

2002年度卒業論文

「モーション・キャプチャ・データに対する演出技法及び編集範囲選出についての研究」

指導教員：渡辺 大地

メディア学部 リアルタイム3DCGカーネルプロジェクト

学籍番号 99p363

平井 健夫

2003年3月8日

2002年度 卒業論文概要

論文題目

「モーション・キャプチャ・データに対する演出技法及び編集範囲選出についての研究」

メディア学部
学籍番号: 99p363

氏名

平井 健夫

主査

渡辺 大地 講師

副査

和田 篤

キーワード

モーション・キャプチャ, 運動学, 動作編集, 演出

近年、モーション・キャプチャ・データを力学などの様々な技術に基づいて編集する技術が研究されている。しかし、力学などに基づく動作解析はモーション・データを他の動作へ変形する研究に利用されているが、動作解析などを編集方法・編集範囲のような編集作業を援助する情報の選出には利用されていない。従来、編集作業はアニメーターの熟練した技術に頼りながら行っているため、編集作業の効率を向上させるためには、それらの情報を即時的にユーザに提供する必要がある。そのため、モーション・キャプチャ・データを編集する際の演出に着目し、演出を行うべき動作とその編集範囲について判別することを研究する。

本研究で扱う演出はテイクバック、運動の順次性、動作のメリハリ、動作の速度の4つで、主に動作の勢いを演出するものである。それぞれ、演出を適用できる動作、編集範囲を選出する。各演出の判別条件を作成するために、スポーツ運動学や編集される動作の特徴などを用いた。

また、1つ1つの動作を区別するためにグラフの極値を動作開始フレームとして扱っているが、モーション・データには様々なノイズがあり、それらを動作開始フレームから除外するために、ノイズの判別も行う。

目次

第1章	序論	1
1.1	はじめに	1
1.2	効果・利点	3
第2章	演出の概要と適正判別	4
2.1	テイクバック	4
2.2	運動の順次性	7
2.3	動きのメリハリ	9
2.4	運動の速度編集	11
第3章	動作開始フレーム選出とノイズ除去	14
第4章	演出ごとの結果と考察	16
4.1	テイクバック動作の判別結果と考察	16
4.2	運動の順次性の判別結果と考察	16
4.3	動きのメリハリをつけるべき動作の判別結果と考察	18
4.4	速度編集範囲の判別結果と考察	19
4.5	評価と考察	19
第5章	展望	21
謝辞	22
参考文献	23

第1章 序論

1.1 はじめに

アニメーションにおいて投げられたボールを早いと実感する要因はボールの速度だけではない。同じ速さのボールでも投げる者のフォームの速さやタイミング次第でその実感される速度は大きく変わる。これら動作の見え方を目的の動作に近づくように演出するには、動作のタイミング、速さなどを編集することが必要である。

アニメーションの編集はアニメーターの熟練した技術によって行われている。キャラクターのアニメーションを編集する際には多数の関節、および軸（ x 、 y 、 z の3軸）でどのような動作が行われているかを判断し、編集方法を決定する。また、速度・加速度のようなグラフから直接には読み取れない情報もアニメーションにおいては重要な要素である。そのため作業効率を向上させるためには、それぞれの関節の動作に対し適した演出や編集範囲（時間と関節）などのようなグラフからは単純には読み取れない情報を提供することが必要である。

近年3DCGアニメーションの制作において、モーション・キャプチャが広く用いられるようになってきた。モーション・キャプチャ・データ（以下、モーション・データ）はキャプチャ・スタジオの環境や身体能力などの要因からアクターの行えない動作がある。また、モーション・データを再び他の作品で利用することにより制作コストを下げるなどが望まれている。そのため、モーション・データから他のアニメーションを作成するために、様々な技術に基づいて変形・編集する手法が研究され、また開発が望まれている。

モーション・データを計測時とは異なる条件に適用させるために変形する手法としては次のようなものが提案されている。Gleicherらの身体的な特徴が異なるキャラクタに動作を適合させる手法[1]、歩行動作の足跡を任意に調整する手法[2]、Popovicらの重力や質量など環境の物理的变化に対して動作を変形する手法[3]などである。また、栗山らによる神経生理学や動力学によるシミュレーションも行われている[4]。モーション・データを編集する技術としてはWitkinらが提案した、モーション・データをキーフレーム・アニメーションのグラフのように編集する「Motion Warping」[5]などがある。

これらの研究では動作解析などを行うことによって、モーション・データを他の動作へ自動的に変形させることは可能となりつつあるが、演出の選択や編集方法の決定などの編集作業を援助する情報の選出には利用されていない。

本研究ではスポーツ運動学などによる動作解析によって、アニメーターが編集する上で必要な情報をモーション・データから自動で選出するための研究である。モーション・データを編集する上で重要と思われるいくつかの演出ごとに、モーション・データに対し有効と思われる時間、および関節を自動で選出することにより、モーション・データ編集を援助するものである。判別される演出はテイクバック、運動の順次性、動作のメリハリ、動作の速度の4つで、主に動作の勢いを演出するものである。3DCGアニメーションを作成する際に動作の原理などから確立された手法であり、その編集方法は速度と動作の開始タイミングなどである。また、本研究で扱うモーションデータの編集は、動作開始地点、終了地点、動作中でのわずかな時間における動作タイミング、速度の編集であり、動作自体を変更するものではない。

