

2021年度 卒業論文

リズムゲームにおける譜面ノーツ動作パターンによる
難易度分析に関する研究

指導教員：渡辺 大地 教授

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト

学籍番号 M0118111

齊藤 浩輝

2022年2月

2021 年度 卒 業 論 文 概 要

論文題目

リズムゲームにおける譜面ノーツ動作パターンによる
難易度分析に関する研究

メディア学部

学籍番号： M0118111

**氏
名**

斉藤 浩輝

**指導
教員**

渡辺 大地 教授

キーワード

リズムゲーム、レーン、譜面、
方向、難易度、ノーツ

ゲームジャンルは様々あるが、その中の1つにリズムゲームというものが存在する。リズムゲームというのは、流れてくる曲に合わせて、特定のアクションを起こすことによって点数を獲得することが出来る。その点数がノルマと呼ばれる一定の値まで点数が取れるとゲームクリアとなる。リズムゲームのプラットフォームとして、家庭用ゲームやスマートフォンゲーム、アーケードゲームなど様々なものにリズムゲームが存在している。ゲームのコンセプトによって、ゲーム性やアクションの仕方などは変わっていくが、流れてくる曲に合わせてアクションを行いゲームを楽しむ所は変わらない。リズムゲームの難易度もシンプルなアクションのみでノーツを取る構成をされている簡単なものから、ゲームのアクションを細かく分かっていないと出来ないような難しいものまで様々ある。

多くのリズムゲームには、右のノーツと左のノーツを認識させるためにレーンと呼ばれるもので分けられている。ノーツの叩く位置や、流れていく所を分け、リズムゲームの根幹ともいえるノーツの流れ方に関するゲームデザイン、レベルデザインの所でもとても重要な部分になっている。リズムゲームとしてノーツ数を 2000 ノーツみたいに大量に置くことや、ノーツを右や左に散りばめるように置くことでゲームの難易度が高くなる。しかし、ノーツが流れていく方向によって譜面の見方が変わることで、難易度が変わってしまう。

本研究では、リズムゲームのノーツが流れていく向きに応じて実際に難易度の感じ方が変化しているのかを研究した。実験の結果として、流れる方向が異なるリズムゲームだと、同じ譜面でも難易度の差が異なるという結果が出たが、キーボードの操作が同じだと操作感が合わないという理由で難しいと感じた被験者もあり、ノーツの流れてくる方向で難易度が変わるかについて確信は得られないという結果となった。

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	研究の背景と目的	1
1.2	論文構成	3
第 2 章	リズムゲームについて	4
第 3 章	提案手法	9
3.1	概要	9
3.2	操作方法	9
3.3	譜面の作成方法	10
3.4	ノーツ判定のタイミング	10
3.5	制作したリズムゲームの説明	10
3.6	制作で用いたツールについて	12
第 4 章	実験方法、実験結果について	13
4.1	実験について	13
4.2	難易度の差について	13
4.3	実験結果	14
	4.3.1 グループ A の実験結果	14
	4.3.2 グループ B の実験結果	15
	4.3.3 自由記述について	15
4.4	考察	16
第 5 章	まとめ	17
	謝辞	18
	参考文献	19

目次

2.1	手前にノーツが流れてくるスタイルの参考画像	5
2.2	上から下にノーツが流れてくるスタイルの参考画像	6
2.3	右から左にノーツが流れてくるスタイルの参考画像	6
2.4	多方向からノーツが流れてくるスタイルの参考画像	7
2.5	その他のスタイルの参考画像	8
3.1	上から下にノーツが流れてくるスタイルのゲーム画面	11
3.2	右から左にノーツが流れてくるスタイルのゲーム画面	11
3.3	ゲームの判定リザルトの画面	12

表 目 次

4.1	グループ A のアンケート結果	14
4.2	グループ B のアンケート結果	15

第 1 章

はじめに

1.1 研究の背景と目的

ゲームジャンルは様々あるが、その中の 1 つにリズムゲームというものが存在する。リズムゲームというのは、流れてくる曲に合わせて、特定のアクションを起こすことによって点数を獲得することが出来る。その点数がノルマと呼ばれる一定の値まで点数が取れるとゲームクリアとなる。リズムゲームには、どのときにアクションを起こすかのタイミングを示唆するために必要なノーツというものがある。ノーツが流れているものを譜面と呼ぶ。リズムゲームのプラットフォームとして、家庭用ゲームやスマートフォンゲーム、アーケードゲームなど様々なものにリズムゲームが存在している。ゲームのコンセプトによって、ゲーム性やアクションの仕方などは変わっていくが、流れてくる曲に合わせてアクションを行いゲームを楽しむ所は変わらない。リズムゲームの難易度もシンプルなアクションのみでノーツを取る構成をされている簡単なものから、ゲームのアクションを細かく分かっていないと出来ないような難しいものまで様々ある。そのため、リズムゲームを始めたばかりの初心者から、リズムゲームの判定やアクションを細かいところまで理解している上級者まで幅広い人が楽しめるようになっている。

多くのリズムゲームには、右のノーツと左のノーツのようなものを認識させるためにレーンと呼ばれるもので分けられている。ノーツの叩く位置や、流れていく所を分け、リズムゲームの根幹ともいえるノーツの流れ方に関するゲームデザイン、レベルデザインの所でもとても重要な部分になっている。リズムゲームとしてノーツ数を 2000 ノーツみたいに大量に置くことや、ノーツを右や左に散りばめるように置くことで、譜面を見て適切なアクションをすることをより素早くよ

