

2009年度 卒業論文

コンサートのペンライトアクションにおける  
群集の追従シミュレーションに関する研究

指導教員：三上 浩司 講師

メディア学部 ゲームサイエンス  
学籍番号 M0106216  
佐々木 康太

**2009年度 卒業論文概要**

**論文題目**

コンサートのペンライトアクションにおける  
群集の追従シミュレーションに関する研究

**メディア学部**

学籍番号：M0106216

**氏名**

佐々木 康太

**指導  
教員**

三上 浩司 講師

**キーワード**

群衆シミュレーション、モーション、CG、  
コンサート、観客、ペンライト、追従

音楽コンサートでは、観客がペンライトと呼ばれる棒状の光り物を、曲に合わせて振る習慣がある。近年コンサートの表現を扱ったコンテンツが登場しているが、これらのコンテンツの中では、観客のペンライト描写の表現が十分になされているとは言えない。その理由としては、コンサートにおけるペンライト動作には、追従動作などのペンライト動作に特有の要素があり、この分析が十分に行われていないことがある。このため、既存手法ではペンライトの描写をリアルに表現することが難しいという問題がある。

本研究ではコンサートにおけるペンライト動作の分析を行い、その分析に基づいてプログラムを作成し、コンサート会場において観客が行うペンライトアクションをリアルにシミュレートする手法を提案した。分析は、観客のペンライト使用率が高く、ペンライトの振り方として様々な動作の種類が定着している声優コンサートを対象とした。この際、ファンが制作し、ペンライト動作に関する記述のある「コール本」や、コンサート会場での観察、コンサートDVDを通して分析を行った。また、提案手法は、ゲーム等のインタラクティブなコンテンツへの応用を可能にするために、リアルタイムなシミュレーションを実現した。このため、コンサートにおけるペンライト動作特有の要素を、なるべく簡潔なアルゴリズムを用いて、効果的に表現する手法を提案した。

最後に、シミュレーション結果の検証を行い、本手法が実際のコンサート会場で観客が行うペンライト動作をリアルに再現できたことを確認した。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景	1
1.2	現状の問題点	3
1.3	関連研究	3
1.4	研究目的	4
1.5	論文の構成	4
<b>第2章</b>	<b>ペンライトについての解説と分析</b>	<b>5</b>
2.1	ペンライトとは	5
2.2	ペンライトに関する音楽的要素の解説	6
2.3	ペンライト動作の概要	6
2.4	ペンライト動作の分類	7
2.5	ペンライト動作の分析	15
2.5.1	動作のずれについて	15
2.5.2	追従動作について	17
<b>第3章</b>	<b>提案手法</b>	<b>22</b>
3.1	目標とするシミュレーション	22
3.2	シミュレーション手法	24
3.2.1	追従動作の実装手法	25
3.2.2	動作のずれの実装手法	28
3.2.3	連続性を保持する手法	31
3.2.4	動作を曲のリズムに合わせる手法	31
3.2.5	その他の要素について	32
3.2.6	本研究で用いた特徴的な手法	32
<b>第4章</b>	<b>実装結果と検証</b>	<b>34</b>
4.1	シミュレーション結果	34
4.2	検証	36
4.2.1	検証方法	36
4.2.2	アンケート内容	37
4.2.3	調査結果	38

4.3 考察 . . . . .	39
<b>第5章 まとめ</b>	<b>41</b>
<b>謝辞</b>	<b>43</b>
<b>参考文献</b>	<b>44</b>

# 目 次

2.1	「打ち」の動作	9
2.2	「打ち」で腕を振り上げるタイミング	9
2.3	「跳び」の動作	10
2.4	「伸び」の動作	10
2.5	「折り」の動作	11
2.6	「折り」で腕を前に出すタイミング	11
2.7	「早折り」の動作	12
2.8	「早折り」で腕を振るタイミング	12
2.9	「横振り」の動作	12
2.10	「クラップ」の動作	13
2.11	「PPPH」の動作	13
2.12	「PPPH」の動作を行うタイミング	13
2.13	「止め」の動作	14
2.14	「回し」の動作	15
2.15	スピードがずれている例	16
2.16	タイミングがずれている例	16
2.17	スピードもタイミングもずれている例	16
2.18	左端で追従	19
2.19	動作の途中で追従	19
2.20	右端で追従	19
2.21	「打ち」の追従の様子	20
2.22	「伸び」の追従の様子	21
3.1	ペンライトモデル	24
3.2	左から振る動作の追従する様子	26
3.3	右から振る動作の追従する様子	26
3.4	左から振り左で待機して追従する動作	27
3.5	左から振り中央で追従する動作	27
3.6	右から振り右で待機して追従する動作	27
3.7	右から振り中央で追従する動作	27
3.8	左から振りずれていない動作	29

3.9	左から振りずれている動作 . . . . .	29
3.10	右から振りずれていない動作 . . . . .	29
3.11	右から振りずれている動作 . . . . .	29
3.12	ずれている動作とずれていない動作 . . . . .	30
4.1	プログラムの実行画面 . . . . .	35

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景

日本の音楽コンサートにおいて、観客がペンライトと呼ばれる棒状の光り物を曲に合わせて振りながらコンサートを楽しむという光景は日常のものとなっている。このコンサートでペンライトを振る習慣は、アイドルのコンサートに多く見られる。しかし、今ではその枠にとらわれず、様々なジャンルのコンサートで目にする事ができる。また、北京夏季オリンピックの開会式では、ペンライトを取り入れた演出を行っている。世界的に注目度の高いオリンピックの開会式という舞台上で役割を果たしたことから、ペンライトの光の美しさや、演出効果の高さが分かる。

ペンライトは、コンサートで用いられる場合には振り方にいくつかの種類がある。そして、観客それぞれが曲に合う振り方を考え、コンサート会場でアーティストや他の観客を見て、追従するなどして修正していくという習慣がある。これはコンサートにおけるペンライトアクションに特有の要素であるが、これらに関する研究や分析はほとんど例がない。一方で、バンダイナムコゲームズが発売した「THE IDOLM@STER」[1] や、SEGAが発売した「初音ミク -Project DIVA-」[2] のように、近年、コンサートの表現を扱ったインタラクティブな映像コンテンツが数多く登場している。例に挙げた作品では、観客がペンライトを振るという描写は登場していない。しかし、キャラクターとして歌を歌っている声優が出演

する「THE IDOLM@STER」のコンサートや、「初音ミク」をスクリーンに映し、「初音ミク」を用いて楽曲を制作しているコンポーザが出演するコンサートでは、多くの観客がペンライトを振っている。したがって、コンサートの表現を扱う作品では、演出の要素としてペンライト描写の需要があると考えた。

これらとは別のコンテンツでは、作中でペンライトの描写を用いている作品もある。テレビアニメ「らき☆すた」の15話[3]には、主人公が実在したアニメソングコンサート「涼宮ハルヒの激奏」[4]に参加していたという設定のシーンがある。実際のコンサートでは、観客の大半がペンライトを持ち、リズムに合わせて規則正しく振っていた。アニメの中では、出演者の服装や楽器などに関しては忠実に描くことができていたものの、客席のペンライトを振る描写を忠実に再現することはできていなかった。また、テレビアニメ「らぶドル」の1話[5]や、テレビアニメ「かんなぎ」のオープニング映像[6]でも、ペンライト描写を用いている。

これらを始めとして、コンテンツ内のコンサートシーンで観客がペンライトを振っている描写が登場する作品はいくつも存在している。このことはペンライト描写の需要を示している。しかし、現在までコンサートにおけるペンライトアクションに特有の要素を考慮した、リアルなペンライトの表現を実現した作品が登場するまでには至っていない。「劇場版 マクロス F 虚空歌姫 ～イツワリノウタヒメ～」[7]は、大ヒットを記録している最新の劇場版アニメである。この作品では歌がテーマの1つになっており、力が入ったコンサートシーンを制作し評価を受けた。しかし、この「マクロスF」であつてもペンライト動作の十分な表現はできていない。このことが、ペンライト描写をリアルに表現する難しさを示している。したがってこれらの、「コンサートで観客がペンライトを振る」という描写を既に取り入れているコンテンツにおいて、表現の質を向上させるという需要もあると考えた。

そこで本研究では、コンサート会場において観客が行うペンライトアクションをリアルにシミュレートする手法を提案した。



## 1.2 現状の問題点

ここでは、コンサート会場において観客が行うペンライトアクションをリアルにシミュレートするにあたって、現状でどのような問題点があるのかを述べる。1.1節で示したように、ペンライトの描写を用いたコンテンツは存在しているが、どれも実際のコンサートで行われているペンライトの動きにはほど遠い表現になっている。この理由は、コンサートにおけるペンライトアクション特有の動きの分析が不足していることである。コンサートのような大規模な人数のシミュレーションを行う手法として群集シミュレーションがある。しかし、動作の分析が不足しているため、既存の群集シミュレーションではコンサートにおけるペンライトアクション特有の動きを考慮することが難しい。つまり、ペンライトの動きをリアルに再現することができないのである。コンサートのペンライトに特有の動きについては2章で詳しく解説する。

## 1.3 関連研究

1.2節では、大規模な人数のシミュレーションを行う手法として群集シミュレーションを挙げた。群集シミュレーションの既存研究として、人間の群集の流れをシミュレートする研究 [8][9][10] や、災害時などに効率的な群集の誘導法をシミュレートする研究 [11][12][13]、などがある。しかし、これらは映像コンテンツへの応用を想定していない。また、映像コンテンツへの応用を目的としたシミュレーションを行う研究 [14][15] もある。しかし、これらも人の歩行などを想定している場合が多く、コンサートの観客に応用することは難しい。