研究に使用したモーションデータはBVH形式（関節の角度データ）で記録されたものであり、1フレームあたり1/30秒である。また、1つ1つの動作を区別するためにグラフの極値を動作開始フレームとして扱っている。図1に動作開始フレームの時間を赤線で示す。

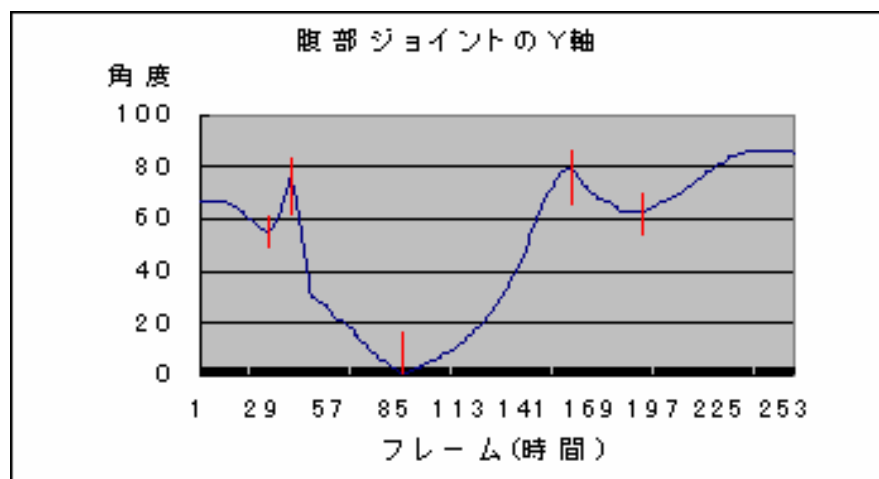


図1．動作開始フレームの位置

1.2 効果・利点

人間などのキャラクターの動作をデータとして保存する形式は主に2つある。1つはモーション・キャプチャによってすべてのフレーム（時間）におけるすべての関節の角度または位置データを保存する（キーを打つ）方法である。2つ目は動作を作成する上で重要と思われるフレームにだけ関節の角度または位置を設定する（キーを打つ）、キーフレーム・アニメーションとよばれるものである。

モーションデータを再利用する技術の1つに、モーションデータをキーフレーム・アニメーションのデータのように対話的に編集する手法があるが、本研究では全フレームに関節のデータを設定した動作の編集を対象としている。この条件での編集はデータ容量が大きい、モーション・グラフを見たときにノイズが多い、3DCGソフトの編集機能がキーフレーム・アニメーション中心であるなどの問題点もある。

しかし、各関節の動作開始タイミングや速度の編集はキーフレームから離れた位置を編集する必要がある。モーション・データは全フレームにキーが設定されているため、どの時間帯でも編集範囲として自由に扱えるという利点があり、編集範囲をフレーム単位で選出する。

モーション・データの編集では細かい作業と多くの手順を踏むため動作分析に即時性が求められるが、本研究ではモーション・データの動作分析を時間、速度などの分析のみによって行うという利点がある。

第2章 演出の概要と適正判別

モーション・データの編集では様々な演出がある。動作の速度などを編集し動作の速さなどの勢いを演出するもの、動作の止まっている時間に対する演出、動作の間の演出などである。

本研究では速度や加速度などの少ないデータからユーザを援助するための情報を得るといふ考えから、演出動作の勢いに関する以下の4つの編集とそれぞれのもつ代表的な演出に注目した。それぞれの演出ごとにスポーツ運動学や編集する動作の特徴などから判別条件の仮説を立て、その編集の適正箇所（関節、動作、時間）を選出する。

2.1 テイクバック

運動の勢いは開始動作でその狙いをはっきりと表現できる。相手を倒すパンチなのか、けん制のジャブなのかを表現する上でとても重要な部分である。テイクバック開始動作の勢いを演出することで、動作全体の勢いの印象を演出することができる。

テイクバックの演出は、テイクバック動作自体の速度編集である。動作開始フレームからその数フレーム前までの動作速度を任意で編集する。速度を速めることで動作の見た目の勢いを強めることができ、その編集範囲の候補となる時間帯を図2に水色の線で示す。

