

# 3次元キャラクタモーション制作履歴データ事例に対する一検討

大森 葵<sup>1</sup> 向井 智彦<sup>1,a)</sup> 安藤 大地<sup>1,b)</sup>

概要：デジタルコンテンツ制作はデザイナーの試行錯誤的な熟練作業によって実現されており、その編集作業の履歴データが各スタジオのバージョン管理システムに蓄積されている。本稿では、そうした編集履歴データから有用な知見を得ることを目的として、アクションゲーム制作におけるキャラクタモーション編集履歴データ例を対象とする定性的分析結果を報告する。また、その分析結果を踏まえ、担当アニメーターの作業に即したバージョン管理システム利用法について検討する。さらには、編集履歴データの機械学習によるアニメーション品質判定に向けた、学習データ選択に関する知見について報告する。

## 1. はじめに

CGアニメーションの制作現場では、アニメーターが制作するキャラクタモーションを美術チーフや監督が繰り返しチェックすることで、高品質なアニメーションが制作されている。その際、SubversionやPerforceを初めとするバージョン管理システムや、インハウスのアセット管理システムを用いて制作データを管理する運用が普及しており、各種デジタルコンテンツの編集履歴データが各スタジオで蓄積されている。こうした背景の下で、本研究では実際のビデオゲーム開発の過程で蓄積されたキャラクタモーションデータの編集履歴データを分析し、美術チーフや監督の主観的な品質チェックを模倣するようなシステムの研究に取り組んでいる。具体的には、製品版に採用されたモーションアセットを正例、制作当初のアセットを負例とするような機械学習を通じて、ディレクターの品質判定基準を近似する分類手法や、品質向上において着目すべき特徴を同定できるような自動システムの確立を目指している。

ここで、実制作現場で蓄積されたデータは、そのままの状態では必ずしも機械学習に適していないため、いわゆる外れ値などを除外するための目視を通じた精査が必須である。本研究でも、アクションゲームのアニメーション制作履歴データを対象に、学習に適したデータを精査する作業を行っている。その際、バージョン管理システムに蓄積されたアニメーションデータから、担当アニメーターに特有

のアセット管理手順がみられた。つまり、いわゆるプログラムコードや文書データに対するバージョン管理システムの一般的な用途とは異なる利活用を試みる様子が確認された。具体的には、制作ソフトウェアが備えている変更履歴管理機能と、バージョン管理システムのファイル差分保存機能を適宜組み合わせ使用していた。さらに、その組み合わせ手順を必ずしも一貫させておらず、デザイン作業を最大限に効率化しよう工夫されていた。これは、既存のバージョン管理システムが主にプログラムコードや文書などを念頭に設計されていることが一因と考えられる。すなわち、デジタルコンテンツの作成においては、途中でゼロからの作り直しや、複数の素案を作成した上で1つのみ選定するなど、比較的大きな試行錯誤を伴うことが常である。そのため、そうした試行錯誤的なアニメーターの作業に即したバージョン管理システムの利用手順の提案、あるいは新たな編集履歴管理法の検討が必要であると考えられる。

そこで本稿では、機械学習のための学習データ整備を主目的とした精査作業を通じて得られた、アクションゲームにおけるアニメーション編集履歴データに対する定性的分析の一例について報告する。まず、CGアニメーション制作では途中で履歴をいったん破棄するような大幅な変更や、微修正を積み重ねるような編集を試行錯誤的に繰り返す過程についてまとめる。その上で、アニメーターの制作手順に即したアセット管理法や、アニメーション品質判定を目的とする機械学習に適した学習データの選択方法について検討する。以上、本稿の学術的貢献は下記の通りにまとめられる。

