

ロシア音符方式舞踊表記法からの バレエの復元とデジタル化

村上 綾菜^{1,a)} 佐藤 真知子^{1,b)} 和家 尚希² 笹渕 一宏² 中村 美奈子¹ 伊藤 貴之¹ 池内 克史²

概要: 19世紀末ロシアで考案されたステパノフ表記法による舞踊譜は、世紀転換期のロシアにルーツを持つ舞踊作品を探究することのできる、歴史的に貴重な資料である。その一方で、当表記法は現在ほとんど使われておらず、読解できる者も限定的である。そこで本プロジェクトでは、舞踊譜に記された踊りを誰もが理解し視覚的に楽しむことを目標に、コンピュータを用いた踊りの再現に取り組んでいる。本発表では、当表記法によるバレエの基本動作の譜例に焦点を当て、3DCGアニメーション表現を行なった結果について報告する。その上で、スコア上で想定されている運動特性とCG化による出力結果との相違点から、ステパノフ表記法においてどのような動きが暗黙知として仮定され、いかなる情報がスコアの上から欠落しているのか、それをどのように補完するのかについての検討も報告する。

Digital Reconstruction of Ballet from Dance Scores written in Stepanov's Music Note System

AYANA MURAKAMI^{1,a)} MACHIKO SATO^{1,b)} NAOKI WAKE² KAZUHIRO SASABUCHI²
MINAKO NAKAMURA¹ TAKAYUKI ITOH¹ KATSUSHI IKEUCHI²

Abstract: At the end of the 19th century, Stepanov's dance notation system was invented in the Russian Imperial Ballet Theater. The dance scores written in this system are now valuable resources for investigating historical dance works of the era. On the other hand, this notation system is rarely used today, and the number of people who can read and understand it is limited. This project aims to reconstruct dances from the scores with computer graphics design software so that everyone can understand and enjoy the dance visually. This paper describes the process and results of creating 3D animation, focusing on the scores of basic ballet exercises. From the difference between the expected kinematic characteristics and the computer graphics output, we will also discuss what kind of information is assumed as tacit knowledge in the scores and how to supplement it with computer system.

1. はじめに

無形文化である舞踊を紙面上に固定し有形化しようとする試みは、舞踊表記法（あるいは舞踊記譜法）と呼ばれる。

舞踊史上において、舞踊表記法はおよそ90種類が存在する [1]。舞踊研究者ハッチンソン・ゲストのこの研究によれば、舞踊表記法は大きく次の5種類に分類できる（(1) 文字・記号方式、(2) フロア・パターン方式、(3) スティック・ピクチャ方式、(4) 音符方式、(5) 抽象記号方式）。本研究では、舞踊史上でもはじめて身体を三次元的にとらえ解剖学的視点から身体動作を記述した、ウラジミール・ステパノフによる音符方式舞踊表記法（以下、ステパノフ表記法と称す）に注目する。そしてその譜に示された舞踊動作

¹ お茶の水女子大学
Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo 2-1-1, Japan

² マイクロソフト
Microsoft

a) murakami.ayana@is.ocha.ac.jp

b) sato.machiko@ocha.ac.jp

を、コンピュータで可視化する方策について検討する。

ステパノフ舞踊表記法は、現代ではほとんど使われていないが、この表記法は19世紀末期のロシア帝室マリンスキイ劇場バレエを母体に考案され、主に彼らのレパートリー作品を記譜するために使われた。と同時に、バレエ団の下部組織である帝室劇場舞踊学校でも正規の授業として教えられた。19世紀末のロシアといえば、バレエの中心地がフランスからロシアに移り、ロマノフ王朝の擁護のもとに「クラシック・バレエ」という舞踊ジャンルが開いた黄金期であり、ペテルブルクに位置するマリンスキイ劇場は文字どおり、当時のバレエの世界的中心地であった。しかしながら1917年、反帝国主義運動の勃興により、ロシアが十月革命に突入し国内情勢が混乱を極めると、文化的遺産の損失を恐れた当時のバレエ団芸術監督ニコライ・セルゲーエフが譜面資料を密かに持ち出し亡命することとなった。喪失を免れたセルゲーエフのスコアは、この時代の舞踊の遺産を今日に伝えている。