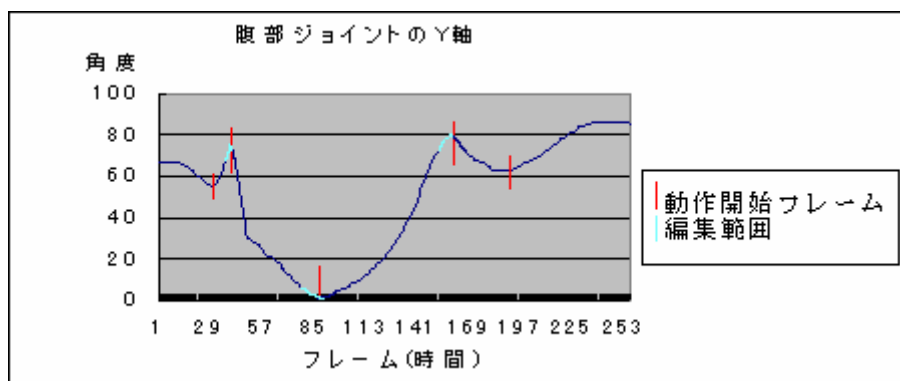


図2 . テイクバック動作の編集範囲

テイクバックは主にスポーツなどの動作で行われるため、本研究ではスポーツ運動学に基づいてテイクバックを以下のように定義する。

運動の多くはより強い力を得るといふ目的があり、そのために人間は様々なものを利用

する。その主要なもの1つにテイクバック（予備動作）がある。テイクバックとは目的の動作（以下、主動作）の前に逆方向へ一時戻すことであり、反動をつけるなどと呼ばれる[6]。

テイクバックが行われているかどうかを判別するための条件を作成するために、次のようなテイクバックの運動学的特徴に注目した。

テイクバックは動作をするにあたって、その直前に主動作とは逆方向へ曲げて諸筋群を引き伸ばし緊張させておくことによって内部抵抗を減少させ、活動水準を高めることである。テイクバックの時点から主動作方向への運動の作用があり、動作の開始から運動速度が速く、最大速度もより大きいものを得ることができる。また、テイクバックの効果は関節の曲げる角度とその速度によって定義される[7][8][9]。だが、角度の変化よりも速度の変化のほうが大きく、運動の効果に重要とされるため、テイクバックの判別の際には速度のほうに重点を置く。

テイクバックの運動学的特徴から、仮説として次の4つの判別条件を作成した。

- ・逆方向への運動から主動作開始までの時間が短い
- ・主動作開始から一定以上の速度・加速が認められる（動作開始時の内部抵抗減少のため）
- ・主動作は最高速度に達するまでの時間が短い
- ・主動作の最高速度が一般動作より速い

テイクバックを判別するために、テイクバックを実際に行っているモーションデータに対し上記4つの判別条件を照らし合わせ、用いることのできる条件を選出する必要がある。そのために、テイクバックの定義としての条件と、その条件によって選出された動作の中からテイクバックでないものを区別するための条件に分けて調査した。

まず、テイクバックの定義としての条件では、運動学的特徴と関係の深い「逆方向への運動から主動作開始までの時間」と「主動作開始からの一定以上の速度・加速」が挙げられる。しかし、「主動作開始からの一定以上の速度」では他の動作との明確な差を見つけることができず、また「主動作開始からの一定以上の加速」としては加速度はその時々で大きく変わるため、この2つの条件は使わないことにした。よって、「逆方向への運動から主動作開始までの時間」に対し、モーションデータから条件の詳細な数値を決定する（グラフ）。これはテイクバックの定義であるため、テイクバックすべてのデータ範囲に適合するように最大値をとる。この条件によってテイクバックを選出する事はできるが、テイクバ

ック以外の動作も選出されてしまう。主に運動時間の短い動作などに対し逆動作として誤って判別してしまう。この問題を直接解決することはできないが、テイクバックのある程度の絞込みを行うことによって、誤って選出されたものを取り除いていく。

最終的に追加された条件は「主動作は最高速度に達するまでの時間が短い」と「主動作の最高速度が一般動作より速い」の2つである。

まず、「主動作の最高速度に達するまでの時間」については、テイクバック動作のモーションデータを調査した結果の中、最高速度に達するまでの時間が最も長かったものに対しても判別されるように約2フレーム（約0.1秒）大きな範囲で条件を取った。

次に「主動作の最高速度が一般動作より速い」という条件に関しては詳細な条件をたてることはできなかった。空手の打撃などに関しては速度に大きな違いがあったが、かなり真剣に動作をしているものでない限り明確な差をつけることはできなかった。しかし、小さい動作との区別がある程度できることから、主動作が平均速度以上という条件を用いる事にした。

テイクバック動作を行っているモーション・データから、各条件のデータを調査したところ図3のような結果となった。

	最小フレーム数	最大フレーム数	平均フレーム数
逆方向への運動最速部から主動作開始までの時間	2	7	約3.6
主動作開始から最高速度に達するまでの時間	2	7	約5.5

図3．テイクバック動作の調査

以上の結果から、それぞれの条件をその最大値よりわずかに広くする。また、主動作開始から最高速度に達するまでの時間は平均フレーム数が大きいため、条件の幅もやや大きいものとした。

- ・逆方向への運動の最速部から主動作開始フレーム（グラフの極値）までの時間は8フレーム以内（約0.26秒）
- ・主動作の動作開始から、最高速度に達するまでの時間は9フレーム以内（約0.3秒）
- ・主動作の最高速度は平均速度より速い

判別条件を立てる際に次のことを考慮したため備考として記述しておく。

テイクバックを判別するための条件を立てる際に、関節ごとに場合分けをする必要が考えられた。つまり腕のように軽い部分と胴のように重い部分では別々に角速度などの条件を設定するほうが正確な判別ができると考えられる。

そのため関節ごとにテイクバック時間の長さの変化を調べた。しかし、その差はわずかであり個人差、環境差で変わる範囲であるので、テイクバックの判別条件において関節ごとに固有の設定値を設けることは行わなかった。