- 実制作現場で蓄積されたアクションアニメーションの編集履歴例を対象とした、変更過程の詳細な分析

<sup>1</sup> 首都大学東京システムデザイン学部

a) tmki@acm.org

b) dandou@tmu.ac.jp

- 試行錯誤的に制作されるアニメーションデータに対する機械学習の適用についての検討
- 分析結果を踏まえた、担当アニメーターに適したバージョン管理法の考察

なお、本稿では約 20 段階と 40 段階の編集過程をそれぞれ含む 2 種類のデータについての分析結果についてのみ詳述する。したがって本稿で述べる結果は、必ずしも任意種類のアニメーションや、制作者全般に対して一般化できないが、今後もそうした少数のデータを着目した事例研究を蓄積し、いずれは広範なデータに共通する分析に展開していく計画である。また、今回の分析を踏まえて考察する、モーション編集作業に適したアセット管理法についても、まずは履歴データ制作者のフィードバックを得ながらテラーメイド型で開発した上で、いずれ一般化に取り組む予定である。

## 2. 関連研究

デジタルコンテンツの編集履歴管理システムに関する研究は、プログラムやテキストなどの文書データについては古くより取り組まれているが、絵画や 3 次元 CG などのバイナリデータに関する研究は比較的少ない。例えば、デジタル画像のバージョン管理手法 [1] では、有向グラフを用いて変更履歴を GUI 上に表示し、その上で履歴のマージや復元を可能としている。また、3 次元ポリゴンモデルのコラボレーション制作システム [2] では、多くのデザイナーの編集履歴データを共有することで効率的な制作を可能にする方法を提案している。本研究では、これらの先行研究では扱われてこなかった 3 次元 CG キャラクタのスケルトンモーションデータを扱う点と、実制作現場で実際に蓄積されたデータセットを分析対象として扱うという 2 点で新しい取り組みである。なお、今回の分析においても、有向グラフを用いて編集履歴を可視化し、その観察を通じて定性的分析を行った。

また、スポーツや舞踊などの技能発達過程における人体動作を収集し、その統計分析を通じて技能向上のための知見を得ようとする研究も行われている [3], [4]。こうした先行研究の知見は CG アニメーション編集履歴の分析にも有用であると考えられる。しかし、人体運動技能では、練習とコーチングの積み重ねによって技能を向上させていくという仮定をおくことが多いため、途中で大きな編集が加わるようなアニメーション編集履歴にそのまま適用することは難しい。したがって本研究では、まず目視を通じて各履歴データの詳細を分析したうえで、こうした統計解析法の適用を検討するという手順を採用する。

## 3. モーション編集履歴データの定性的分析

### 3.1 編集履歴データ

分析には、実際のテレビゲーム制作現場で 3 次元 CG

キャラクターのアクション動作制作の際に蓄積された編集履歴データ 2 種類を使用する。いずれについても、実際に製品に採用されたモーションは履歴の一番最後のモーションのみである。また、今回使用されている制作ソフトウェアには「テイク」と呼ばれる変更履歴管理機能が存在する。これは、映像撮影の際に同一カットの撮影を何度も行う「テイク」のように、モーションに編集・改良を重ねていく際にその編集履歴を残せるものである。今回分析したデータでもこのテイクの機能を利用しており、一つのデータが複数のテイクを保持している。なお、データの中には履歴データだけでなく編集の際につけられたメモも含まれているが、メモの内容は簡易的かつ制作陣にしか伝わらない用語が多様されているためメモを見ただけではどのような編集が加えられているのか理解することは難しかった。

これらのデータに対し、今回は各履歴データの履歴の古いものから順に、目視で特徴を書き出しながら分析を行った。すなわち、各データのすべてのテイクを分析し、各データやテイク間にどのような関連性があるのかを有向グラフとして可視化したうえで、その特徴を分析した。

### 3.2 4 連キックコンボ動作

4 種類のキックを連続して行うコンボ動作を作成しておりその履歴数は 22 個である。4 種類のキックは横蹴り = K、回し蹴り = KK、上方向に蹴り = KKK、高くジャンプしながら蹴り = KKKK と名前がつけられておりこれらの 4 種類の動きが履歴の中で並行して作られている。制作ソフトウェアのテイクの機能を利用してそれぞれのテイクに K, KK などの名前をつけることで、一つのデータの中で 4 種類の動きを並行して制作している。下記の図は履歴データ内の各モーションの関連性を示した図である。左の数字が履歴の順番を表し 1 が履歴上最も古く初めに制作されたデータ、22 が実際に製品として採用された完成のデータを表す。また、それぞれの横に並ぶ四角はデータ内のテイクの名前を表している。実線の矢印は細かな修正を行なっている類似性の極めて高いデータ同士を結び、破線の矢印は類似性はあるが何かしらの大きな変更があったデータを結んでいる。