2. 先行研究の検討

ステパノフ譜から踊りを復元する試みは、これまでに複数の成功例がある。ロシア帝室劇場バレエ団の後継である、現マリンスキイ劇場バレエ団の元振付家であったセルゲイ・ヴィハレフは、2000年代に、セルゲーエフの残した譜をもとに複数のバレエ作品の復刻上演を手がけた（『1890年代版 眠れる森の美女』、および『1900年代プティパ監修版 ラ・バヤデール』（2000年、ロンドン、ニューヨーク）、『1894年風プティパ版 コッペリア』（2008年、ポリショイ劇場）、『オリジナル版 ライモンダ』（2011年、ミラノスカラ座バレエ）。それに対して本研究が一線を画すのは、舞踊譜に記された情報を、人間ではなく、コンピュータ表現にて立ち上げようとする点にある。

現在までのところ、ステパノフ表記法を対象としたコンピュータ利用の先行研究は見当たらない。しかしながら、現在もっとも広汎に使われる舞踊表記法であるラバノテーション（Labanotation）では先行例が豊富である。ラバノテーションとは、ステパノフ表記法よりも30年ほど後の1920時代にドイツで考案された、抽象記号方式の舞踊表記法である。一般に舞踊譜は、読み方にルールが存在する。そしてステパノフ表記法やラバノテーションのように、身体を分節化し各部位の動きを三次元的に記述しようとする表記法は、どちらかといえば複雑な表記体系をもち、直感的に読むことはほぼ不可能である。表記法の習得には、数年ほどの期間を要するのが一般的であることから、コンピュータを介することによって、スコアの読み方を知らずともそこに書いてある踊りを視覚的に捉えたり、表記法習得のための学習補助を目的にこれまで多くの探究がなされてきた。特に舞踊譜作成ソフトであるLabanWriterが開発されると[2]、スコアデータから3Dアニメーション表現を

実現するためのシステム開発が多く試みられるようになった[3][4][5]。ヒューマノイド・ロボット分野の研究においても、ラバノテーションを、時系列に動きが書き表されたタスクと見なしコンピュータの内部表現として利用するという試みも行われてきた[6][7][8]。しかしながらそこでしばしば問題になるのは、スコアに記されている情報と、コンピュータ表現の際に必要な情報との不一致である[9]。例えば、ラバノテーションにおいて歩行動作は、足底部の接地のタイミングに関する情報が、重心の移動方向を伴って示される。そこでは暗黙のうちに、各関節が連動して動くことや身体がバランスを取ることが前提となっているが、それはスコア上では表記されない。人間がスコアを読んで実行するには十分な情報であっても、コンピュータ表現をおこなおうとする際には、情報を補填したり置き換えたりしないと実現が難しいということが起こりうるのである。ステパノフ表記法とラバノテーションは、ともに三次元的に身体の動きを記そうとする記述体系を持つ点で共通点があるものの、前者は音符方式、後者は抽象記号方式であり、その動きの記述方法はまったく異なっている。ステパノフ表記法で記された動きをコンピュータで可視化しようとする場合、それはどのような方法において実現でき、またどのような点で情報の補填が必要となるのかを検討する必要がある。

3. 研究目的

本研究では、3DCGアニメーションを用いて、ステパノフ譜に記された姿勢情報を可視化することを試みる。その上で、スコア上で想定されている運動特性とCG表現による出力結果とを比較することで、ステパノフ譜においてどのような動きが暗黙知として仮定され、それをコンピュータでどのように補完するのかについて検討することを目的とする。