2.2 運動の順次性

運動はその効果を増加させるため、運動の目的毎に体の各部分で動作に勢いをつけ、その運動エネルギーを順に伝えて目的の運動へと変えていく。その伝わるタイミングを編集することで、運動のなめらかさを表現することができる。[10]

動作のなめらかさを演出する際の、動作開始フレームの編集は、実際にはほんの数フレームの移動である。関節の動作開始フレームを他の関節の動作開始フレームからやや時間を置くことで、動作の流れがゆるやかになり、なめらかさが演出される。図4に動作開始フレームの前後への移動を水色の矢印で示す。

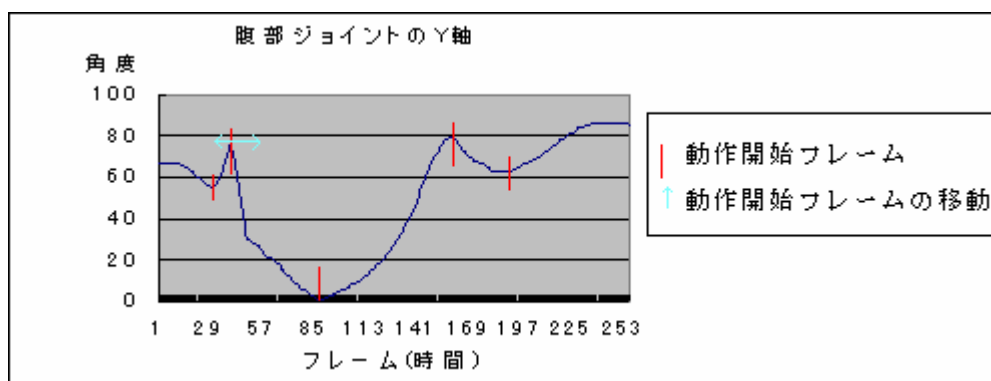


図4．動作開始フレームの移動

運動の順次性とは1つの動作を行うときに関節ごとの開始が体の中心(胴体)に近い順、もしくは遠い順に現れることであり、スポーツ運動学では運動伝導と呼ばれている。運動伝導によって現れる運動の順次性における以下のような特徴に注目し、演出の可能な関節、

時間的範囲を選出する。また、本研究では運動伝導が確認されやすく、また種類の多い胴体から四肢（腕、足）への運動伝導を扱う。

胴体から四肢への運動伝導における運動の開始の非同時性を説明するために次の生理学的法則性が確認されている。体の中心に近い関節の運動が行われると遠い部分の関節で抵抗が起こる。水中では水が抵抗となり、普段の運動でも慣性（現在の運動を続ける作用：その場にとどまろうとする作用）が抵抗となる。この抵抗により、遠方の関節で予備伸張や予備緊張が起こり、関節を通るたびに運動エネルギーを伝え、かつ増加させているのである。このことから、身体の中心から先端への運動伝導ではテイクバック（予備動作）が認められ、徐々に運動エネルギーを増加させていくためのものであると言える[7][11]。その連鎖をグラフから観察する、つまりテイクバックを確認した動作の中から順次性があるかどうかを判別する。

以上のことから運動の順次性を判別するために次の2つの条件が挙げられる。

- ・各関節の動作開始にテイクバックが確認される
- ・関節が体の中心（胴体）から離れるにつれて、開始動作が数フレーム遅れる

ただし、途中すべての関節で順次性が認められるわけではなく、順次性のない関節は無視する必要がある。

これら2つの条件によって判別される運動伝導は、胴体から四肢（左右の両手足）方向への順次性だけである。逆方向の順次性からはテイクバックが確認されておらず、速度、加速度、タイミングなどの要素から運動伝導の特徴を独自に導き出すことは困難と思われるからである。

実際にモーションデータから運動伝導を判別する時には、条件を1つずつ順に追っていく。まず、様々な運動の連続であるモーションデータから順次性を持つと思われる動作を絞り込むために、胴体から四肢の間の関節すべてに対しテイクバックが行われているかを確認する。

その後、テイクバックの確認された動作すべての中から、身体の中心から近い順に動作が開始されている関節を選出する。また、動作の順次性は熟練度などの理由から必ずすべての関節で確かめられるというものではなく、途中の関節を飛ばしながら判断する必要がある。また、1つ1つの動作のずれに対してどの程度の時間まで運動伝導と捉えられるか

を、順次性の確認できるモーションデータから開始タイミングのずれを調査した。

調査手順は以下のとおりである。

- ・平均速度のある程度違う動作を無作為に選ぶ
- ・運動伝導が明らかに見られる動作の隣り合う関節の動作開始タイミングのずれを調査

運動伝導における関節ごとの動作開始のずれは図5のようになった。

	最小フレーム数	最大フレーム数	平均フレーム数
動作開始のずれ	2	6	約4.2

図5 . 動作の順次性による動作開始のずれ

以上のデータの最大値、平均値などを元に、動作開始のずれにおいて運動伝導と認める範囲は7フレーム(約0.23秒)とした。

運動の順次性を判別する条件は以下のようになった。

- ・胴体から四肢のすべての関節で行われる動作に対してテイクバックを判別する
- ・テイクバックの認められた各動作に対し順次性の認められるものはすべて選出する。隣り合う関節でなくても、また連続した順次性の中で1つだけタイミングの順次性が見られない関節でも、中心から遠い方向の関節に順次性が認められればすべて選出する。また、3軸それぞれの動作に対し別々の動作とみなし、それぞれに順次性の認められる動作を選出していく。動作開始タイミングのずれの範囲は7フレームとする。