**履歴データ 1~4** 履歴データ 1 では二種類のキックを制作している。TM010 は、両足を肩幅より広く開いた状態から右方向に横飛びした後に、左足を右足に引きつけながら右足を上方向にキックする動き、Take1 は、右足を軸に反時計周りに回転しながらジャンプすると同時に左足を上に蹴り上げる動きを制作している。データ 2 では TM010 に大きな変化はないが、Take1 のジャンプの高さが大幅に変更されている。データ 3 では新しく a というテイクが追加されている。TM010 は、これまで上方向にキックしていた部分が横蹴りに変更されている。またキック前の体勢もこれまでとは 180 度反対方向を向いている。a はそれま

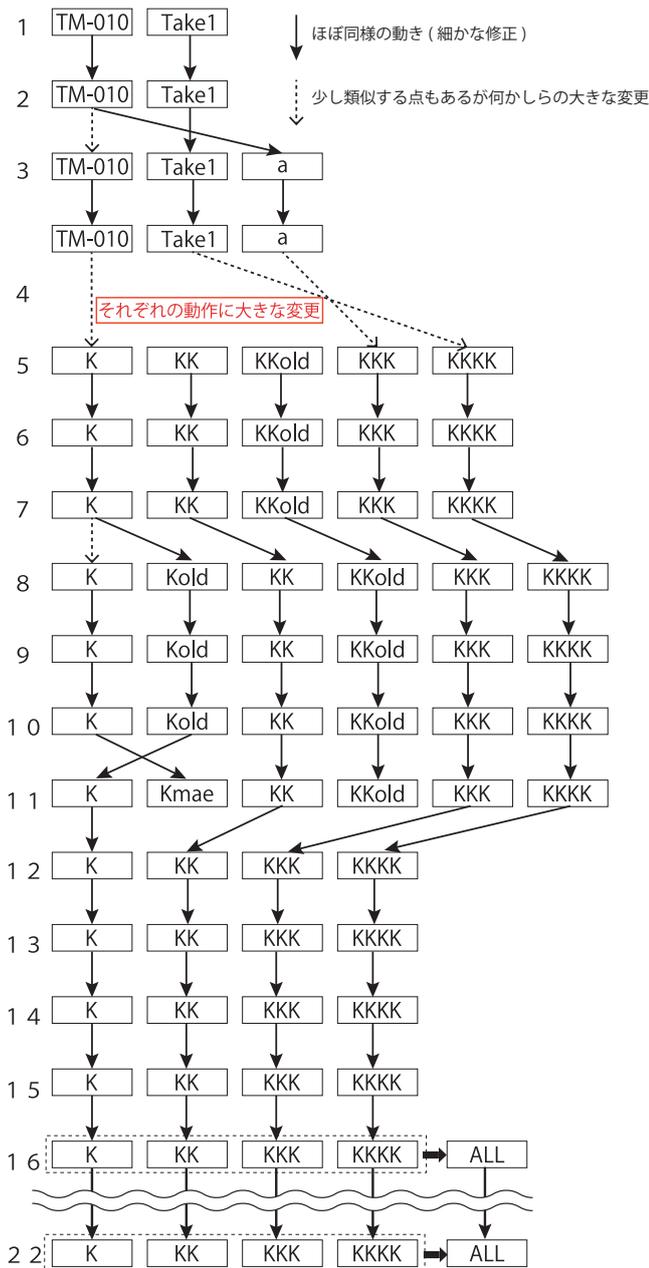


図 1 4 連キックコンボ動作の編集履歴

での TM010 とほぼ同様の動き (=上方向に蹴り) をしており、これまでの TM010 の名前が a に変更されたことと捉えられる。データ 4 では大きな変更はないが Take1 の着地後の体勢に変化が成されている。