4. 研究方法

本研究では、表記法の考案者であるステパノフが記した著書『人間の身体のアルファベット：人間の動きを音楽の記号を用いて記述する試み』（1892年）[10]に掲載されている23の譜例から、水平面方向の重心移動を伴わない動き15例（全身の動き：3例、脚部のみの動き：12例）を抽出した。まずこれらのスコアに記されている情報を、コンピュータが扱える記号列形式に手で書き換えた。その上でこのデータを、ゲームエンジンであるUnityに入力し、CGキャラクターの動作指示情報として適用することで動きの可視化を試みた。Unityを選択した理由は、豊富な3Dモデルがすでに用意されている点、ならびに各関節をパラメータを用いて自由に動かすことができる点が本研究の目的と合致したことによる。最後に出力されたアニメーションクリップと、ステパノフ譜で想定されている動きとを比較検討することで、スコアにどのような情報を補填すれば

より自然なCG表現が可能になるかを考察した。

5. スコアからCGアニメーションの作成

5.1 ステパノフ表記法のしくみ

ここでは、ステパノフ表記法のしくみについて概観しながら、研究対象とした舞踊譜をコンピュータが扱える記号列形式に手動で変換したことについての詳細を述べる。

ステパノフ表記法は、楽譜と同じく、左から右に向かって時間軸をとる。解剖学的視点から、人体は3つのパート、すなわち(1)胴体(股関節から頭頂まで)、(2)腕(肩関節から指先まで)、(3)脚(股関節から指先まで)に分けられ、それぞれのパートに対して譜表が割り当てられる。言い換えれば、一人の人間の身体は、これら三つの譜表を並置することによって示される(図1)。

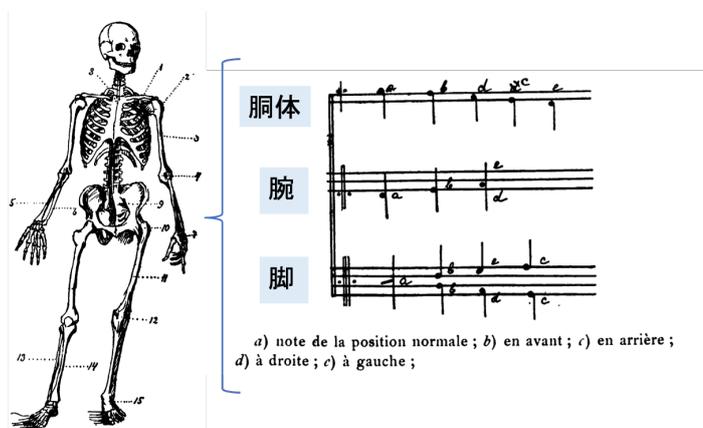


図1 ステパノフ表記法での身体に分節概念 [10]

楽譜の音高に当たる部分には、身体各部位の「方向と高さ」があらかじめ定義されている。例えば図2の「脚の第一の動き」では、高さ(45度、90度)と方向(前、横、後)の情報が、それぞれの音高に対応づけられていることを見ることができる。この「方向と高さ」の始点となるのは、身体各部位の”親”となる関節、すなわち胴体と脚においては股関節、腕においては肩関節である。その末端部位がとる方向と高さが、当該音高部分に音符を模した記号を置くことによって示される。なお腕と脚については、左右の識別が必要であるが、音符の下側に符尾が伸びている場合は右を、上側に符尾がある場合は左を示す。

また脚を交差させる場合には、音符から伸びる符尾の位置をずらすことによって、前後関係が示される(図2「バレエの足のポジション」)。例えば、譜表上で右側(時間の進行方向側)に符尾がある側の脚は、他方に対して前側に交差することを示す。交差させない場合は、符尾はずらず、ともに同じ位置に符尾が置かれる。

部位を回旋させる場合や、節となる関節を屈曲させる場合は、符尾に特定の付加記号が追加される(図2「脚の第

二の動き」「膝の動き」「足の動き」)。さらに、脚の譜表では床との接触情報が加えられる。足底部が完全に接地する場合は、四角い音符が用いられる。部分接地の場合は、図2「床との接触」に示されるように、丸い音符の傍に付された線の形状によって接触方法が区別される。