2.3 動きのメリハリ

動作の開始または終了部分の時間を長くすることによって運動のメリハリを表現することができる。また、連続した動きの中でより1つ1つの動きを強調させる効果がある。本研究では動作の加速度の変化より指定された範囲の動作のメリハリをつけるべき動作を選出する。そのため人間にとって見えにくいと思われる動作の特徴から演出をするべき動作を選出する。

動きにメリハリをつける演出は動作の開始または終了部分の時間を長くすることであるが、実際には速度を遅くすることである。動きが速すぎてわかりづらい動作や重要な動作を強調し、動作の印象を強める効果がある[12][13]。図6に編集範囲となる時間帯を水色の線で示す。

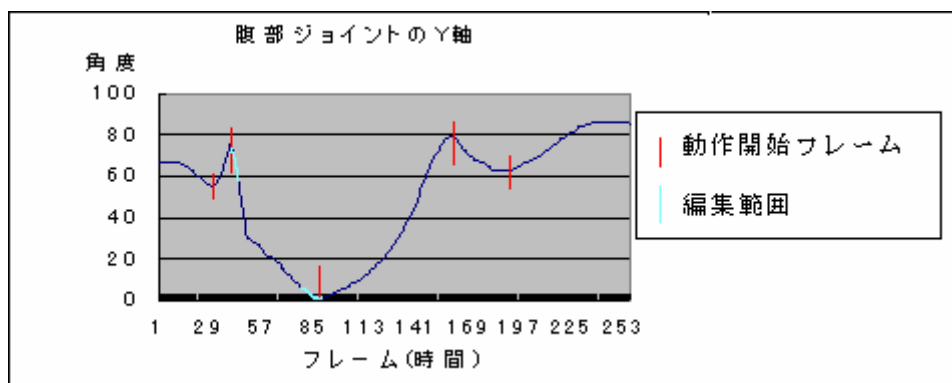


図6．動作の開始と終了

大きい運動が連続で起きている場合見ている者に1つ1つの動きが明確に伝わらなくなる。このような場合、それぞれの動きを強調し理解しやすくする必要がある。そのために、アニメーターは動作の前後の速度を遅くして動きにメリハリをつける演出を行う場合がある。

速すぎて目でとらえにくい動きというものは認知速度の限界などによって説明される。しかし、本研究で扱うモーションデータはレンダリングされる時のカメラなどの設定により、キャラクターの大きさや明るさなどの環境が大きく変わるため、厳密に認知速度を超えているかどうか判断することはできない。つまり、動作に対しメリハリをつけるべきかどうかの判別は、速度・加速度の観点から判別することはできない。しかし動きの連続が切れ目なく続き1つ1つの動作が認知されにくいという観点からその候補となるものを選出する。

判別条件を作成するために、認知されにくいとされる動作の条件として次のことが考えられる。

- ・関節の回転角度の大きい動作
- ・一定以上速度の速い動作

・連続した動作

これらの条件を厳密に作ることはできない。そのため、連続したすばやい動きのモーションデータ（格闘技など）と他の動作とのグラフの違いを比較し、動作開始から終了までのフレーム数の少なさに注目した。

まず、アニメーションを作る際には1つの動作を次のように分けて考えられている。

先行動作 （主要な）運動 フォロースルー等（動作後の停止までの動作）

このことから動作の開始から終了までのあいだには最低3つの動作が作成されている。つまり動作開始から終了フレームまでの間を3つに分けるための2フレームが最低必要と考えられる。よって、1動作の最低フレーム数を中心に判別条件を作成した。

また、これらの3つの動作において、主要な運動に対し先行動作、及びフォロースルーは一般的な物理学からも速度が減速しているはずである。しかし、モーション・キャプチャで作成されたモーション・データは、1秒間のフレーム数が足りないために減速が見られないことがある。このような速度変化の不整合が見られる動作も判別する。

また、短い動作の中でも速い動作はノイズ除去されていないため、選出する動作の大きさを制限する条件も用いた。

最終的に次の判別条件を用いた。

- ・ 1動作中のフレーム数が3より小さい動作
- ・ 動作の最大速度より開始及び終了動作の速度が速い動作
- ・ 関節の回転角度が1動作の平均回転角度よりも大きい動作

2.4 運動の速度編集

最も運動量が大きくなるのは動作の最大速度部分であり、テイクバックと同様に運動の効果が直接見て取れる。

演出としては、動作の中から主要と思われる時間帯の動作速度を編集することによる動作の勢いの直接編集である。選出される編集範囲は各動作の行われている方向への加速している時間帯であり、図7の水色の時間帯である。関節が動作方向へ最も力を働きかけて