別のアプローチとして、人物などの動作生成に関する研究がある。中澤らの研究 [16] では、音楽に合わせた舞踏動作を生成する手法を提案している。この研究では、主にリアルタイムではない動作生成の研究を行っている。リアルタイムな手法にも言及しているものの、コンサートの観客が行う動作に関しては想定していない。そのため、ペンライトに特有の動きを考慮することはできず、コンサー

トにおけるペンライト動作に直接応用することは難しい。また、田中らの研究 [17] では、あらかじめ分割したサンプルモーションから、バリエーションに富んだ新たなモーションを生成する手法を提案している。田中らの手法ではペンライトに特有の動きを考慮できない。しかし、ここで用いられている分割したモーションデータから一連の動作を生成する手法は、本研究で用いた手法を考える上で大きな助けとなった。

## 1.4 研究目的

本研究では、1.1 節で述べたコンサートで観客がペンライトを振る習慣と、ペンライトに関するコンテンツの現状を踏まえて、コンサート会場において観客が行うペンライトアクションの描写を、ゲームや映像作品等のコンテンツに応用できるようにすることを目的とする。そのために、1.2 節で述べた問題点を解決し、コンサート会場において観客が行うペンライトアクションをリアルにシミュレートする手法を提案する。

## 1.5 論文の構成

第2章ではペンライトについての解説と分析を行う。第3章ではシミュレーションの実装手法を述べる。第4章では提案手法を検証する。最後に第5章では全体のまとめと今後の課題を述べる。

## 第 2 章

# ペンライトについての解説と分析

第2章では、ペンライトそのものやペンライト動作に関する解説と、目標とするシミュレーションを実現するための分析を述べる。まず、2.1節でペンライトそのものの存在を解説し、2.2節でペンライト動作や本研究についての説明を行う上で必要になる音楽的要素の解説を行う。2.3節でペンライト動作の概要を述べた後、2.4節でペンライト動作の分類を行い、2.5節でペンライト動作の分析を行う。なお、本研究では、観客のペンライト使用率が高く、ペンライトの振り方として様々な動作の種類が定着している声優コンサートを分析の対象とした。

### 2.1 ペンライトとは

ペンライトとは、主に棒状の発光器具のことである。本研究では、棒状の先の部分だけが光るペン型の照明器具ではなく、コンサートにおいて観客が使用する、棒の側面が発光するか、あるいは中から光が当たって棒の側面が発光しているように見える器具のことをペンライトと呼ぶ。

棒状の発光器具は、「ペンライト」の他に、「サイリウム」、「サイリウム」、「ルミカライト」、「ケミカルライト」、「ライトスティック」などという名称がある。これらは、発光原理の違いから2種類に大別することができる。1つは主に電池を用いて電気で発光する「電池式」のもので、もう1つは、2種類の液体の化学反応

によって光る、「化学式」のものである。この2種類を区別する場合、「ライトスティック」は両者を指して使われることが多い。「ペンライト」は主に前者の電池式を指すが、両者を指して使われることもある。「サイリウム」、「サイリウム」、「ルミカライト」、「ケミカルライト」は主に後者の化学式を指すことが多い。ちなみに、「サイリウム」と「ルミカライト」は商品名で登録商標になっている。なお、本研究ではこれら全てのことを「ペンライト」と呼び、同一のものとして扱う。

## 2.2 ペンライトに関する音楽的要素の解説

本研究では、ペンライト動作について音楽用語を用いて述べる場合がある。それにさきがけて、ここで本研究において重要な音楽用語を解説する。

楽譜に登場する単位に小節がある。楽譜の中で区切られた区分のそれぞれを小節と言う。小節とは別の単位に拍がある。拍とは、等しい間隔で打たれるリズムのひとつひとつの時間単位のことである。また、拍の周期の速さをテンポという。音楽が拍子を持つ場合には、小節と拍の間に、 $n$ 拍子の曲では1小節が $n$ 拍の長さになるという関係が生まれる。本研究では、ポピュラー音楽で最も一般的な拍子である4拍子を基本としてペンライトの動作について解説する。

## 2.3 ペンライト動作の概要

ペンライト動作の概要を述べる。観客が曲の全体にわたって行うペンライト動作は、いくつかの基本動作の組み合わせでできている。観客の大半はこれらの基本動作を覚えており、観客それぞれが適切だと考える動作を選んで行う。また、これらの動作の目標とする長さは一定であり、その長さの単位は拍である。この長さはそれぞれの動作に対して、必ずしも1種類しか当てはまらないわけではないが、ほとんどの場合、1拍、2拍、4拍、8拍のどれかである。動作のテンポは、曲のテンポに合わせて変化する。この動作におけるテンポの変化は観客が感覚的に

行うものである。この時観客は、基本的に動作が小節にちょうど収まるテンポで動作を行う。すなわち、1小節に、1拍の動作であれば4回、2拍の動作であれば2回、4拍の動作であれば1回収まるテンポである。これは、観客が曲のリズムに合った動作を行おうとした結果であると考えられる。言い換えれば、小節にちょうど収まるように動作を行えば、曲のリズムに合った動作になることができる。なお、これら一連の動作を行う際に、動作の種類の違いや動作のずれ等が発生した場合、他の観客やアーティストの動作を見て追従するケースがよくある。

## 2.4 ペンライト動作の分類

ペンライト動作に関する詳細な分析を述べる前に、用語の解説を兼ねて、コンサートにおけるペンライト動作の分類を行う。2.3節で述べたように、動作は種類と長さで分類することができる。このうち、コンサート会場で観客が実際に行っている実例を分析して、本研究において必要な動作の種類を11種類に分類して定義した。長さに関しては、種類別にそれぞれの動作の項目で説明する。この分類を行う際、コンサートの現場での実情を正確に反映させるために、コンサート会場での観察、DVD等で映像化されているコンサート映像の分析を行った。これに加え、本研究では、観客の動作などを記載した「コール本」[18][19][20][21][22][23][24]を参考にした。コール本とは、観客がコンサートで行う掛け声や動作などをまとめた書籍である。一般に、ファン有志が制作し、コンサート会場にて無料で配布する場合が多い。記載内容は、コンサートでの実情を記録したものもあれば、制作者の思惑を浸透させようという意図が強いものもある。また、制作者の意図によって、掛け声を中心に記載したもの[18][19][20][21]や、ペンライトの動作を中心に記載したもの[22][23][24]といったような特徴がある。説明の仕方については、文字のみで説明しているもの[18][20][23][24]や、絵を使って動作を詳細に説明しているもの[19][21][22]などがある。例は少ないが、これらの制作者が、コール本の内容をWeb上に公開している場合[25]もある。しかしこれらは、実際のコンサート会場でそれぞれの観客が他の観客などを見て補完することを前提にしているため、厳

密性は備えていない。よって、コンサート会場での観察と映像の分析を行い、本研究において必要になる部分を補った。

動作の種類は次の 11 種類である。

- 「打ち」
- 「跳び」
- 「伸び」
- 「折り」
- 「早折り」
- 「横振り」
- 「クラップ」
- 「PPPH」
- 「止め」
- 「回し」
- 「動作なし」

これらについて次に説明する。なお、この名称はコール本を参考に本研究で再定義したものである。

- 「打ち」

4拍子の「タン・タン・タン・タン」というリズムのうち、2回目と4回目のタンのタイミングで腕を素早く上に振る動作である。すなわち、ほとんどの場合2拍の長さである。Aメロでよく行う傾向にあり、様々な曲に登場する、最も基本的な動作の1つである。図2.1は「打ち」の動作の様子を示している。図2.2は「打ち」で腕を振り上げるタイミングを楽譜で示したもので、4分音符のタイミングで腕を振り上げる。

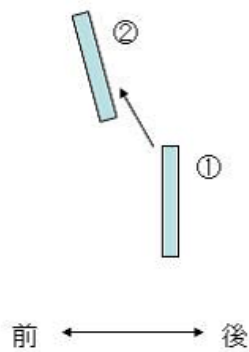


図2.1: 「打ち」の動作



図2.2: 「打ち」で腕を振り上げるタイミング

- 「跳び」

「打ち」と同じタイミングで腕を振り上げると同時に跳ぶ動作である。したがって、長さは「打ち」と同じく2拍の場合がほとんどである。ペンライトの上下動は必然的に「打ち」よりも大きな動きになる。曲中の盛り上がる部分で行い、特に間奏やBメロでよく登場する。また、跳ぶのと同時に「ハイ！」などと掛け声を入れる場合が多い。図2.3は「跳び」の動作の様子を示している。

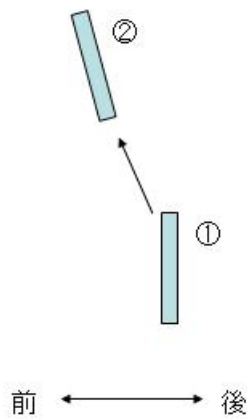


図 2.3: 「跳び」の動作

- 「伸び」

腕を素早く前に出した後、ゆっくり下から上に振り上げていく動作である。バラード曲や歌詞の語尾を伸ばす部分などでよく行う。長さは2拍、4拍、8拍が多いが、まれに1拍のパターンもある。1拍の場合は、ゆっくりとした動作ではなく、主にアップテンポな曲で小刻みに腕を振り上げる動作になる。図 2.4 は「伸び」の動作の様子を示している。

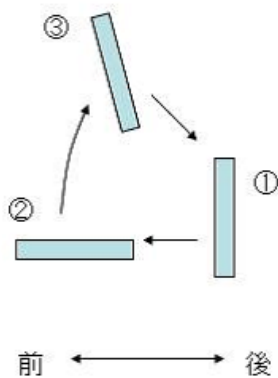


図 2.4: 「伸び」の動作



- 「折り」

肘を折って腕を扇状に前後させる動作である。「打ち」とは逆に、4拍子の1回目と3回目のタンのタイミングで素早く腕を前に出して止め、2回目と4回目のタンのタイミングで腕を後ろに引く。したがって、長さは2拍が一般的である。様々な曲に登場する動作で、サビで行うことが多い。図2.5は「折り」の動作の様子を示している。図2.6は「折り」で腕を前に出すタイミングを楽譜で示したもので、4分音符のタイミングで腕を前に出す。

