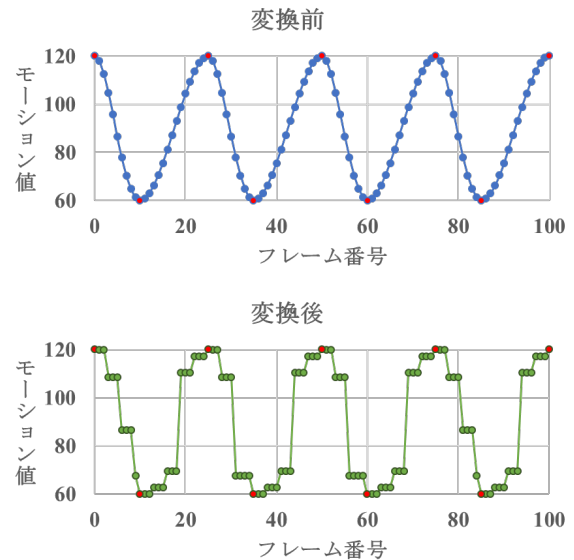


図6 左腕の変換前と変換後のモーショングラフ

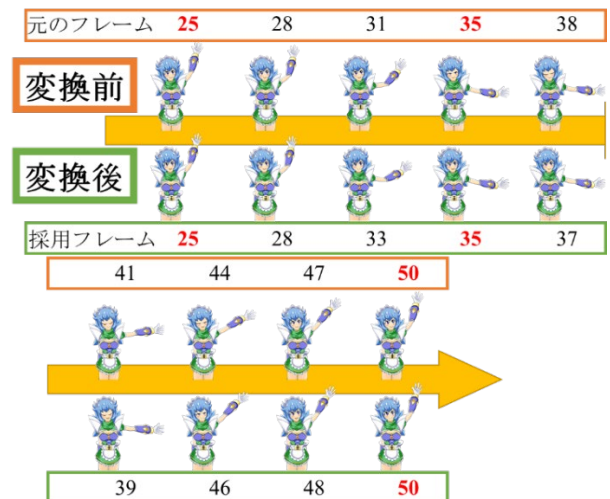


図7 フレーム毎のイラストの比較(一部)

4.2 口と目の開閉表現

分析を基に考えると、作画アニメの目と口の開閉は、「開き」「中間」「閉じ」の3つの形状で動きを表現するため、グラフで使用されるモーション値は、3つしか使われないことが条件であり、口の開閉の場合ランダムに値の移動がコマ打ちで移動、目の開閉の場合は3つの形状を示すモーション値が手法で定義したパターンの流れ通りに塗り替えられていることを想定している。

4.2.1 口の開閉

図8に口の開閉の変換前と変換後のモーショングラフ、図9にフレーム毎のイラストの比較（一部）を示す。想定通りグラフは3コマ打ちをしながら3つのモーション値をランダムに切り替えることに成功した。発話範囲を元のモーション値が変動する範囲としているため、タイミングのずれに関しても問題ないといえる。

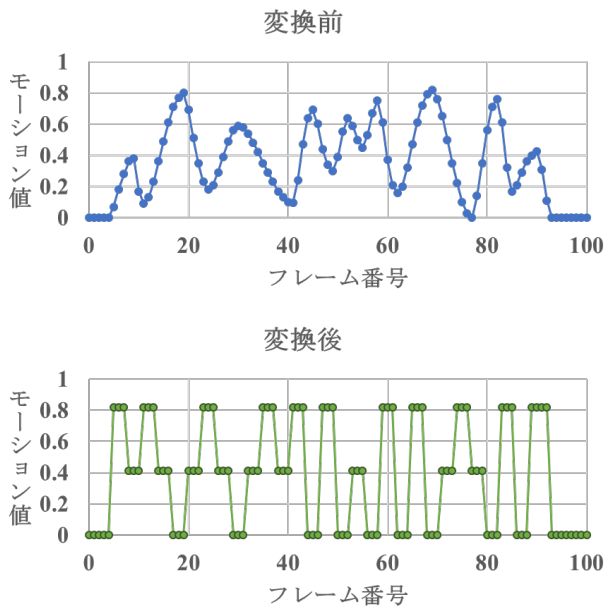


図8 口の開閉の変換前と変換後のモーショングラフ

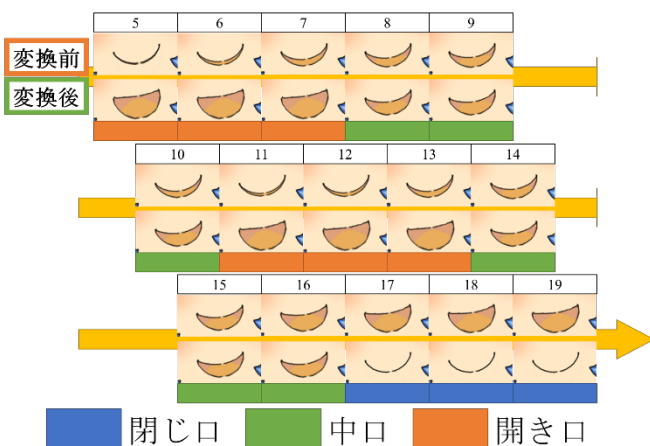


図9 フレーム毎のイラストの比較（一部）

4.2.2 目の開閉

図10に目の開閉の変換前と変換後のモーショングラフ、図11にフレーム毎のイラストの比較（一部）を示す。動きの変換は想定通りで「開き目」→「閉じ目」→「半目」→「開き目」の流れで塗り替えることに成功したと言える。元のモーションでは瞬きは2回行われているがそれぞれ速いものとゆっくりしたものに分かれている。変換後のグラフを見るとそれぞれの動作に対応したコマ打ちが行われており、瞬きのタイミングを考慮した変換を行うことができた。