いる時間帯のみを選出することができる。

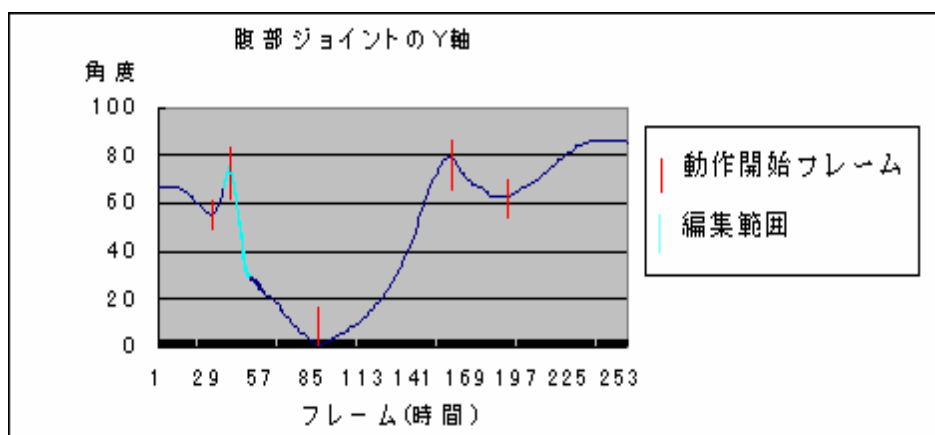


図7．動作の速度編集範囲

この編集は運動の速度自体を直接変更するものである。運動の最も主要な部分は基本的に運動エネルギーが最大となる最大速度部分であり、その時間帯の速度を直接編集すれば見る者の印象も大きく変わる。この編集はユーザに指定された関節の各動作の最大速度部分に対しどの範囲まで編集対象とするか、つまり動作の開始と終了地点を選出する。具体的にはテイクバック（予備動作）終了付近の加速開始地点と最大速度後の加速度の減速地点となる。

キーフレーム・アニメーションにおいて最大速度編集は動作開始フレーム後、つまり図7の赤いラインの後ろが行われている。しかし、グラフの極値より前の時間から動作方向への力の作用は始まる場合もあり、加速度の変更時間を選出することにより正確な速度編集範囲を選出する。

判別条件を作成するに当たって次のことを考慮した。

関節の回転している方向は単純に速度を見ればわかる。これとは別に、運動を行おうとする方向は加速度を見ることでわかる。速度編集範囲は、この加速度の方向が上昇し続けている範囲の選出である。この範囲を選出するために以下の条件を用いた。

- ・速度が最大となる時間（最速時間）の選出
- ・最速時間の直前の加速が最大となる時間の選出

- ・ 加速度上昇の開始と終了時間の選出

加速度が最大となるのは速度が最速になる時間の手前である。そのため動作の速度が最大となるフレームを選出し、そのフレームより前の時間で加速度が最大となる時間を選出する。加速度が運動方向へ加速している時間帯を選出する。

第3章 動作開始フレーム選出とノイズ除去

動作開始フレームの選出は動作の開始点、つまりモーション・グラフの極値を選出しているだけである。選択された動作開始フレームの中には、運動としてではなく外からの力によるぶれ、つまりバットにボールが当たった瞬間に腕がわずかな時間後ろへ押し戻されたものなども含まれる。また関節の構造上スムーズに動かない場合なども起こる。以下の条件を用いて、これらのノイズを動作開始フレームとして選択したものの中から選び出し、区別する必要がある。

わずかな時間に停滞もしくは小さな逆方向への移動などとして表れるノイズを動作開始フレームから除外するため、次の判別条件を用いる。

- ・全角度変化量に対して動作間の変化量がある一定以下の場合動作開始フレームから削除

関節の動作（伸張、収縮）中の、わずかな時間の逆運動を判別するため、平均の動作量と比較し、動作量が一定以下の場合にノイズと判断する。実際には以下の条件式に当てはまる動作をノイズと判別する。

$$X \div t \quad F \times r \div T$$

X：動作開始フレーム間の動作量の総和、F：移動量の総和

r：定数（0.3）、t：動作開始フレーム間の時間、T：時間の合計。

手順としては、全時間に対する各動作開始フレーム間の時間の割合を動作量の総和にかけて平均動作量を求める。平均動作量に対し定数 r をかけた値よりも動作開始フレーム間の動作量の総和が小さければノイズと判断する。

（グラフを比較した結果、平均動作量に対し動作開始フレーム間の動作量が30%以下の場合に確実にノイズと判断できた）

前述の条件によって、わずかな時間のぶれが見られる動作をノイズと判断し、その前後の動作開始フレームを動作開始フレームの対象からはずしている。そのため、短い時間に連続してノイズが起こった場合、実際には動作開始フレームである場合も動作開始フレームから削除されてしまうことがある。その場合、回転角の増加と減少の繰り返しである関節の運動の順番が、増加 増加のようにおかしくなってしまう。そのため、削除された動