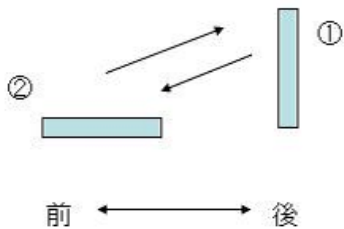


図2.5: 「折り」の動作



図2.6: 「折り」で腕を前に出すタイミング

- 「早折り」

「折り」の倍の早さで腕を前後に振る動作である。4拍子の「タン・タン・タン・タン」のそれぞれのタンのタイミングで腕を前後させる。よって、長さはほとんどの場合、1往復で1拍である。サビに多く、曲中で「早折り」から「折り」に変化する場合も多い。図2.7は「早折り」の動作の様子を示している。図2.8は「早折り」で腕を振るタイミングを楽譜で示したもので、4分音符のタイミングで腕を振る。

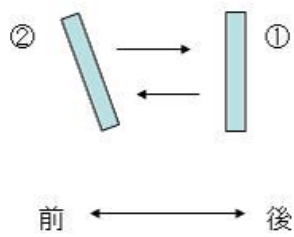


図 2.7: 「早折り」の動作



図 2.8: 「早折り」で腕を振るタイミング

- 「横振り」

腕を左右に振る動作で、バラード曲でよく行う。長さは2拍と4拍が一般的である。アーティストが先に行って観客が追従することで浸透していく場合が多い。図 2.9 は「横振り」の動作の様子を示している。

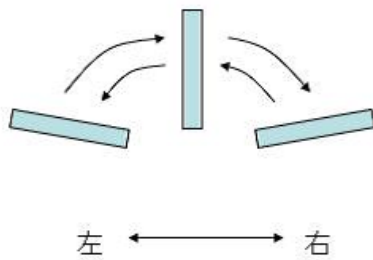


図 2.9: 「横振り」の動作

- 「クラップ」

手拍子のことである。長さは1拍と2拍が多いが、4拍や8拍がないというわけではない。ペンライトを持ったまま行う人としまって行う人がいるが、本研究ではペンライトを持って行うこととする。図 2.10 は「クラップ」の動作の様子を示している。

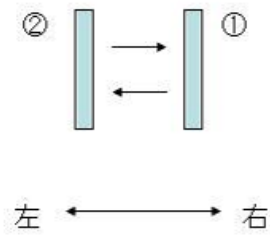


図 2.10: 「クラップ」の動作

- 「PPPH」

「ぱん・ぱぱん・ひゅー」の略称である。4拍子の1小節に渡る動作で、「ぱん・ぱぱん」と手を叩いた後に「ハイ！」や「Fu！」などと掛け声を入れながら跳ぶ。すなわち、長さは4拍である。Bメロで行うことがほとんどで、曲中で「PPPH」から「跳び」に変化する場合も多い。図 2.11 は「PPPH」の動作の様子を示している。図 2.12 は「PPPH」の動作を行うタイミングを楽譜で示したもので、低いドのタイミングで「ぱん・ぱぱん」と手を叩き、高いドのタイミングで跳ぶ。

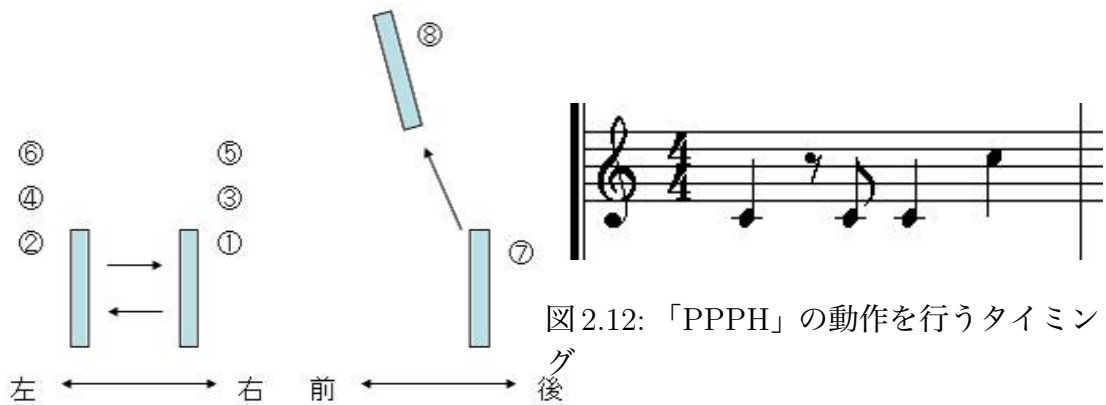


図 2.12: 「PPPH」の動作を行うタイミング

図 2.11: 「PPPH」の動作

- 「止め」

腕を斜め前に出して一定間隔止める動作である。曲中の様々な部分に登場するが、頻度は多くない。楽器の音の変化が少なくなる部分で行うことが多い。長さは全ての長さが考えられる。図 2.13 は「止め」の動作の様子を示している。

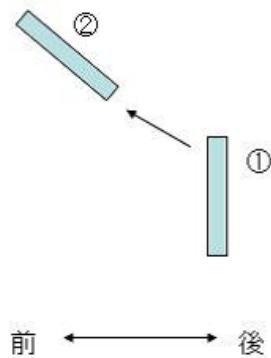


図 2.13: 「止め」の動作

- 「回し」

腕を水平方向に回す動作で、右手の場合は反時計回りに回すことがほとんどである。珍しい動作だが、主にサビで登場し、掛け声とともに4回あるいは2回続けて回す場合が多い。長さは、1拍につき1回回すのが一般的である。図 2.14 は「回し」の動作の様子を示している。

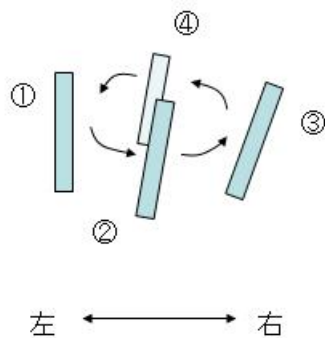


図 2.14: 「回し」の動作

- 「動作なし」

ペンライトを動かしていない状態を指す。長さは全ての長さが考えられる。

## 2.5 ペンライト動作の分析

2.5 節ではコンサートにおいて観客が行うペンライト動作の分析を行う。ペンライト動作に特徴的なものとして、「動作のずれ」と「追従動作」がある。2.5.1 項で動作のずれについて説明し、2.5.2 項で追従動作について述べる。

### 2.5.1 動作のずれについて

ここではコンサート会場で観客が行うペンライト動作のずれについて説明する。動作を行っているのが人間である以上、動作のずれが発生するのは必然だと言える。この動作のずれは、スピードのずれとタイミングのずれに分けることができる。また、動作はずれ方の違いによって、「スピードもタイミングもずれていない動作」、「スピードはずれているがタイミングは合っている動作」、「タイミングはずれているがスピードは合っている動作」、「スピードもタイミングもずれている動作」の 4 種類に分けることができる。図 2.15、図 2.16、図 2.17 は「打ち」の動作を表したグラフである。

(ペンライトの上下の移動)

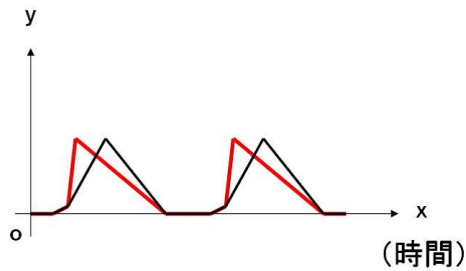


図 2.15: スピードがずれている例

(ペンライトの上下の移動)

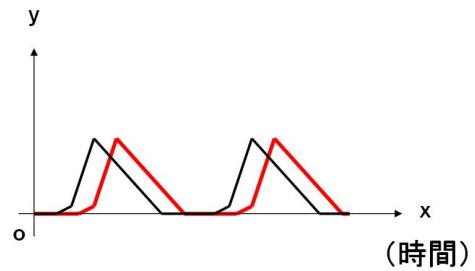


図 2.16: タイミングがずれている例

(ペンライトの上下の移動)

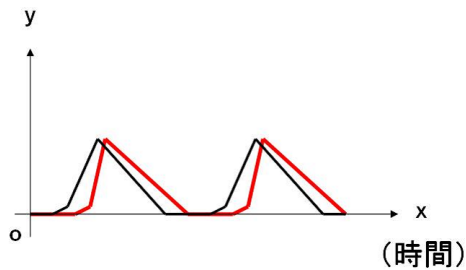


図 2.17: スピードもタイミングもずれている例

グラフの x 軸は時間経過を表しており、y 軸はペンライトの上下の移動を表している。便宜上、黒線が基準となるペンライト動作、赤線がずれているペンライト動作とする。図 2.15 は「スピードはずれているがタイミングは合っている動作」の 1 例を表している。腕を振り上げる動作が始まるタイミングは同じだが、振り上げと戻すスピードがずれている。図 2.16 は「タイミングはずれているがスピードは合っている動作」の 1 例を表している。動作を行うスピードは同じだが、タイミングが遅れている。図 2.17 は「スピードもタイミングもずれている動作」の 1 例を示している。腕を振り上げる動作の始動するタイミングが遅れており、振り上げるスピードは早く、腕を下ろすスピードは遅い。なお、これらは動作のずれを分かりやすく示すために、実際のコンサートで発生するずれを誇張したグラフになっている。