**履歴データ 5** データ 4 まででは、TM010=横蹴り、a=上方向に蹴り、Take1=ジャンプしながら蹴りという三種類の動きを作成しそれぞれに細かな編集が加えられている。しかしデータ 5 ではテイクの名前が大きく変更され、モーションもキックの動きにはそれまでのデータと類似性があるがキック前後の動きがそれぞれ大きく変化しており、全体に大きな編集が加えられていることがわかる。また、テイクの数も 3 個から 5 個に増え、KK、KKold という名前

でそれまで存在しなかった回し蹴りのモーションが加えられている。データ 5 で新たに作成された 4 つのテイクについてそれぞれ詳述する。

- K は、キックの高さや全体の動きの流れは TM010 に類似しているがキック前後の動きやキックそのものにもかなり変化がある。具体的には、K では動き始めに左足を軸に反時計回りに半周回転する動きが加えられており、キックの際にも一度足を体に強く引き付けてから勢いよくキックを行なっている。
- KK は、右足を軸に左足で前蹴りを行うというそれまでは存在しなかった新たな動きを制作している。また KKold も KK と同様に蹴りを行なっているが大きな違いとして KKold では左足で後ろ蹴りを行なっているため KK とは回転の方向が異なる。それ以外のキックに至るまでの動きなども KK と KKold ではかなり異なる。
- KKK はキックから着地以降の動きが a と類似しているがキックに至るまでの動きが全く異なる。KKK では a で存在した横飛びの動きはまったくなく足を前後に開き両膝を深く屈伸させ上体を右方向に大きく捻る動きになっている。キック後の動きは a に類似している。
- KMKK はジャンプから着地以降の動きが Take1 に類似しているがジャンプに至るまでの動きが全く異なる。両足を軽く開いた状態から両膝を深く屈伸させ、特に右膝は内側に倒し地面まで近づける。そこ右足を伸ばして立ち上がりつつ右足を軸に反時計回りに回転しながらジャンプする。これ以降の動きは Take1 と類似している。

データ 5 以降ではしばらくそれぞれのデータに大きな変化はなく、足の開き方の違いや、飛距離、動きの速さなどの細かい修正が為されていく。

**履歴データ 8~11** データ 8 では新たに Kold というテイクが追加されると同時に、K のキックの動作に大きな変更が成される。K では、キック時に状態を少し丸め右膝を顔の近くまで引きつける動作が追加される。その後キックの高さはこれまでの K と変わらないが横蹴りではなく前蹴りをし、その際に両手をまっすぐ頭の上に伸ばしながら上体を後方へまっすぐ倒すよう変更される。キック後の動作はこれまでの K と同様である。Kold はそれまでの K とほぼ同様の動き (=横蹴り) をしており、K が新しい動きに変更されたためこれまでの K の名前が Kold に変更されたことと捉えられる。しかし、データ 11 では K、Kold それぞれの名前が変更され、Kold は K に戻り K は Kmae に変更される。

**履歴データ 12~22** データ 12 では Kmae、KKold の二

つのテイクが削除されK, KK, KKK, KKKKの4個のテイクに絞られる。これ以降は大きな変更は無くこの4種類の動きに細かな修正が加えられ完成形へと向かっていく。

以上の分析をまとめると、データ1~4では様々な変更を加えながらK, KKK, KKKKの元となる3種類の動きが作られているがその動きは5で大幅に改変されている。データ5以降はそれぞれの動きに大きな変更はなく細かな修正を繰り返しながら複数の案を徐々に絞り完成系に近付いている。つまり、データ1~4は試行錯誤をしながら最終イメージを固めている段階で、データ5で最終イメージが固まりそれ以降は品質向上のための細かな修正作業が行われていることがわかった。