作開始フレームの中から再選出が必要となる。再選出は削除された動作開始フレームの中からグラフの極値に近いものを選出する、つまり最大値、または最小値をとる。

第4章 演出ごとの結果と考察

4.1 テイクバック動作の判別結果と考察

テイクバック動作の判別結果は図8のようになった。

	判別確率	誤った判別の割合
テイクバック	約85%	約55%

図8 .テイクバックの判別結果

テイクバックの判別では運動学的な特徴に基づいて判別条件を立てているため、安定した動作に対しては、ほぼ確実にテイクバックを判別できたと言える。しかし、テイクバックを行っていない動作も誤って判別されるため、さらに詳細に判別する必要がある。主な原因は、用いた条件は誤って判別された動作を直接に除外するものではなく、テイクバックの運動学的特徴から補助的に立てたというのである。特に次の様な場合に誤認される。

- ・速度の極端に速い動作
- ・短い時間に連続した動作

また、手首など身体の末端にある関節は動作にぶれが大きく特に誤った判別が目立った。質量が軽いため速度の変化や移動量が大きく現段階の判別条件ではテイクバックの特定は不可能だった。しかし、動作の大きさがはっきりと現れるということでもあり、速度よりも関節の角度などに注目することにより、より良い結果が得られる可能性がある。

動作の加速度に対しての条件はデータの安定が少ないため扱うことはできなかったが、テイクバックの運動学的特徴と深いつながりを持っているため、判別の正確性を向上させるためには必要になるだろうと思われた。

しかし、動作に対してテイクバックを行っている時間、関節の候補を選出することはできたため、判別条件を改良していくことによって、ユーザの編集作業の補助としての効果は期待できると言えるだろう。

4.2 運動の順次性の判別結果と考察

判別条件の作成において、運動伝導が確認された動作のすべての動作開始タイミングのずれを含むように条件を設定した。そのため、順次性のある動作が選出されないという状

況を考慮する必要はなかった。しかし、運動の順次性を誤って選出された動作については次の様な調査を行った。

- ・運動の順次性が見られる動作から無作為に動作を選出
- ・運動の順次性を判別し、誤った判別の回数を調査

調査結果は以下のようになった。

- ・判別された動作：60、誤った判別：47

以上の結果より、順次性の判別においては、誤った選出が全体の4割も占めてしまい、選出の条件の少なさが判別条件の正確性の低下に大きく表れる結果となった。問題点を把握するため誤った判別に対して原因の調査を行った。調査手順は以下のとおりである。

- ・誤った判別の主な原因を調査
- ・誤った判別の内、その原因による判別の割合を調査

また、調査結果は以下のようになった。

誤った判別の原因

- ・テイクバック動作の誤った判別
全体の約80%
- ・動作開始タイミングの条件によるもの
全体の約20%

以上の結果から、テイクバック動作の誤った判別によるものが特に目立った。腕などの先端の動作は激しく、誤った判別が他の関節より多かった。また、隣り合う関節でなくとも順次性を判別したために体の先端部分は内側の関節すべてに対して判別を行ったことも、順次性の正確性の低下につながったと言える。

また、動作開始タイミングに対する条件はすべての運動伝導を含むように設定されている。そのため、平均速度の遅い動作の動作開始タイミングに合わせて判別条件が作られた

ことにより、平均速度の速い動作では誤った判別が多い傾向があった。

動作の順次性の判別においては、単純に順番通りに動作が開始されるかの判別なので、判別条件の作成において、それほど大きな問題があるわけではなかった。しかし、すべての動作が順に開始されることはなく、むしろ少ない関節のみで運動伝導が確認された。調査結果からも分かるとおり、テイクバックの判別において、手足の末端や肩などで小さな動きによる誤認が多く見られ、現段階ではそれらの関節は順次性の対象としては扱えない結果となった。

しかし、動作の順次性が見られると思われた関節の動作の開始が同時だったり、逆に身体を中心から遠い関節のほうが先に動いている場合もあり、意外な結果も得ることができた。

4.3 動きのメリハリをつけるべき動作の判別結果と考察

判別すべき動作の定義が明確でないため、判別結果を数値的に表すことは難しい。また、条件の中で動作の最低フレーム数の設定が小さいことから、判別される動作はかなり絞りこまれた。判別される動作は確実に認知しにくい動作であり次のような動作が特に目立った。

- ・ 格闘技のようなすばやい動作
- ・ 肘先などの関節の軽い部分の動作

これらの結果から、選出されなかった動作を判別するために次のことが言える。

- ・ 1つ1つの動作のあいだに「間」を置くべき動作を見つけることが重要である。
- ・ 動作開始フレーム付近での速度変化などについての条件が有効。
- ・ 速度だけでなく人間の認知速度を定義する事柄などを含めた条件の作成が必要である。

4.4 速度編集範囲の判別結果と考察

最大速度の編集範囲において、従来のキーフレーム・アニメーションでの編集範囲との最も大きな違いは、動作開始フレームよりも前の時間帯を編集範囲とするかどうかである。本研究において判別された編集範囲を調査したところ以下のような結果となった。

調査手順は以下の通りである。

- ・平均速度のある程度違う動作の中から無作為に関節を選出。
- ・それぞれの関節の全動作に対し、速度編集範囲を選出。
- ・編集範囲が動作開始フレームよりも前の時間を含むものを調べる。