## 2.5.2 追従動作について

コンサート会場で観客が行う動作のうち、特徴的な動作の1つに追従動作がある。追従動作とは、ある観客が、別の観客やアーティストを見て、動作を真似するなどして動きを合わせていく動作のことである。この追従動作は、コンサート会場の観客に特有な動きで、観客が行うペンライトアクションをリアルにシミュレートするためには不可欠な表現である。

まず追従動作の概要を述べる。追従動作は、結果的に少数派が多数派に追従する場合が多い。これは、コンサートの観客には、観客全体で動きを揃えようとする習慣があるためである。しかし、多数派が少数派に追従していくことで、少数派と多数派が逆転し、もともとは少数しか行っていなかった動作が最終的には大多数に浸透する場合もある。また、必ずしも全員が追従するわけではなく、ある動作を行っている観客が圧倒的少数になったとしても、その動作に追従せず、もともと行っていた動作を続ける場合もある。これは、「この曲のこの部分では絶対にこの動作をしたい」などのポリシーを持っている観客が存在しているためである。しかし、こういった観客の存在が浮き彫りになるのは、多数の観客が追従動作を行うことの裏返しである。

これまで1口に追従動作と言ってきたが、追従動作は追従する対象の違いで2種類に分類することができる。1つ目は、違う種類の動作を行っている人に追従する場合である。例えば、「打ち」の動作を行っている人が「伸び」の動作を行っている人に追従して、動作を「打ち」から「伸び」に変える場合がこれにあたる。2つ目は、動作自体は同じ動作を行っているが、追従によって動作のずれを修正する場合である。これらを区別して述べる場合、前者を「種類の追従」、後者を「ずれの修正」と呼ぶ。

次に、追従動作のプロセスについて説明する。前述のように、追従は別の観客やアーティストを見て行う。アーティストに追従する場合は、別の観客に追従する場合に比べて、考慮すべき要素は少ない。コンサートではアーティストが身振

り手振りで観客を扇動することがある。その際、観客はアーティストの動きを真似するのが一般的である。これがアーティストへの追従である。ほぼ全ての観客が「アーティストを見ることができること」と「基本的にはアーティストを見ていること」を想定できるので、ここで生じる差異は、アーティストがその動作を行ったことをそれぞれの観客が認識するまでの時間の差のみである。

一方、別の観客に追従する場合は、考慮すべき要素が多い。追従者から他の観客のペンライトの動きが見える必要があるため、会場の大きさや構造、追従者のいる位置、追従者の身長、周りの観客の身長、他の観客が手を挙げる高さなど、様々な要素によって見える範囲が変わる。しかし、これらの要素によって発生する違いを見ただ目で認識できることは非常にまれである。なぜならば、見ただ目で確認できる違いが発生するのは、1万人以上の観客を収容できるような会場でのコンサートがほとんどである。しかし、本研究が対象としている声優コンサートは、2000人前後の観客を収容する会場か、あるいはそれ以下の規模の会場で行う公演が大半を占めている。よって本研究では、観客は全ての観客のペンライトの動きが見えることとし、少数派多数派などの判断には観客の位置や視界などの要素を考慮しないこととする。

また、追従動作には、追従するタイミングに特徴がある。ここで言うタイミングとは、それぞれの動作の中のどの部分で追従するかということである。このタイミングは動作によって2つに分けられる。1つは、「横振り」の動作である。「横振り」では左右反対の動きを行う場合があるが、追従するタイミングは無限に存在する。図 2.18、図 2.19、図 2.20 は、「横振り」の追従するプロセスを表したグラフである。このグラフの x 軸は時間経過を表している。また、y 軸はペンライトの左右の移動を表しており、グラフの上端が動作の右端、グラフの下端が動作の左端とする。黒線が被追従者、赤線が追従者のペンライト動作である。これら3つ全ての図において、追従者が左右反対の「横振り」を行っている被追従者に追従している。図 2.18 では追従者はまず左に振り始めて右に振り、また左に振ったところで動作を止めて、被追従者の動作が左に来るまで待つて右に振り始めること



で動きを合わせている。

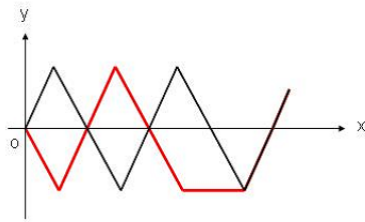


図 2.18: 左端で追従

図 2.19 では、追従者は左に振り始めて右に振り、その後中央まで振ったところで、反対の左から中央に振っていた被追従者に合わせている。

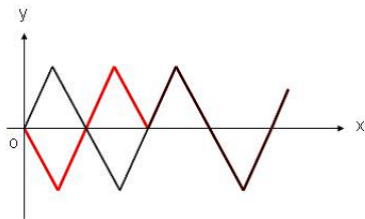


図 2.19: 動作の途中で追従

図 2.20 では、追従者は左に振り始め、その後右端で動作を止めて、被追従者の動作が右に来るまで待つて左に振り始めることで動きを合わせている。

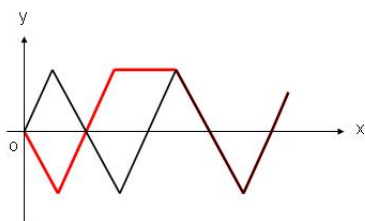


図 2.20: 右端で追従

これらの動作よりほんの少しでも遅く、もしくは早く追従すれば、それは別のタイミングで追従したことになるため、追従するタイミングが無限に存在することが分かる。

もう1つは、「横振り」以外の全ての動作に共通して言えるが、追従するタイミングは基本的に1箇所である。図2.21は「打ち」の追従するプロセスを表したグラフである。

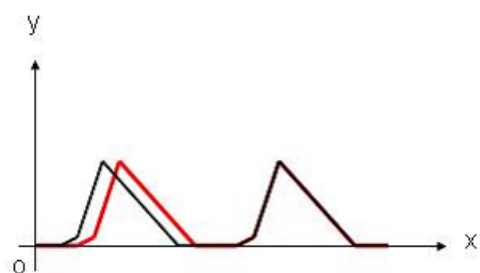


図2.21: 「打ち」の追従の様子

グラフのx軸は時間経過を表しており、y軸はペンライトの上下の移動を表している。黒線が被追従者、赤線が追従者のペンライト動作である。グラフの動作は次の4種類の動作によって構成されている。

- グラフのyの値が0である部分が静止している「タメ」の動作
- グラフが少しの間右肩上がりになっている部分が軽く振りかぶる動作
- グラフが急激に右肩上がりになっている部分が素早く腕を振り上げる動作
- グラフが右肩下がりになっている部分が元の場所に戻す動作

「打ち」という動作はこれらの繰り返しで構成されている。追従者は、始めはタイミングが遅れているが、「タメ」の部分で追従している。このことが示すように、「打ち」の動作の中で追従するタイミングは「タメ」の動作の時である。これは、「打ち」という動作を「打ち」たらしめているのは、振りかぶる準備動作を含んで腕を素早く振り上げる動作であり、追従してこの動作を行うためにはその前の「タメ」の部分で合わせるのが自然で、かつ他の部分で追従するよりも合わせやすいからである。

図2.22は「伸び」の追従するプロセスを表したグラフである。

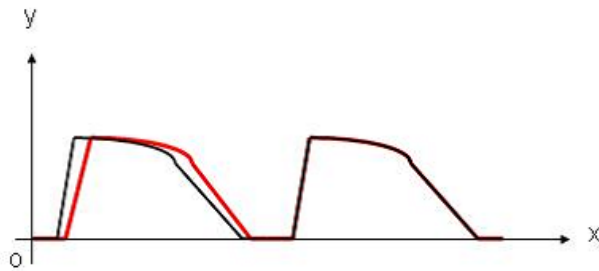


図 2.22: 「伸び」の追従の様子

グラフの  $x$  軸は時間経過を表しており、 $y$  軸はペンライトの前後の移動を表している。黒線が被追従者、赤線が追従者のペンライト動作である。グラフの動作は次の 4 種類の動作によって構成されている。

- グラフの  $y$  の値が 0 である部分が静止している「タメ」の動作
- グラフが急激に右肩上がりになっている部分が腕を素早く前に出す動作
- グラフが  $x$  軸と平行に近い方向に緩い曲線を描いている部分が腕をゆっくり上に振り上げる動作
- グラフが右肩下がりになっている部分が元の場所に戻す動作

「伸び」という動作はこれらの繰り返しで構成されている。追従者は、始めはタイミングが遅れており、腕を素早く前に出すスピードも遅いが、「タメ」の部分で追従している。ここで注目すべきは、「打ち」と同じように、一連の動作の前に「タメ」の動作がある点と、その「タメ」の部分で追従している点である。この「タメ」の動作は「横振り」以外の全ての動作に存在し、この部分で追従を行う。「タメ」以外の部分での追従が絶対にあり得ないというわけではないが、「打ち」の動作と同じ理由で、多くの場合は「タメ」の部分で追従するという特徴がある。

# 第 3 章

## 提案手法

第 3 章では本研究の提案手法について述べる。本研究で目標としているシミュレーションとは、「コンサート会場で観客が行うペンライトアクションをリアルにシミュレートすること」である。ここで、この目標を達成するためには何が必要なのかを説明する。第 2 章では、コンサート会場で観客が行うペンライトアクションにはどういった要素があるかを明らかにした。また、本研究に必要な動作を分析し、分類を行った。第 3 章では、第 2 章で行ったことに基づいて、プログラムを作成するには具体的にどのような手段があるのかを明らかにし、実際にプログラムとして実装した。3.1 節では目標とするシミュレーションに必要な要素を具体化し、3.2 節でそれらをプログラムで実装する手法を述べる。