### 3.3 4連複合技コンボ動作

銃を使った状態での4種類の構えの動作を連続して行うコンボ動作を作成しておりその履歴数は40個である。4種類の動きは左手を前に突き出す=1st, 回転しながら右手で裏拳=2nd, 左手でアッパー=3rd, 回転しながら右手を振り下ろす=4thと名前がつけられておりこれらの4種類の動きが履歴の中で並行して作られているが、キックコンボ動作以上にそれぞれの動きの展開が複雑になっている。キックコンボ動作同様テイクの機能を利用しそれぞれのテイクに名前をつけることで、一つのデータの中で複数の動きを並行して制作している。下記の図はそれぞれのデータの関連性を表した図である。

データ1~15までは大幅な変更やデータ内容の一新が度々行われており、データ16で最終イメージが固まり、以降品質向上のための細かな修正作業が行われている。キックコンボ動作に比べ作られているモーションの数がかかなり多く複雑だが、最終的に製品版として採用されているデータ40ALLに関係性のあるモーションは非常に少ない。最終イメージが固まるデータ16のNewはデータ12のNewとデータ9のNewからそれぞれ一部を抜粋して組み合わせた動きである。データ9のNewはMW\_05\_033, TM007.2, MW\_05\_37の3個の動きと類似性の高い動きを組み合わせた動きであり、データ12のNewはデータ10のNewに修正が加えられたものである。以上からデータ40ALLに関係性のあるモーションはMW\_05\_033, TM007.2, MW\_05\_37, データ10~12のNewのみであり、それ以外の多くのモーションも品質向上に向けた細かな修正が加えられていたが途中で制作から外れていることがわかる。また、Take001というモーションが履歴データ1からデータ33まで完全に他のデータから独立し、膝の屈伸の角度の調節などの細かい修正が成されていたが、途中で消滅し最終的に使われることがなくその有用性については推測する事が出来なかった。以下に各データの細かい説明を記す。