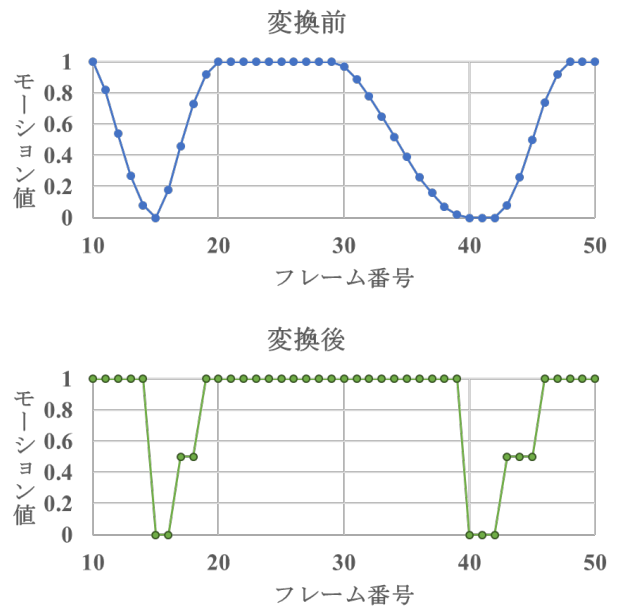


図10 目の開閉の変換前と変換後のモーショングラフ



図11 フレーム毎のイラストの比較（一部）

5. まとめと今後の展望

本研究は2Dスケルトンアニメーションの滑らかな動きを、簡略的で特徴のある作画風の動きに変換することを目指した。様々な調査から作画アニメの動きは「間引きの表現」と「口と目の開閉表現」に大きく分け、分析に基づいて手法の提案を行った。間引き表現の変換手法に関しては、

フレーム調整であれば3DCGで行われていた手法でも再現できるということが分かった。口と目の開閉表現に関しても想定通りのグラフを生成できたことで、作画風の動きを再現できたと言える。

今後の課題として、動きの表現には「間引き表現」と「口と目の開閉表現」に大きく分類したが、作画アニメ風の表現の幅を広げるためには、さらに細かい分析が必要になってくる。また、口と目の開閉表現に関しては「口の開閉」、「目の開閉」という頻繁に利用される代表的な物のみの実装しか行っておらず、「口の開閉」「目の開閉」とは言えないような作画アニメの口や目の例外的な動き、または他の口と目の開閉表現に関しては考慮していないので、再現できないことが挙げられる。口の動きに関してはランダムという解釈の基で実装を行ったので、口の動きの表現の幅を広げるには、音声の整合性も考慮する必要がある。目の動きに関しては、瞬き以外の目の動きにはどういった動きの表現があるか、より深い調査が必要になってくる。

参考文献

- 1) 森島 繁生, 栗山 繁, 川本 真一: キャラクタアニメーション制作の高能率化手法, 映像情報メディア学会誌, Vol.62, No.2, pp.156-160 (2008)
- 2) 森島繁生: CG キャラクタの存在感, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.14, No.1, pp.23-28 (2009)
- 3) Utsugi, K. et al: E-IMPACT: Exaggerated Illustrations Using Multi-Perspective Animation Control Tree Structure, Proc. 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, Article No.63 (2011)
- 4) 増田弘道: デジタルが変えるアニメビジネス, NTT 出版 (2016)
- 5) 今間俊博, 近藤邦雄, 栗山仁, 古家嘉之: メンタルモーションを活用したアニメーションの制作, 図学研究, Vol.38, No.2, pp.1-6 (2004)
- 6) 山本暎一: 虫プロ興亡記 安仁明太の青春, 新潮社 (1989).
- 7) 長聖, 佐藤尚: 古典的アニメを元にした CG アニメーションの中割り生成の検討, 図学研究, Vol.42, No.1, pp.99-102 (2008).
- 8) 黒田たから, 床井浩平: セルアニメーションに適したMOCAP データの編集手法, 情報処理学会研究報告グラフィックスとCAD, 2011-CG-144 (2011)
- 9) 北村真紀, 金森由博, 三谷純, 福井幸男, 鶴野玲治: リミテッドアニメ風表現のためのモーションタイミング調整法, 情報処理学会研究報告グラフィックスとCAD, 2013-CG-153 (2013).
- 10) 株式会社 Live2D: Live2D
<https://www.live2d.com/>