### 3.1 目標とするシミュレーション

目標とするシミュレーションを実現するために、本手法で考慮しなければならない要素は次のとおりである。

- 追従動作
  - － 「種類の追従」
  - － 「ずれの修正」
  - － 追従しない動作
  - － 追従するタイミング
  
- 動作のずれ
  - － スピードのずれ
  - － タイミングのずれ
  
- 動作の連続性の保持
  
- 曲のリズムに合った動作
  
- ペンライトの色
  
- リアルタイム性

まずは、コンサート会場の観客に特有な動きであり、本研究の核となる追従動作を実現しなければならない。この追従動作は、システムの利用者が意図した動作に追従する必要がある。追従動作には、「種類の追従」と「ずれの修正」がある。場合によって追従を行わない観客がいることも考慮しなければならない。また、追従するタイミングも重要な要素である。追従するタイミングは、「横振り」以外の動作では「タメ」の部分で追従する。「横振り」の動作は追従するタイミングが無限に存在するので、リアルな表現を行うためには複数箇所での追従を実現する必要がある。

次に、動作のずれも大きな要素である。スピードとタイミングの両方を考慮した動作のずれを実現することが必要になる。また、ペンライト動作は人間が行っていることが大前提となる。具体的には、本研究では複数のモーションデータを

用いることになるため、そのモーションデータ間にコマ飛びがなく、連続性を保持する必要がある。そして、動作が曲のリズムに合っていることも重要である。その上で、曲によってペンライトの色が変更可能であるとよい。これらがプログラムで実現しなければならない要素である。さらに、ゲーム等のインタラクティブなコンテンツに応用するためには、このプログラムがリアルタイムで動作する必要がある。これがプログラムとしての機能要件である。

これに加えて、プログラムの前段階であるひとつひとつのモーションが、見た目として実際に観客が行っている動作らしくリアルであれば、本研究で提案する手法が、コンサート会場で観客が行うペンライトアクションをリアルにシミュレートすることができると言える。

## 3.2 シミュレーション手法

本研究のシミュレーション概要を説明する。本研究では、まずペンライトモデルを Metasequoia[26] で作成する。図 3.1 は作成したペンライトモデルである。

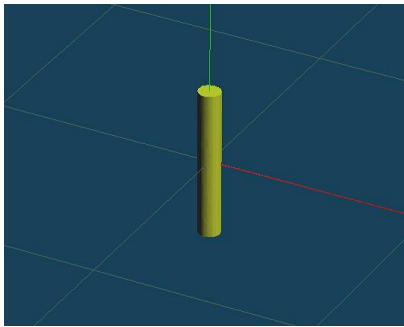


図 3.1: ペンライトモデル

このモデルに対して、FK Performer[27] を用いてモーションデータを作成し、これらを C++言語で FK ライブラリ [28] を用いたプログラムに読み込んで動作するプログラムを作成した。本研究では、追従動作、追従しない観客の動作、動作のずれをモーションデータの切り替えによって実現した。すなわち、種類の違う動作も、種類は同じだがずれが発生している動作も、1つずつのモーションデータと

して作成した。プログラムでは、これらのモーションデータを読み込んで、ひとつひとつのモデルデータに対して最初にどのモーションデータを再生するかを命令する。そして、モーションの最終フレームまで再生し終えたら最初のフレームに戻って繰り返し再生を行い、任意の回数を再生し終えたら別の任意のモーションに切り替えていく。これが本手法の概要である。次に本研究に必要な要素の実装手法を述べる。

### 3.2.1 追従動作の実装手法

追従動作の実装手法について述べる。追従動作のうち、「種類の追従」は、最初に別々のモーションデータを再生させ、任意のタイミングで片方をもう片方のモーションに切り替えることで表現した。「ずれの修正」は、まず、ずれているモーションとずれていないモーションを作成し、両者を別々のモデルで再生する。そして、ずれているモーションからずれていないモーションへとモーションを切り替えることで表現できる。また、追従しない観客の動作については、再生回数を増やすことで表現できる。追従するタイミングは「横振り」と「横振り」以外の動作で実装手法が異なる。

まずは「横振り」について述べる。「横振り」では8種類のモーションデータを作成する。これは、通常時の動作4種類と、追従時の動作4種類に分類できる。通常時の動作のモーションデータは、左右の中央から振り始めて、最初に左から振る動作と右から振る動作がある。詳しくは3.2.2項で説明する。追従時の動作は、最初に左から振る動作に対して2種類、右から振る動作に対して2種類のモーションデータを作成する。左から振る動作に対するモーションデータは、左で待機して追従する動作と、中央で追従する動作の2種類を作成する。図3.2は左から振る動作の追従する様子を示したものである。

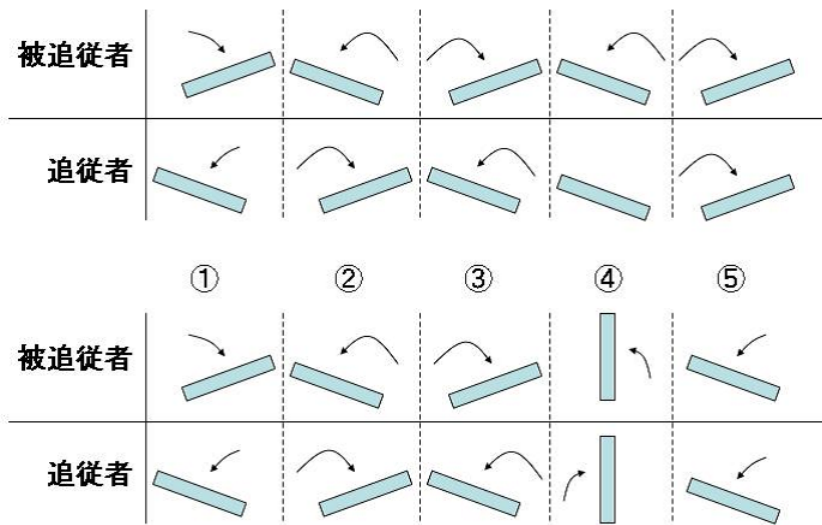


図 3.2: 左から振る動作の追従する様子

最初に右から振る動作に対しては、右で待機して追従する動作と、中央で追従する動作の 2 種類を作成する。図 3.3 は右から振る動作の追従する様子を示したものである。

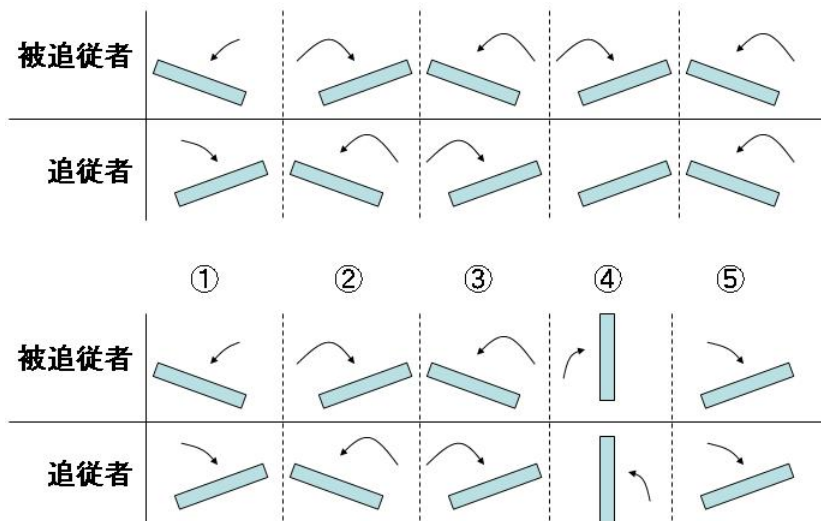


図 3.3: 右から振る動作の追従する様子

図 3.4、図 3.5、図 3.6、図 3.7 はこれら 4 種類の追従時のモーションである。図中の赤丸は手で持つ位置を示している。



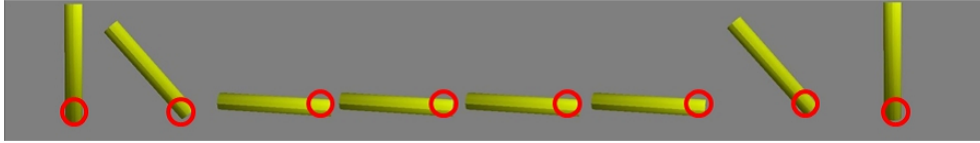


図 3.4: 左から振り左で待機して追従する動作

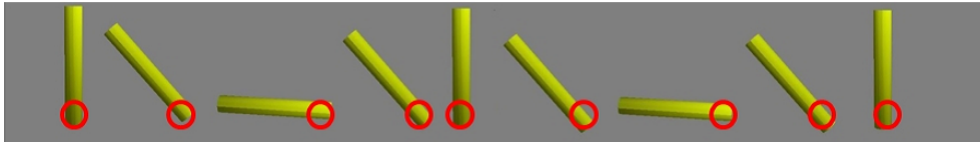


図 3.5: 左から振り中央で追従する動作

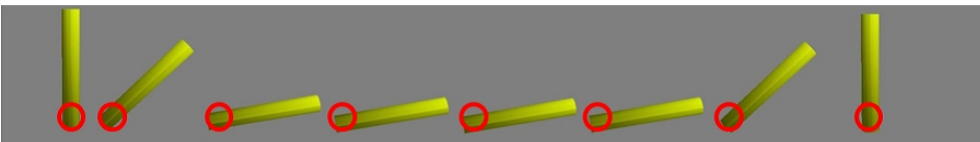


図 3.6: 右から振り右で待機して追従する動作



図 3.7: 右から振り中央で追従する動作

追従時には、これら追従時のモーシヨンを經由して、モーシヨンを切り替える。例えば、図 3.3 は、通常時の右から振る動作、追従時の動作、通常時の左から振る動作、の順番でモーシヨンを切り替えた場合である。これで、「横振り」の追従するタイミングを表現できる。