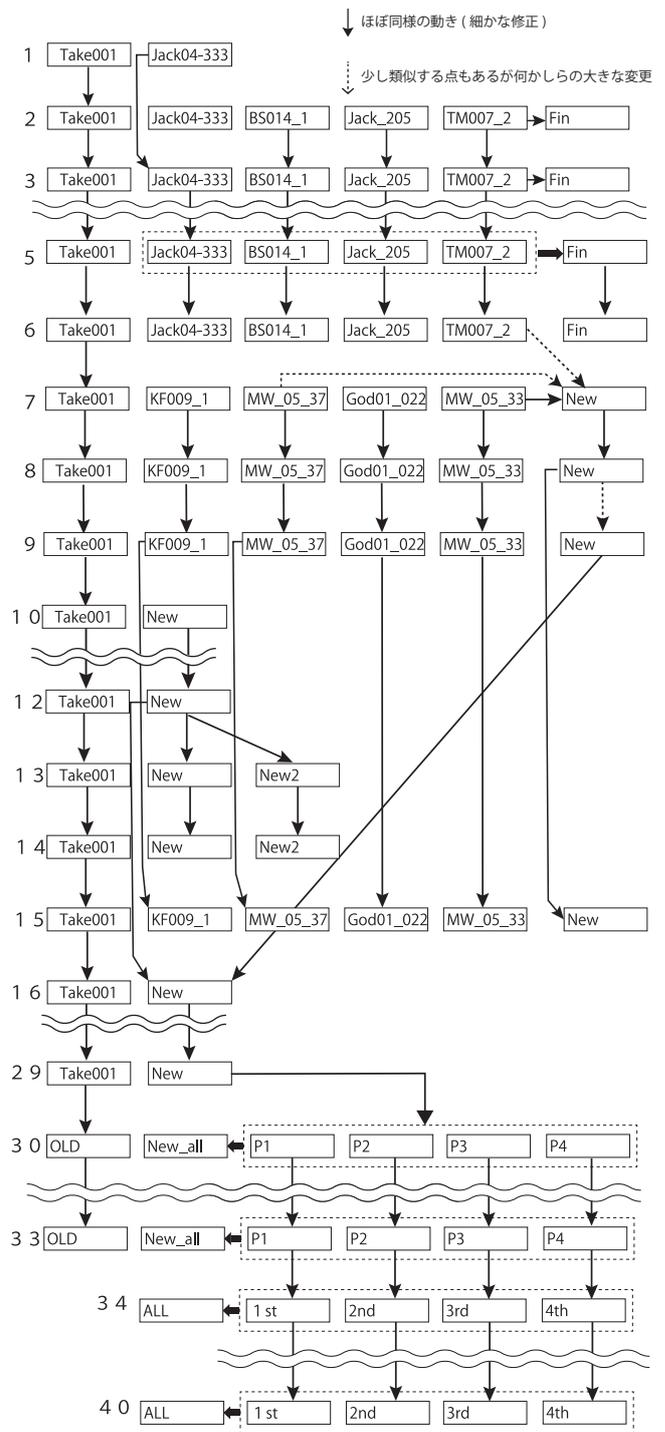


図2 4連複合技コンボ動作の編集履歴

**履歴データ1** 履歴データ1では二個のテイクが作成されている。Take001は4種類のポーズを連続して行うコンボ動作である。

- (1) 左足を小さく前に出した状態から左膝が地面に着くまで屈伸し、右足は大きく前に踏み出す。この時右足と同時に左手も前に出す。体全体を左に捻り、左手を腰元まで戻しつつ一気に右手を前に突き出す。
- (2) 1の状態から一度立ち上がりつつ左足を大きく一步踏み出し体は反対側を向き、同じくらい屈伸し、手は左

手を一気に前に突き出し右手は腰元まで戻す。

- (3) その後、左腕を時計回りに空中で一周回し同時に右手は右肘を耳のあたりまで高く突き出す。足は右足が左足の後ろに来るように大きく両足をクロスさせる。
- (4) 右回りに回転し体の向きを 180 度変え、右足を大きく一歩前に踏み出した状態で終了、両手は肩の高さに広げ大の字のような状態。

なおここから履歴データ 29 まで Take001 に大きな変更は加えられず細かな修正のみ加えられ続ける。Jack04.333 は、両手を顔の前でクロスさせるポーズから左足を大きく踏み出し右手を後ろに下げた後、野球のピッチングのような動きで右手を振り下ろす単体の動作である。

**履歴データ 2～6** データ 2 では新たに 4 つのテイクが加わる。Jack04.333 は Take001 の (4) のポーズの状態でも静止して動かないデータに変更されているがデータ 3 以降はデータ 1 の Jack04.333 と同様の動きに戻る。BS014.1 は、左足を少し前に踏み出し両腕は胸元でクロスした状態から両足の形を維持したまま小さく前にジャンプしつつ右手で肘を曲げたまま下から突き上げるようなアッパーカットが制作されている。Jack205 では両足を肩幅まで開き両腕を下に無気力に下げた状態から両腕を一度右後ろに下げた後、左足を少し踏み出しつつ両手を一気に前に突き出す動きを制作している。TM007.2 では左足を少し前に踏み出し体全体が右を向き顔だけ正面を向き両腕は胸の前で構えた状態から始まり、左足を軸に時計回りに 180 度回転しその回転の勢いで右手で思いっきり裏拳をする動作を制作。Fin は TM007.2 とほとんど変化のない動きが制作されている。これ以降はしばらく大きな変更はなくパンチをする手の左右が変わる、足の開き具合に変化があるなどの細かい変更が重ねられる。またデータ 5 では Fin が BS014.1, Jack04.033, TM007.2, Jack.205 の動きを繋げたものに変化する。しかし、データ 6 の Fin はそれぞれの上半身の動きを大袈裟に動かして繋げたものになっているため、データ 6 内の別テイクの動きをただ繋げたものではなく Fin として独立してデータ 5 から成長していると考えられる。

**履歴データ 7～9** データ 6 までは、6 種類のテイクが作成されそれぞれに細かな編集が加えられていた。しかしデータ 7 ではテイクの名前も大きく変更され、モーション自体も類似性がほとんどない新しいものとなっており、これまでのような細かい編集を加えるのではなく全体に大きな編集が加えられていることがわかる。KF009.1 では、両足を肩幅に開き左足を一歩前に出した状態から始まり、右足を前に踏み出しながら右手を前に突き出し左手は頭上の位置でひじを曲げ左後ろへ回す。その後少し膝の屈伸を戻しつつ左手を右手の近くまで持って行き両手首をクロスさせた状態にする動作が制作されている。MW\_05.037 では、