脚の第一の動き 前、横、後 45度、90度	
脚の第二の動き adduction (外転) abduction (内転) rotation (外旋・内旋)	
膝の動き 45度、90度、135度	
足の動き flexion, extension (屈、伸) adduction, abduction rotation	
床との接触 指だけつく(A) ポアント(B) 踵だけつく(C)	
バレエの足のポジション	 A: バレエの動きであることを示す。 B: 第1ポジション、C: 第2ポジション、 D, E: 第3ポジション(Dは右足 Eは左足前)、 F, G: 第4ポジション、H, I: 第5ポジション
移動	

図2 ステパノフ表記法における記号 [11]

5.2 ステパノフ譜の記号列表現

このような楽譜に近似したステパノフ譜の形式的特徴から、本研究では電子音楽で用いられる音楽情報のコンピュータ表現法を援用して、スコアをコンピュータが扱える形式に書き換えた。例えば楽器演奏の学習支援モデルを作成したChinらの研究[12]では、楽譜の形態を踏襲し、一音程に一行を割り当て、音を伸ばす時間領域を帯の長さで視覚的に示すというコンピュータ表現をとっている。同様の形式は、ボーカロイドなどの電子音楽ソフトでも採用されている。これらの例を参考に、ステパノフ譜に含まれている姿勢情報を、次に示すようにカンマ区切りのテキストファイルデータ(以下、記号列データと称す)に書き換えた。

図3は、ステパノフ表記法で記されたバレエの基本動作「プティ・バットマン・タンデュ」の譜例(上)を、ルールに基づき記号列データに書き換えたもの(下)である。記号列データでは、各行に方向と高さが定義され、各列には小節番号とカウントを定めることによりタイミングが示

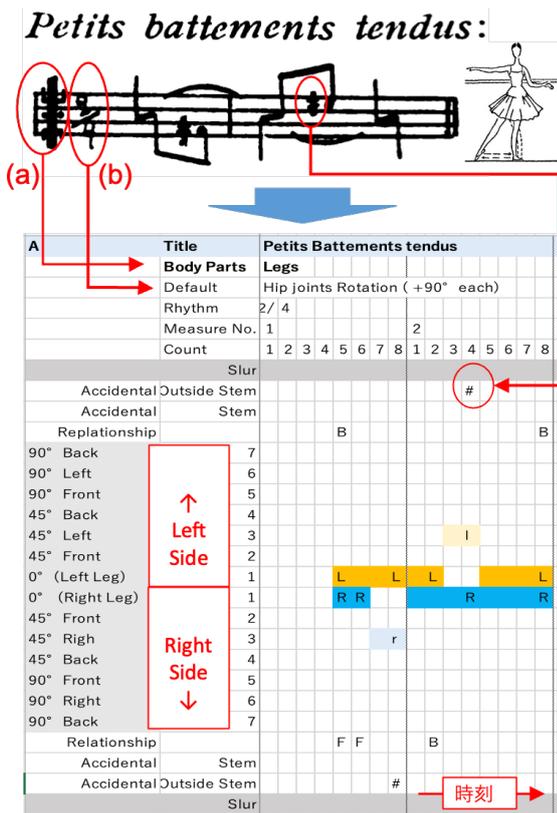


図 3 ステパノフ表記法による「プティ・バットマン・タンデュ」の譜例 [10] と作成した記号列データの例

される。図 3 における (a) は音部記号であり、そこに股関節の外旋記号が書き込まれている。(b) は拍子記号である。これらの情報は、当該譜表のはじまりから終わりまで一律有効な情報であり、記号列データの欄外に示した。

譜線に対する音符の位置とリズムを、対応する記号列データの行にテキストを用いて転記した。このとき音符の切れ目を識別するため、音符の終わりを示すセルのみに、身体部位と紐付けられたテキスト(例: 左脚=L, 右脚=R)を記した。なおテキストは基本的に小文字で記したが、足底部が完全に接地することを示す四角い音符の場合は、大文字にすることで識別した。

5.3 音符は何を表しているのか

楽譜において、音符はその音をどのくらいの時間をかけて「伸ばすか(保つか)」が示される。ステパノフ譜において、音符は何を表しているのだろうか。

ステパノフ譜における音符は、ステパノフ自身は「動き」を示していると述べ [10]、対して当表記法の改訂を手がけたゴールスキーは「ポーズまたは動き」を表しているとしている [13]。ポーズであるとすれば、音楽と同じくその姿勢をどのくらいの時間をかけて「保つか」という静止時間の情報になり、動きであるとするならばどの時間をかけて身体部位を「変位させるか」という運動の情報になる。