次に、「横振り」以外の動作について述べる。「横振り」以外の動作では、作成するモーシヨンデータにおいて、1 フレーム目と最終フレームは必ず動作中の「タメ」の部分で構成することで実現する。このようにすることで、「タメ」の部分で追従することになるため、「横振り」以外の動作における追従するタイミングを表現できる。なお、作成するモーシヨンデータについては 3.2.2 項で詳しく説明する。

### 3.2.2 動作のずれの実装手法

動作のずれの実装手法を述べる。動作のずれも「横振り」と「横振り」以外の動作で実装手法が異なる。

まず、「横振り」について述べる。3.2.1項では、「横振り」の動作について8種類のモーションデータを作成し、通常時の動作4種類と、追従時の動作4種類に分類できることを述べた。このうち、通常時の動作は、ずれていない動作として、2種類のモーションデータを作成する。これは、左右の中央から振り始めて、最初に左に振る動作と右に振る動作である。そして、この2種類それぞれの動作に対して、動作がずれているモーションデータを1種類ずつ作成する。図3.8、図3.9、図3.10、図3.11はこれら4種類の通常時のモーションである。図中の赤丸は手で持つ位置を示している。

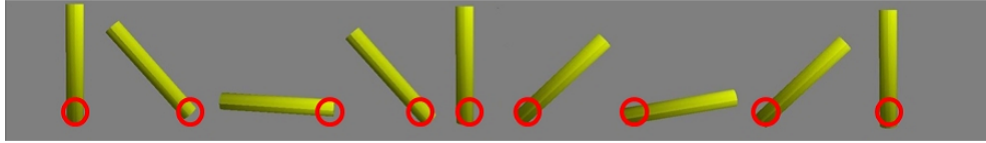


図 3.8: 左から振りずれていない動作

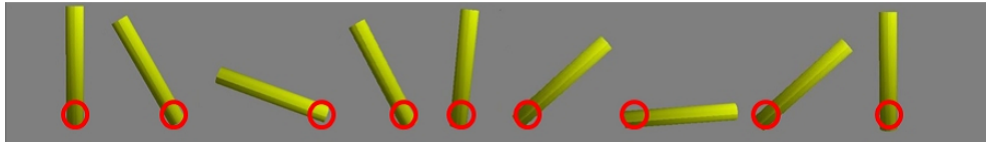


図 3.9: 左から振りずれている動作

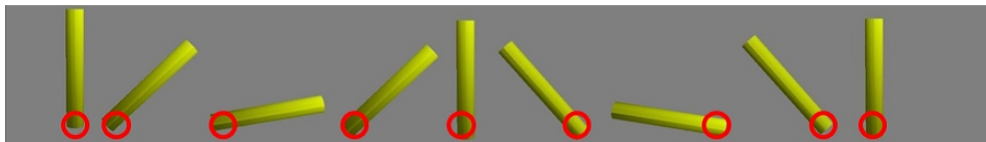


図 3.10: 右から振りずれていない動作

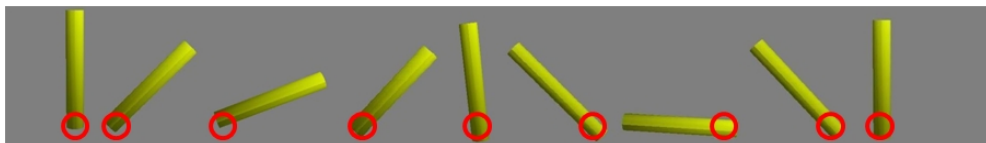


図 3.11: 右から振りずれている動作

これらのモーションを別々のモデルで再生することで、「横振り」の動作のずれを再現できる。

次に、「横振り」以外の動作について述べる。「横振り」と「動作なし」以外の動作は、1種類の動作につき、4種類のモーションデータを作成する。はじめに、「スピードもタイミングもずれていない動作」として1つのモーションデータを作成する。それに対して、「スピードはずれているがタイミングは合っている動作」、「タイミングはずれているがスピードは合っている動作」、「スピードもタイミングもずれている動作」を作成する。図3.12は「打ち」の動作で、これら4種類のモーションを示している。図の①は「スピードもタイミングもずれていない動作」、②は「スピードはずれているがタイミングは合っている動作」、③は「タイミングは

ずれているがスピードは合っている動作」、④は「スピードもタイミングもずれている動作」である。

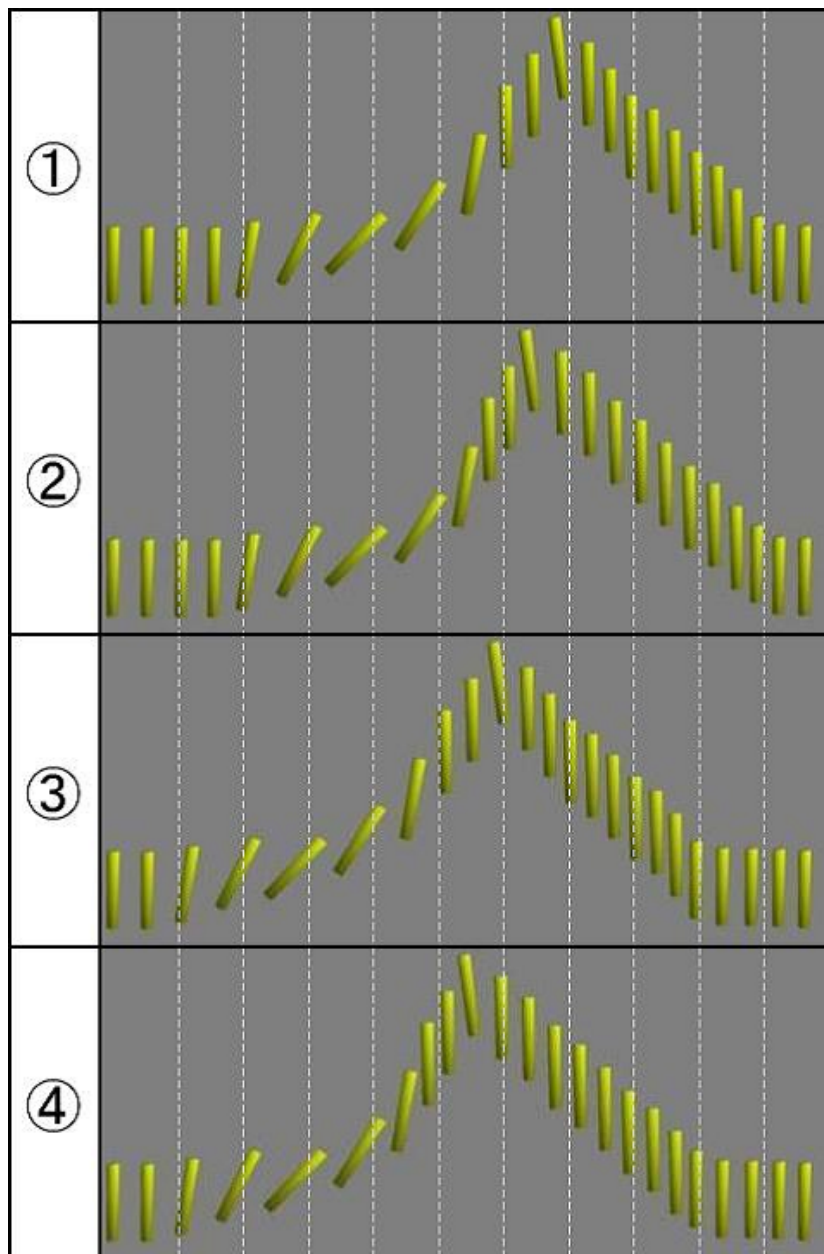


図 3.12: ずれている動作とずれていない動作

「動作なし」に関しては、静止しているなので1種類だけを作成する。これらのモーションを別々のモデルで再生することで、「横振り」以外の動作において、動作のずれを表現できる。

### 3.2.3 連続性を保持する手法

連続性を保持する手法について述べる。「横振り」の動作では、モーションデータの1フレーム目は座標(0,0,0)でどの方向にも傾きがない状態にし、最終フレームはそれに限りなく近い状態であるようにモーションデータを作成する。「横振り」以外の動作では、作成したモーションの1フレーム目と最終フレームは、座標(0,0,0)でどの方向にも傾きがない状態で統一する。これは動作の「タメ」の部分である。このようにすることで、同じモーションデータを繰り返し再生する際にも、別のモーションデータに切り替える場合にも、コマ飛びが発生せず、連続性が保持できる。

### 3.2.4 動作を曲のリズムに合わせる手法

動作を曲のリズムに合わせる手法について述べる。モーションデータは、連続して再生した際に曲の小節にちょうど収まる長さのフレーム数にする。本研究では4拍子の楽曲でのシミュレーションを対象としている。そのため、モーションデータは1拍の動作であれば1小節の4分の1の長さ、2拍の動作であれば1小節の半分の長さである。動作が曲のリズムに合う条件は、2章で述べたとおり、小節にちょうど収まるように動作を行うことであるので、プログラムでモーションデータを再生する際にはこれに留意する。さらに、1つの曲に対して用いるモーションデータは、基本的に同じフレーム数のものを用いる。これは、もし1拍と2拍の動作が混在している場合、1拍の動作を2回繰り返して、2拍の動作と長さを揃えるということである。こうすることで、全てのモデルが同時にモーションデータの再生を行い、同時に再生を終了するため、より曲のリズムと動作がずれにくくなる。曲中で拍子やテンポが変わる場合や、そうでない場合でも曲の構成によってはフレーム数の違うモーションデータを用いざるを得ないことはある。その場合は、その時に限って動作が曲のリズムからずれないように注意を払えばよい。なお、本研究では、曲のスタート時は手動で動作を曲に合わせることにする。