右足を一歩前に出して、両手首は顔の前でクロスさせた状態から右足を前に踏み出しつつ左腕を腰元まで下げて一気に左手でパンチする動作が作られている。God\_01\_022 は、右足を一歩前に出し左から後ろを振り返り右手で後ろに向けて銃を構えて動かない状態で静止している。MW\_05\_033 では、左足を一歩前に出し、両手を顔の前でクロスした状態から全身を右方向に捻り左膝が地面につくまで屈伸して真後ろを向く。その状態から一気に前に向き直りそのまま右手を前に突き出しパンチする動作が制作されている。New では 4 つの動きを連続して行うコンボ動作を作成している。

- (1) はじめの動きは MW\_05\_033 に非常に類似しており一度後ろを振り返った後に右手でパンチの動作をする。
- (2) その後左足を軸に時計回りに回転しその回転の勢いで右手で思い切り裏拳を行う。TM007.2 に腕の伸ばし具合や回転の速度などが類似しているが TM007.2 に比べ回転の際に重心を低くしている点が少し異なる。
- (3) その後右足を前踏み出した状態のまま少し前にスライドし左手で腰元から一気にパンチを行う。
- (4) 腰元からパンチをする点で動きが少しだけ MW\_05\_037 に類似しているが、パンチの勢いや足の開き具合などはかなり異なる。その後、大きく左足を一歩踏み出し左腕を正面斜め上に、右腕を正面斜め下に伸ばした状態で終了。

次のデータ 8 では God01\_022 がデータ 7 の状態から右足を軸に時計回りに回転しながら回転の勢いそのまま右手で軽く裏拳をするように変化している。同じ裏拳という意味では TM007.2 と同類だが、TM007.2 に比べると足の動きも手の動きも軽く、手を振り払うくらいの動きのためあまり類似性が高いとは言えない。God01\_022 以外のテイクもデータ 7 以降は細かな変更・修正を重ねていく。データ 9 では New の (1) の動きに変化が、それまでは全身を右に捻ってから右手でパンチしていたが、データ 9 では全身を左に捻り、左手を前に突き出してパンチして (2) の動作へと繋がっていくように変化している。

**履歴データ 10～15** データ 10 ではテイクの数が Take001 と New の 2 個になり、New の動きもまた新たな 4 種のコンボ動作に大きく変更される。両膝を屈伸させつつ左足を少し後ろに下げ上体を右に捻り、屈伸する。腰を落としたまま左足を一気に大きく前に踏み出し同時に右手を正面に突き出してパンチし左手は後ろにまっすぐ伸ばす (1)。その後左足を軸に時計回りに 360 度回転し、足を大きく開き腰を低く下ろした状態で左手を正面に突き出す。その際右手はうしろにまっすぐ伸ばす (2)。その後、右膝を内側に倒しながら右手を前に、左手を後ろに持って行き、右足を前にスライドさせ正面に右足を伸ばしながら左手で一気に横からパンチ (3)。その後立ち上がった勢いでジャンプし

つつ右足を軸に反時計周りに360度回転、右足が少し前に来るように着地し、着地と着地と同時に右手を上から振り下ろしてパンチをする(4)。以降データ12までこれら2つのテイクの細かな修正が繰り返される。データ13ではNewがNewとNew2の二つのテイクに派生する。Newでは、それまでのNewの(2)の動きに変化がある。(1)の後、左足を軸に180度回転し、右足を前に出した状態に。左手も右手も前に突き出さず腰元へ持って行き(3)に繋がる。New2は、データ12のNewに類似しているが、Newの(3)と(4)の動きが入れ替わったものになっている。データ15ではテイクの数が6個に戻る。NewとTake001以外のデータはそれぞれ全てデータ9のものと同様に類似しており微妙な編集が加えられる。Newはデータ8のNewの状態に戻り、データ10以降で作られていたものは無くなる。