本稿では、そもそもこの表記法がなぜ楽譜に似せた形態

を採用し、いかなる思想的背景をもって生み出されたのかについては扱わない。しかしながら、この表記法が出現するまでの時期に広く使用されていたスティック・ピクチャ方式の舞踊表記法は、ポーズを記す表記法であったことに注意したい。もしステパノフ表記法も、これと同様にポーズを示すのだとすると、より複雑な表記体系を持つこの方式がわざわざ考案される理由がない。そのため本研究ではステパノフ表記法における音符は、動き、すなわち関節が任意の方向に向けて変位する、状態の移り変わりに要する時間的な幅を示しているとみなし議論をすすめた。なおここでいう音符のもつ時間的な幅は、音楽における音符とリズムの概念に完全に対応している(図 4)。

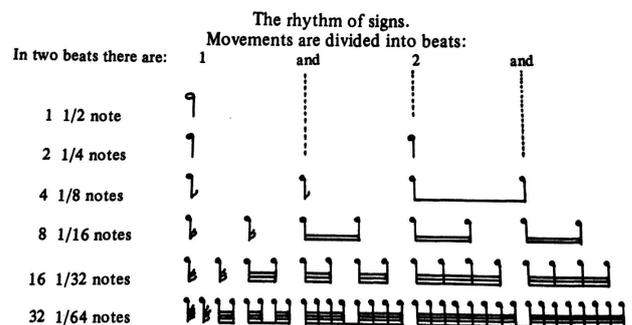


図 4 ステパノフ表記法で用いられる音符とリズム [13]

5.4 記号列データからアニメーション作成

ここでは、5.2 節で作成した譜の記号列データから、3DCG アニメーションを出力するまでの工程の詳細を示す。

5.4.1 記号列データから keypose の抽出

すでに見たとおりステパノフ譜における音符は、姿勢が連続的に変位する運動が実施されている時間領域を示す。逆にいえば、音符の「終わる」瞬間が、動きが「静止する」瞬間であると解釈できる。本稿では、この動きが静止する瞬間のことを keypose と称す。記号列データには、すでに keypose のタイミングと当該部位の位置情報が含まれている。その情報を各関節ごとき系列順に抽出し、テキスト形式で書き下した。

5.4.2 keypose からアニメーションの作成

次に、5.4.1 項で抽出した keypose を滑らかにつないでアニメーションを生成するために、ここでは Unity を用いた。すなわち、記号列データの keypose のタイミングで書き下された各関節の位置情報を、それぞれ Unity 上の人型 CG モデルの、対応する関節の自由度ごとの目標値として割り当てた。例えば記号列データでは、脚の方向、高さ、回旋がそれぞれ記載されているが、これは CG モデルの股関節の、矢状面上の屈曲・進展、前額面上の内転・外転、水平面上の外旋・内旋、という 3 つの自由度にそれぞれ割り当てた。このような処理を全ての関節および全ての keypose

に対して行った。なお、CGモデルの各自由度の現在値から目標値までの運動は、Unityが保有する補関数を用いて滑らかに補間した。順次、補関数を実行し、最終的には、得られた各関節の自由度ごとの時系列運動データを同時に再生することによりUnity上でアニメーションが得られた。