結果は次のようになった。

調査した動作：101

動作開始フレーム以前を含むもの：66

以上の結果より、全体の約66%の動作が動作開始フレームより前の時間を編集範囲として選出された。よって、加速度の調査によって選出された速度編集範囲は従来のキーフレーム・アニメーションの編集範囲とは明らかに違うことがわかった。

本研究では単純に加速度の変化した時間だけで判断したが、加速度は小さい変動が多いためノイズを除去する必要がある。ノイズを除去することにより、加速度のグラフからより正確な編集範囲を選出することができる。しかし、加速度についてはグラフの乱れが激しいことが多く、正確性を向上させるには様々な状況を考慮する必要があるだろう。

4.5 評価と考察

本研究では、運動学などの視点から動作の特徴を分析し、それに基づく動作の判別条件をモーション・データと照らし合わせながら作成した。そのため、目的の動作を判別することはある程度達成できたといえるだろう。しかし、目的とは異なる動作も誤って判別することが見られた。

原因としてはノイズの定義を明確に作成できなかったことが挙げられる。ノイズは関節や動作によって大きさ・長さが大きく変わり、動作が変わるごとに相対的にノイズである

と判別される動作の大きさの範囲も変える必要があったため、あいまいな条件としてしか立てることができなかった。また、加速度に対しての条件を作成したが実際に用いることができなかった。加速度のデータはノイズが多く、動作の判別確率が低下することが事実だったからである。しかし、テイクバックに関しては加速度による条件が有効だと考えられるため、動作の判別率とその正確性の最もバランスが取れる条件を作成することで、有効な判別を行うことが可能であると言える。

モーションデータに対して動作を判別し、アニメーターの編集を援助する情報を得ることはわずかだが達成できた。より有益な情報を得るためには1つ1つの動作のメカニズムと、アニメーターの動作の分析する方法をより深く研究する必要があるだろう。

第5章 展望

モーション・キャプチャによって記録されたモーション・データは、様々な影響によりノイズが多く、分析の困難なものである。しかし、動作をキャプチャーする装置の改良も進みつつあり、ノイズの少ないもの、キャプチャする環境を選ばないものなども増えつつある。モーション・データは加速度の変化のタイミングなどに動作1つ1つの特徴があり、様々な情報を読み取ることができれば、より有益で扱いやすいものになるだろう。

モーション・データに対し各動作に演出方法を割り当てるということは、アニメーターに提供するべき情報の種類を選出するための第一歩である。本研究では演出の割り当てが中心であったが、編集作業を援助する情報は様々なものがある。本研究で扱った情報だけで達成することが可能と思われるものでも編集範囲（時間）、編集の目安などがある。アニメーターにとって有益な情報とは何かを分析し、それらをモーションデータから読み取ることによりモーション・データの編集を援助することができ、有用性を高めることができるだろう。

近年、モーション・データの編集機能は様々な分野の技術を用いて研究され、多様化している。今後はモーション・データの各編集技術との関連の深い情報を選出し、それらを組み合わせていく必要があるだろう。

謝辞

本研究を進めるにあたり、1年という長い期間に渡り大変多くのご指導をしてくださった教員の渡辺先生、和田先生に深く感謝を申し上げます。また、クリエイティブ・ラボの植木さん、小沢さんを始めとする多くの方々に協力をしていただいたことも合わせてお礼を言いたいと思います。そして、卒研室の皆さんにも資料の提供や相談、卒研室に泊り込んだ思い出と共に感謝を言いたいと思います。本当にありがとうございました。

参考文献

(論文)

- [1]Michael Gleicher, “ Retargetting motion to new characters ” Computer Graphics、(Proceedings of SIGGRAPH '98)、 pp.34-42.1998
- [2] Michael Gleicher, “ Motion Path Editing ”、Interactive 3D Graphics, pp.195-202.2001
- [3]Andrew Witkin & Zoran Popovic, “ Physically Based Motion Transforming ” (Proceedings of SIGGRAPH '99)、 pp.11-20、 1999
- [4]栗山繁、“ MCデータの知的再利用技術 ”
<http://www.mmip.tutics.tut.ac.jp/~kuriyama/main.files/aist.pdf>
- [5]Andrew Witkin & Zoran Popovic, “ Motion Warping ”、 (Proceedings of SIGGRAPH '95)、 pp.105-108、 1995
- [6]ジョージ・マエストリ“ デジタル・キャラクター・アニメーション ”、株式会社ピアソン・エデュケーション、1999
- [7]ゲルハルト・ホッホムート、“ スポーツ運動のバイオメカニクス ”、新体育社、1981
- [8]平野祐一、“ 打つ科学 ”、大修館書店、1992
- [9]桜井伸二、“ 投げる科学 ”、大修館書店、1992
- [10]尾澤直志、“ キャラに命を吹き込もう ”、CG WORLD vol45、株式会社ワークスコーポレーション、2002.5
- [11]クルト・マイネル、“ マイネルスポーツ運動学 ”、大修館書店、1997
- [12] 尾澤直志、“ キャラに命を吹き込もう ”、CG WORLD vol43、株式会社ワークスコーポレーション、2002.3
- [13] 尾澤直志、“ キャラに命を吹き込もう ”、CG WORLD vol44、株式会社ワークスコーポレーション、2002.4