**履歴データ16~40** データ16では再びテイクがTake001とNewの2個に減る。またNewのモーションにも変化があり、(1)~(3)まではデータ9のNew(1)(2)(3)に類似し、(4)はデータ12のNew(4)に類似したものになっている。その後データ29まで大きな変化はなく、全体的に動きが大袈裟な動きに変更される、ジャンプの高さが変わるなど細かな修正が加えられていく。データ30ではテイクの数が6個に増え、それぞれのテイクの名前も変更される。これまでのTake001はOLDに名前を変え、NewはNew\_allに名前を変える。またP1, P2, P3, P4はNew\_allの4つのコンボ動作を一つずつにバラしたものとなっておりP1=(1), P2=(2), P3=(3), P4=(4)を表している。データ34ではTake001がなくなり、New\_allはALLへ、P1は1stへ、P2は2ndへ、P3は3rdへ、P4は4thへ名前を変える。ここから最後のデータ40まで大きな変化はなくこの4種の動きに細かな修正が加えられ完成形へと向かっていく。

## 4. 考察

今回のモーション制作過程の分析を通じ、制作着手からしばらくは大幅なデータ改変をしながら試行錯誤的に最終イメージを探っている様子が確認された。一方、最終イメージが固まった後は、細かい修正を漸次的にしながら全体の品質を高めていく作業工程も観られた。こうした場合、SubversionやGitなどであれば、試行錯誤的な作業は複数のブランチとして管理し、それぞれのブランチで微調整をコミットするような手順が適していると考えられる。ただし、制作履歴に含まれない全く新しいデータで置き換えるような作業を、ブランチ作成と呼称できるかについては議論の余地が残る。今後は、新たなバージョン管理システム開発の必要性も含めて検討を進める。

また機械学習の学習データ選定においては、制作当初のデータと最終版ではモーションの意味的にも全く異なる可

能性が高いため、2つのデータ間の差異に着目するような定量的な比較は難しいと考えられる。したがって今後は、最終版に至るように微調整を重ねていると考えられる履歴データのみを対象とし、試行錯誤の過程は学習データから省くような機械学習を考えている。

しかし、4連複合技コンボ動作においては、大幅なデータ置き換えと数段階の微修正を繰り返す様子がみられた。言い換えれば、ボツにした履歴の中にも品質向上を図る作業過程が含まれており、モーションの自動品質判定において有用である可能性が高い。しかし、学習の正例と不例のいずれに属するかという情報、すなわち製品利用に足る品質であるかという情報が欠けているという大きな問題がある。今後は、半教師付き学習の知見などを応用し、正例・不例の自動推定を行う仕組みについても検討する。

さらには、本来は試行錯誤の過程にこそコンテンツの品質を左右する重要な要因があると考えられる。例えば、熟練したアニメーターと初学者の間には、試行錯誤の方法や手順に大きな差異がある可能性も考えられる。将来的には多種多様なアニメーターの編集履歴データを対象として、制作プロセス全体および最終的な制作物の品質の差異を分析・学習できるような技術に展開したい。

**謝辞** アクションモーション編集履歴データはプラチナゲームズ(株)より提供を受けた。本研究はJSPS科研費15H02704の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Chen, H.-T., Wei, L.-Y. and Chang, C.-F.: Nonlinear Revision Control for Images, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 30, No. 4, p. Article No.105 (2011).
- [2] Salvati, G., Santoni, C., Tbaldo, V. and Pellacini, F.: MeshHisto: Collaborative Modeling by Sharing and Retargeting Editing Histories, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 34, No. 6, p. Article No. 205 (2015).
- [3] 崔 雄, 関口博之, 鶴田清也, 八村広三郎: モーションキャプチャを用いた日本伝統舞踊における歩行動作の特徴量抽出, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 71, pp.393394 (2009).
- [4] 八村 広三郎 園田 真史: モーションキャプチャデータからの特徴抽出による舞踊動作のセグメンテーション, じんもんこん 2006 論文集, pp. 173180 (2006).