6. 出力されたCGアニメーションについての考察

本章では、5.4節に基づきコンピュータを用いて作成したアニメーションと、ステパノフ譜を比較した際に、アニメーションにみられた不自然な動きについて述べる。

6.1 不自然なアニメーションの一例

ここでは図3で取り上げたバレエの基本動作、プティ・バットマン・タンデュの舞踊譜を取り上げる。バットマン(battement)とは「打つ」という意味のフランス語であり、片足を離したり引きつけたりするバレエの動きの概念である。さらにタンデュ(tendu)という語は、「張る」という意味をもつバレエ用語である。つまり「バットマン・タンデュ」とは、バレエの2番あるいは5番ポジションによる両足での体重支持の状態から、膝を伸ばしたまま、動脚を床の上を滑らせるように動かしたのち、動脚爪先が接地した状態で片足支持の状態となり、再び元の両足支持のポジションに戻るという動きである。ステパノフ譜においてこの動きは、すなわち、「右脚前5番ポジションで両足裏が地面についた姿勢から始まり、股関節を始点として右脚を横45度方向に動かし爪先が接地した状態をとったのち、動脚を軸脚の後ろ側に滑らせるようにクロスし、最終的に両足底部が地面についた状態に戻る」という動きを、左右対称に二度繰り返す内容となっている。これを図3に示した記号列データをもとに5.4節の手順でCGアニメーションを得た。なお足首から爪先までの動きは自由度が高く処理が複雑になるため、本研究ではCGアニメーションに反映しなかった。

出力されたアニメーション結果からは、右足が元の姿勢に戻る前に、左足が動き出してしまい両足ともに地面から離れた状態になってしまうことが明らかとなった。本来であれば左右の足のどちらか一方が地面についていないと人間は起立姿勢を維持できないため、まさにこの瞬間が、作成したアニメーションの不自然な動きと言える。両足が地面から離れた瞬間のピクチャ画像を図5に示す。

さらに同動作のアニメーションを側面から観察すると、空間内での股関節位置が固定されるために、動脚が支持脚の後方にクロスする際にオフバランスの状態になることも明らかになった。物理的には、体重を両脚で支えるために身体全体がやや後退することが暗黙の了解となる。コンピュータ表現ではこのような物理的・解剖学的に不自然な



図5 プティ・バットマン・タンデュのアニメーションの一部をピクチャ画像で示す。時間に従い左、中央、右の順でアニメーションが遷移するとき、中央のタイミングにおいて両足ともに地面から離れてしまっていることがわかる。

状態が発生する点を補正する必要があるといえる。

6.2 不自然なアニメーションの原因

前節にのべた不自然な現象が起こる原因については、ステパノフ表記法の音符の拍の解釈に由来すると考えられる。5.4.1項に述べたように、我々は動作を示す音符の「終わる」瞬間に指定のkeyposeをとることとしアニメーションを作成してきた。

図6では、5.2節に述べた方法で記載した記号列データに対して時間遷移に伴う左右の足の動きをハイライトした。このとき、赤枠で記した部分におけるタイミングのズレが上記の不自然なアニメーションの原因となる。

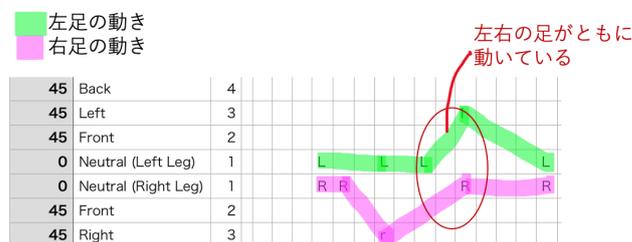


図6 プティ・バットマン・タンデュの記号列データの一部。時間変化に伴う右足の動きをピンクの線、左足の動きを緑の線でハイライトした。

人間が舞踊譜を読み、その内容を自分の体で表現する場合、上記の通りの解釈で厳密に再現しようにも左右どちらかの足が軸足として地面に接していないと姿勢を保てなくなるため、無意識的に補正してしまうことが考えられる。しかし、コンピュータの場合、そうした曖昧な部分の補正がかかることなく譜面に忠実に動きが再現されることが、今回のアニメーション作成により浮き彫りになった。

7. まとめと今後の課題

我々は、3DCGアニメーションを用いて、舞踊表記法の一つであるステパノフ譜に記された姿勢情報を可視化することを試みた。その上で、スコア上で想定されている運動特性とCG表現による出力結果とを比較することで、ステ