### 3.2.5 その他の要素について

ペンライトの色の実装手法を述べる。ペンライトの色については、モデルデータを色ごとに用意することによって表現する。

また、本研究では、ここまで述べてきた要素を実現した上で、シミュレーションをリアルタイムで行わなければならない。リアルタイムなシミュレーションを実現するには、ここまで述べた様々な要素を簡潔なアルゴリズムで実現する必要がある。この手法については3.2.6項で述べる。

### 3.2.6 本研究で用いた特徴的な手法

本研究で用いた手法として特徴的なものが次の3つである。

- (1) 追従動作や動作のずれなどの複数の要素をモーションデータの切り替えによって実現したこと
- (2) モーションデータの1フレーム目と最終フレームを統一したこと
- (3) 1曲を構成するのに使うモーションデータのフレーム数を基本的に統一したこと

これらの手法を用いたことによるメリットを述べる。

まず、(1)の様々な要素をモーションデータの切り替えによって実現したことで、追従するプロセスや追従するタイミング、動作のスピードやタイミングをずらして動作のずれを発生させるなどの要素を、ひとつひとつプログラム上で命令する必要がなくなった。本手法では、モーションデータとそのモーションデータを再生する回数を指定するだけで、これらの動作を意図した通りにシミュレートできる。プログラム上で制御する要素を減らすことで、誤って意図していない処理を行う可能性を低くできる。すなわち、意図していない追従動作や動作のずれの発生、曲の途中で曲のリズムと動作がずれてしまうなどの破綻が起きにくくなる。

(2) のモーションデータの 1 フレーム目と最終フレームを統一したことと、(3) の 1 曲を構成するのに使うモーションデータのフレーム数を基本的に統一したことは、様々な要素をモーションデータの切り替えによって実現するために用いた手法である。中澤らの研究 [16] や田中らの研究 [17] では、人体などの複雑な動作を生成しているため、モーションデータ間の連結にはより複雑なアルゴリズムを用いている。また、ひとつひとつのモーションデータの長さも異なる。しかし、本研究で扱うモーションはペンライトの光のみという限定的な動作であり、曲に合わせた動作を行うため、基本的にモーションの長さが統一できるという特徴がある。本研究では、リアルタイムなシミュレーションが不可欠であったため、ペンライト動作をなるべく簡潔なアルゴリズムで効果的に再現する必要があった。よって、これらのような特徴に着目して、本研究において有効な手法で実装を行った。

# 第 4 章

## 実装結果と検証

### 4.1 シミュレーション結果

第 3 章で提案した手法で、コンサート会場において観客が行うペンライトアクションをシミュレートするデモプログラムを作成した。なお、今回のデモでは、水樹奈々が 2008 年 1 月 3 日にさいたまスーパーアリーナにて開催したコンサートを映像化した DVD[29] より、「innocent starter」をデモ曲として用いた。デモの制作にあたっては、この DVD と、楽譜本 [30] を参考にした。本研究では、表 4.1 のようにペンライトアクションを設定した。

表 4.1: ペンライトアクションの設定

	間奏・A メロ	B メロ	サビ	サビの語尾
多数派	打ち	伸び	折り	伸び
少数派	伸び	打ち	伸び	折り

図 4.1 は、作成したプログラムの実行画面である。



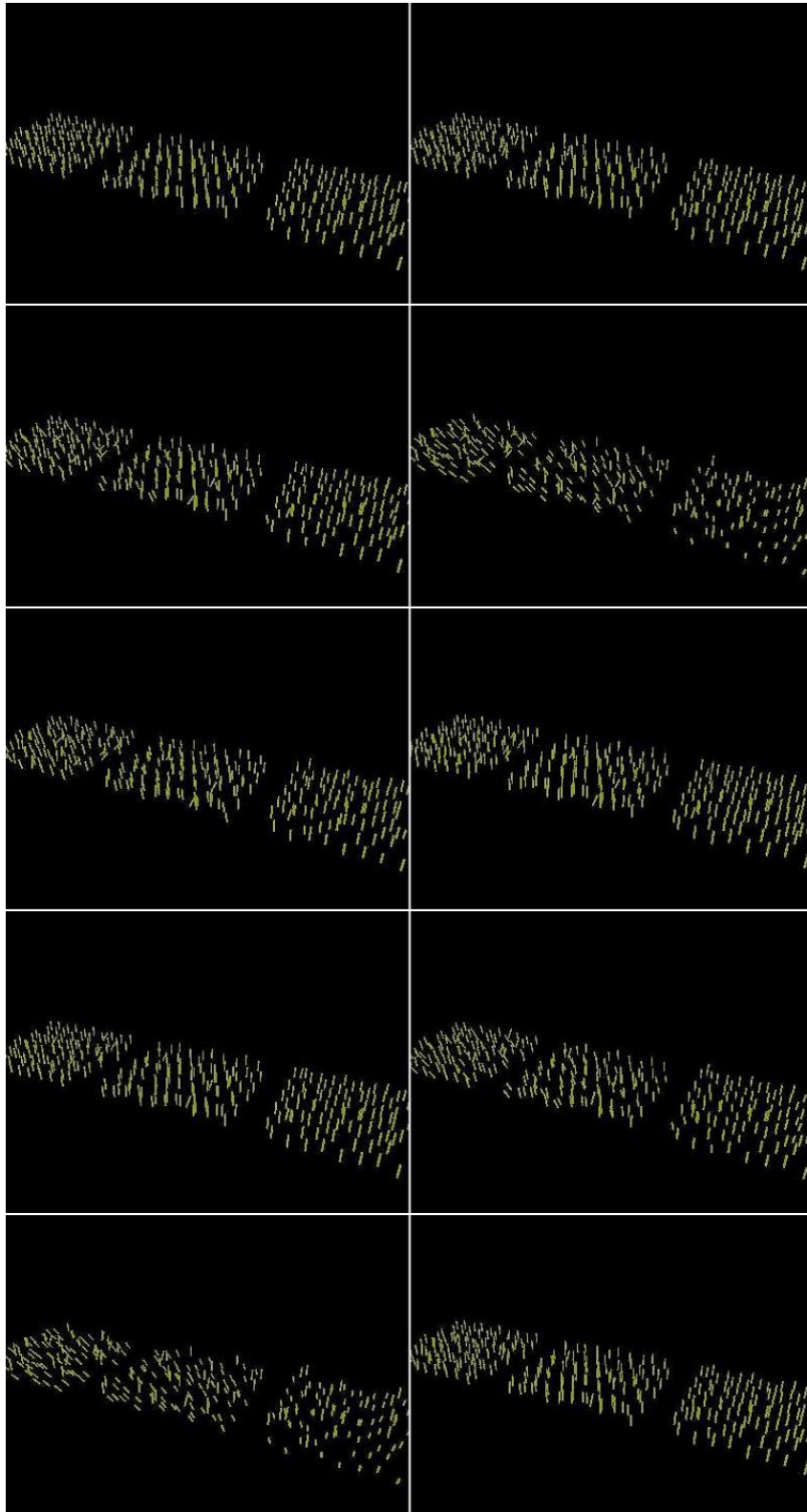


図 4.1: プログラムの実行画面

## 4.2 検証

3.1 節で解説したプログラムとしての機能要件は実装できた。次に、ひとつひとつのモーションが、見た目として実際に観客が行っている動作らしくリアルであるかどうかについて検証を行った。

### 4.2.1 検証方法

- 実験方法

被験者に本手法のシミュレーション結果と、DVD[29]の映像を見比べて、アンケートに答えてもらう。シミュレーション結果と映像は繰り返し見ることができるものとする。

- 調査対象

20人

- 調査時期

2010年1月

- 調査目的

本手法のシミュレーション結果が、見た目として実際に行っている観客の動作を再現できているか、再現できていないとすればどこに問題があるかを調査する。

## 4.2.2 アンケート内容

アンケートの質問事項は次のとおりである。評価方法は質問9以外を「1. そう思わない」、「2. ややそう思わない」、「3. どちらとも言えない」、「4. やや思う」、「5. そう思う」の5段階で評価した。

- モーションについて

**質問1** 提案手法で曲の間奏・Aメロ部分で多数派が行っていた動作は、実際の観客の動きを再現していると思いますか？

**質問2** 提案手法で曲の間奏・Aメロ部分で少数派が行っていた動作は、実際の観客の動きを再現していると思いますか？

**質問3** 提案手法で曲のBメロ部分で行っていた動作は、実際の観客の動きを再現していると思いますか？

**質問4** 提案手法で曲のサビ部分で行っていた動作は、実際の観客の動きを再現していると思いますか？

- 動作のずれについて

**質問5** 動作の速さのずれは実際の観客の動きを再現していると思いますか？

**質問6** タイミングのずれは実際の観客の動きを再現していると思いますか？

- 曲に合った動作

**質問7** 提案手法は曲のリズムに合った動作であったと思いますか？

- 全体

**質問8** 全体的な見た目として、提案手法は実際の観客の動きを再現していると思いますか？

**質問9** その他に何か感じたことや意見などがあればお書きください。

### 4.2.3 調査結果

表 4.2 はアンケート結果を示したものである。

表 4.2: アンケート結果

質問 1	提案手法で曲の間奏・A メロ部分で多数派が行っていた動作は、実際の観客の動きを再現していると思いますか？				
回答	1. そう 思わない	2. やや そう思わない	3. どちらとも 言えない	4. やや そう思う	5. そう思う
回答数	0	3	0	11	6
質問 2	提案手法で曲の間奏・A メロ部分で少数派が行っていた動作は、実際の観客の動きを再現していると思いますか？				
回答	1. そう 思わない	2. やや そう思わない	3. どちらとも 言えない	4. やや そう思う	5. そう思う
回答数	0	3	6	8	3
質問 3	提案手法で曲の B メロ部分で行っていた動作は、実際の観客の動きを再現していると思いますか？				
回答	1. そう 思わない	2. やや そう思わない	3. どちらとも 言えない	4. やや そう思う	5. そう思う
回答数	0	0	2	11	7
質問 4	提案手法で曲のサビ部分で行っていた動作は、実際の観客の動きを再現していると思いますか？				
回答	1. そう 思わない	2. やや そう思わない	3. どちらとも 言えない	4. やや そう思う	5. そう思う
回答数	0	0	3	9	8
質問 5	動作の速さのずれは 実際の観客の動きを再現していると思いますか？				
回答	1. そう 思わない	2. やや そう思わない	3. どちらとも 言えない	4. やや そう思う	5. そう思う
回答数	1	6	4	7	2
質問 6	タイミングのずれは 実際の観客の動きを再現していると思いますか？				
回答	1. そう 思わない	2. やや そう思わない	3. どちらとも 言えない	4. やや そう思う	5. そう思う
回答数	1	4	4	9	2

質問7	提案手法は曲のリズムに合った動作であったと思いますか？				
回答	1. そう 思わない	2. やや そう思わない	3. どちらとも 言えない	4. やや そう思う	5. そう思う
回答数	0	1	2	8	9
質問8	全体的な見た目として、提案手法は実際の観客の動きを再現していると思いますか？				
回答	1. そう 思わない	2. やや そう思わない	3. どちらとも 言えない	4. やや そう思う	5. そう思う
回答数	0	3	0	15	2

### 4.3 考察

モーションについての質問をした質問1~4では、質問1、質問3、質問4で、20人中17人あるいは18人の人が「4. ややそう思う」、「5. そう思う」と答えたのに対し、質問2で「4. ややそう思う」、「5. そう思う」と答えた人は20人中12人であった。この理由としては、「比較用の実際のコンサート映像に、少数派の人が見つけられなかった」などの理由が挙げられた。つまり、十分な比較が行えなかったことで、「2. ややそう思わない」、「3. どちらとも言えない」と答えた人が増えたものと考えられる。よって、質問1、質問3、質問4の結果から、モーションは実際の観客の動きを再現できたことが分かった。

動作のずれについて質問した質問5と質問6では、高い数値から低い数値まで調査結果にばらつきがあった。このばらつきは、どの程度ずれていればずれていると感じるかという人間の感覚の違いによるものだと考えられる。しかし一方では、「動作のずれ幅をもっと大きくすべきである」という指摘が複数あったため、多くの人に動作のずれを再現していると感じてもらうためには、もう少しずれ幅を大きくすべきであることが分かった。

曲に合った動作であるかについて質問した質問7では、20人中17人が「4. ややそう思う」、「5. そう思う」と回答しており、提案手法で曲のリズムに合った動作が実現できたことが分かった。

全体的な見た目について質問した質問8では、20人中17人が「4. やや思う」、「5. そう思う」と答えた。このことから、見た目の観点からも、本手法で実際の観客が行っているペンライトアクションを再現できたことが分かった。

## 第 5 章

### まとめ

本研究では、コンサート会場における観客のペンライト動作を分析し、その分析に基づいたプログラムの実装によって、コンサート会場において観客が行うペンライトアクションをリアルにシミュレートする手法を提案した。この手法によるシミュレーション結果と実際のコンサート映像の比較を行い、シミュレーション結果が実際の観客が行うペンライトアクションを再現できていることが分かった。これによって、コンサートの描写を扱うコンテンツにおいて、観客が行うペンライト動作を表現できるようになること、あるいは、表現の向上が期待できる。

コンサートでの観客のアクションとしては、「掛け声」が動作と並んで特徴的な要素である。そのため、2章では動作と共に掛け声についても解説したが、本研究では音の要素は考慮しなかった。また、2章で分類した11種類の動作以外にも、実際のコンサート会場で観客が行っているペンライト動作は存在する。例えば、「伸び」の動作の後に「跳び」の動作を行う「捧げ跳び」や、アーティストが行っているダンスの振り付けを真似する「振り付けコピー」などがある。前者のような、本研究で分類した11種類の組み合わせで表現できる動作は、本研究では1つの動作としてではなく複数の動作として扱った。後者に関しては、振り付けは無限に存在するため、一定のシステムの中にこれらを完全に取り入れることは困難であり、一部アーティストの特定の曲を除いては、あまり行わない動作である。このことから、本研究では「振り付けコピー」を考慮しないことにした。しかし、こ

の「振り付けコピー」はコンサートで観客が行う特徴的な動作の1つであるため、これを考慮したシミュレーションの実現は、今後の課題になり得る。

また、本研究では、ペンライトの動きをペンライトの光のみで表現した。本研究で実現できなかった要素のうち、今後の重要な課題として、人間の腕や体全体の動きも表現したシミュレーションの実現がある。その場合、本手法で用いた、モーションデータの切り替えによって様々な要素を再現する手法は適さなくなる可能性が高いため、プログラム上でひとつひとつの要素を制御するなど、別の手法を用いる必要がある。プログラム上でひとつひとつの要素を制御する手法は、本手法に比べて、複雑なアルゴリズムを用いる必要があり、それによる問題が発生することが考えられる。しかし一方では、本手法では考慮できなかった要素を考慮できるようになるなど、表現の幅が広がることも期待できる。よって、生じる問題を解決することができれば、本研究よりもさらにリアルで有用性の高いコンサート会場のシミュレーションを行うことが可能になる。



## 謝辞

本研究を行うにあたり、多くのご指導を頂きました本校メディア学部の三上浩司講師、並びに渡辺大地講師に深く感謝いたします。そして、様々な場面でお世話になりました先輩方、多くの時間を共に過ごしたゲームサイエンス研究室の仲間たちにも深く感謝いたします。また、本研究を行うモチベーションを与えてくれたアーティストと、私に音楽やコンサートの場を届けてくれている方に感謝するとともに、ゲームやアニメなどのコンテンツ産業の発展に取り組む全ての方に敬意を表します。最後に、本研究に協力して下さった全ての方、全ての友人、家族に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] THE IDOLM@STER. <<http://www.bandainamcogames.co.jp/cs/list/idolmaster/>>.
- [2] 初音ミク -Project DIVA-. <<http://miku.sega.jp/>>.
- [3] DVD, ”らぎ☆すた 8”, 角川エンタテインメント, 2008.
- [4] DVD, ”涼宮ハルヒの激奏”, ムービック, 2007.
- [5] DVD, ”らぶドル STAGE 1”, エイベックス・トラックス, 2006.
- [6] DVD, ”かんなぎ 1”, アニプレックス, 2008.
- [7] MACROSS SPECIAL WEB SITE. <<http://macross.jp/pc/>>.
- [8] 藤原大三郎, ”群集流動シミュレーションにおけるグループ歩行表現導入の有効性”, 東京工科大学卒業論文, 2003.
- [9] 宮崎泰広, ”スキー場での人数規制を考慮したシミュレーション”, 東京工科大学卒業論文, 2007.
- [10] 高柳英明, 長山淳一, 渡辺仁史, ”歩行者の最適速度保持行動を考慮した歩行行動モデル”, 日本建築学会計画系論文集, No.606, pp.63-70, 2006.

- [11] 崔青林, 谷口仁土, 兼田 敏之, ”東海地震注意情報発令時におけるターミナル駅乗換え通路の群集シミュレーション”, 地域安全学会論文集, No.10, pp.153-159, 2008.
- [12] 新井健, 増田広通, 落合哲郎, ”災害弱者を考慮したマルチエージェント避難シミュレーションモデル”, 東京理科大学修士論文, 2003.
- [13] 安福健祐, 阿部浩和, 吉田勝行, ”避難シミュレーションシステムの経路障害発生時への適用”, 日本建築学会計画系論文集, No.626, pp.721-727, 2008.
- [14] 石川朱香音, ”人間の行動特性を考慮した雑踏における自律エージェントモデルの歩行行動”, 東京工科大学卒業論文, 2003.
- [15] 赤山仁, ”「動き」を生み出すアルゴリズム (2): 群集制御モデルを用いたCGアニメーション制作”, デザイン学研究. 研究発表大会概要集, No.49, pp.182-183, 2002.
- [16] 中澤篤志, 白鳥貴亮, 池内克史, ”観察に基づく音楽およびモーションキャプチャデータからの舞踏動作生成手法”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005), 2005.
- [17] 田中彰人, 益子宗, 星野准一, ”遺伝的アルゴリズムに基づく複合人物動作の生成”, 情報処理学会 研究報告, 2004.
- [18] コール本, ”Yukari Tamura Call Book LOVE LIVE 2008 \*CHELSEA GIRL\*”, 2008.
- [19] コール本, ”Yukari Tamura Call Book 2009 for LOVE LIVE 2009 \*Dreamy Maple Crown\*”, 2009.
- [20] コール本, ”THE IDOLM@STER 4th ANNIVERSARY PARTY SPECIAL DREAM TOUR'S 開催記念コールブック”, 2009.

- [21] コール本, "Friends Final CallBook Dear Friends", 2009.
- [22] コール本, "NANA MIZUKI LIVE FIGHTER CALL BOOK", 2008.
- [23] コール本, "NANA MIZUKI CALL BOOK CALL FEVER 2009", 2009.
- [24] コール本, "m.c.b Live Tour 2009 ～Parade～", 2009.
- [25] ゆかりコール相談所. <<http://amberpoem.jp/>>.
- [26] Metasequoia. <<http://www.metaseq.net/index.html>>.
- [27] FK Performer. <<http://www.teu.ac.jp/aqua/~rita/FKP/>>.
- [28] Fine Kernel ToolKit System. <<http://fktoolkit.sourceforge.jp/>>.
- [29] DVD, "NANA MIZUKI LIVE FORMULA at SAITAMA SUPER ARENA",  
キングレコード, 2008.
- [30] "水樹奈々 アーティストスコアブック Sing Forever", ヤマハミュージックメ  
ディア, 2008.