パノフ譜においてどのような動きが暗黙知として仮定され、舞踊動作をコンピュータで表現するにはどのような情報を補完する必要があるのか検討した。

結果として、身体が起立姿勢において転倒しないように必要な一部の情報が、ステパノフ譜のみからは十分に読み取れないことがわかった。具体的には、(1) 左右どちらかの脚が地面に接地していなければならないこと（ジャンプ等の特殊な場合を除く）、(2) 足の前後関係が入れ替わる際、同時に重心も変化すること、の2点である。人間がステパノフ譜を読んで舞踊動作を再現する場合には、これらの点を無意識的に補完するためスコアが示す舞踊動作を問題なく再現できるだろう。しかし、各関節の動きを示す数値情報のみから3DCGアニメーションを作成する際には、このような物理的・解剖学的に不自然な状態が発生する点を補正する必要があるといえる。

今回のアニメーションには物理シミュレーションを含んでおらず、アニメーションでは転倒可能な再生も取っている。今後は自然の物理法則を考慮した物理シミュレーションありのアニメーションを生成することでこういった不自然さを取り除くことが考えられる。

参考文献

- [1] Guest, Ann Hutchinson. *Choreo-Graphics: A Comparison of Dance Notation Systems from the Fifteenth Century to the Present*. London: Gordon and Breach, 1998.
- [2] Venable L., Sutherland S., Ross L., and Tinsley M. *LabanWriter 2.0*, Ohio State University, 1989.
- [3] Coyle, Michael, Diego Silang Maranan, and Tom Calvert. "A Tool for Translating Dance Notation to Animation." In *Proceedings of Western Computer Graphics Symposium*, Vol. 2002, 2002.
- [4] Wilke, Lars, Tom Calvert, Rhonda Ryman, and Ilene Fox. "From Dance Notation to Human Animation: The LabanDancer Project." *Computer Animation and Virtual Worlds* 16, no. 3-4 (2005): 201-11.
- [5] Choensawat, Worawat, and Kozaburo Hachimura. "Generating Stylized Dance Motion from Labanotation by Using an Autonomous Dance Avatar." In *GRAPP/IVAPP*, 535-42, 2012.
- [6] Ikeuchi, Katsushi and Ma, Zhaoyuan and Yan, Zengqiang and Kudoh, Shunsuke and Nakamura, Minako. *Describing upper-body motions based on labanotation for learning-from-observation robots*. International Journal of Computer Vision, vo. 126, No. 12, pp. 1415-1429, 2018.
- [7] Shiratori, Takaaki and Nakazawa, Atsushi and Ikeuchi, Katsushi. *Dancing-to-music character animation*. Computer Graphics Forum, vo. 25, No. 3, pp. 449-458, 2006.
- [8] Hu, Huaichin and Tseng, Rayuan and Lin, Chyicheng and Ming, Likuo and Ikeuchi, Katsushi. *Analyzing taiwanese indigenous folk dances via labanotation and comparing results from interdisciplinary studies*. Euro-Mediterranean Conference, pp. 196-206, 2014.
- [9] Ziegelmaier, Rafael Suarez, Walter Correia, João Marcelo Teixeira, and Francisco PM Simões. "Laban Movement Analysis Applied to Human-Computer Interaction." In *2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, 30-34. IEEE, 2020.
- [10] Stepanov, Vladimir Ivanovich. *Alphabet des mouvements du corps humain: essai d'enregistrement des mouvements du corps humain au moyen des signes musicaux*. Paris: M. Zouckermann, 1892.
- [11] 譲原晶子『踊る身体のディスクール』春秋社, 2007.
- [12] Chin, Daniel, Yian Zhang, Tianyu Zhang, Jake Zhao, and Gus G. Xia. "Interactive Rainbow Score: A Visual-Centered Multimodal Flute Tutoring System." ArXiv:2004.13908 [Cs], April 28, 2020. <http://arxiv.org/abs/2004.13908>.
- [13] Gorsky, Alexander. *Tablitsa Znakov Dlia Zapisyvaniia Dvizhenii Chelovecheskago Tela Po Sisteme V.I. Stepanova*. 1899. (Gorsky, Alexander. *Two Essays on Stepanov Dance Notation*. Translated by Roland John Wiley. Hampshire: Noverre Press, 2019.)