り早く判断しないとイケないため、難易度が高くなる。しかし、実際はそれだけでリズムゲームの難易度が高くなっているわけではない。リズムゲームにはノーツの数等を増やすほかに、ノーツが流れていく方向によって譜面の見方が変わるため、難易度の感じ方が変わってしまう。譜面の流れていく方向によって、ノーツの分け方に変化が生じるためレーンを変えないとイケなくなってしまう、レベルデザインの影響になりえる。

リズムゲームの難易度に着目した先行研究はいくつかある。都丸ら [1] の研究では、同じ曲でもメロディやドラム、拍子などのパラメータを調節して様々な難易度を自動生成できるようにしている。低難易度はうまくいったが、高難易度の自動生成はうまくいかなかった。他にも、川口ら [2] の研究では、機械学習をせずに動画や音声データから MIDI データに変換、雑音の削除等を行うことで譜面の自動生成を行い、かつ難易度に重要なノーツの数を指定した数に合うようにできる手法を提案した。リズムに山内ら [3] の研究では、プレイヤーの得意不得意という要素に着目をして、リズムゲームのプレイで重要な瞬発性や、複雑性などを計算してリズムゲームの難易度表現手法を考案した。辻野ら [4] の研究では、難易度が異なる譜面について着目することで、難易度が高いものから得られる音楽的特徴を入力することで、難易度の低いものを出力するという時系列深層学習モデルを制作した。そのモデルを用いて、譜面の難易度を自動的に調節する手法を提案した。しかし、それらの研究ではリズムや、ノーツの部分には着目をしていなかったが、譜面の流れていくスタイルで難易度に変化があることについては言及されていない。ノーツやレーンの着眼点が違うものに坂本ら [5] の研究がある。この研究は、フロー理論に基づいたアンケートを行い、レーンの数やノーツの数を増やして爽快感や集中度、ワクワク感を熟練度に分けて検証を考察していた。しかし、本研究では、2つのリズムゲームをプレイしていただくが、レーン数やノーツの数は固定であるため、リズムゲームの面白さについては今回は追求しない。紺野ら [6] の研究では、jubeat というリズムゲームで個人的に感じる難易度がプレイヤーごとに異なっていることを確かめ、決定木モデルとファジィモデルを用いて難易度の評価判定がより正しく出来ることを考察した。辻野ら [7] の研究ではダンスゲームで ITG データセットを用いてダンスゲームデータ

の中にある難易度の特徴を取得して、クラスタリングという近い特徴をグループ化することで分析を行った。香川ら [8] の研究では、音楽の重要なフレーズを取得するために FBKCE 法を提案し、フレーズを抽出を可能とした。さらに、フレーズを均等に抽出することと、ランダムに抽出することを合わせることで、様々な難易度の譜面を自動生成できるようにした。Liang ら [9] の研究では、OSU! というリズムゲームを対象として、beatmap という譜面を構成するものを対象に、プレイヤーが感じる難易度の要素をディープラーニングを用いて生成をした。中村ら [10] の研究では、マイクロタスクとリズムゲームを融合して、音楽理解技術を用いることでマイクロタスクの情報を入れつつ自動的に音楽から譜面を生成をする仕組みを提案した。

本研究では、まず同じ譜面でもノーツが流れてくる向きによってリズムゲームの難易度が異なるという仮説を立てる。そして、実際に難易度が変化しているのかを 2 つのスタイルが異なるリズムゲームをプレイしてもらうことで仮説が正しいかを研究した。実験の結果として、流れる方向が異なるリズムゲームだと、同じ譜面でも難易度の差が異なるという結果が出たが、キーボードの操作が同じだと操作感が合わないという理由で難しいと感じた被験者もあり、ノーツの流れてくる方向で難易度が変わるかについて確信は得られないという結果となった。

1.2 論文構成

論文構成としては、全 5 章で分けていく。2 章でリズムゲームというものを説明、3 章で提案手法、4 章で実験方法・実験結果、5 章でまとめという構成となっている。

第 2 章

リズムゲームについて

本章では、リズムゲームの説明をする。現在リズムゲームでは、ゲームセンターやスマートフォン、家庭用ゲームなど幅広いプラットフォームで遊ぶことが出来る。どれも、リズムよくノーツを叩くという基本的な特徴は共通している。

今回は大きく 4 つのスタイルとその他に分けて紹介する。述べる順番は以下の通りである。

- 奥から手前にノーツが流れてくるスタイル
- 上から下にノーツが流れてくるスタイル
- 右から左にノーツが流れてくるスタイル
- 多方向からノーツが流れてくるスタイル
- その他

まず 1 つ目は奥から手前にノーツが流れてくるスタイルである。プレイ画面は 3D 上となっている。バンドリ [11] やプロセカ [12]、チュウニズム [13] などに見られるもので、画面上からノーツが手前に引き付けられるように流れてくるタイプである。主にスマートフォンゲームによく見られるもので、レーン数は少ないものだと 4 レーン、多いものだと 16 レーンの物もありレーンの数がかかなり幅が広い。また、10 レーン以上のものの多くはノーツが複数のレーンに重なっている。1 つのレーンのみで複数のレーンに重なっていないものもある。以下の図 2.1 は手前にノーツが流れてくるスタイルの参考画像である。

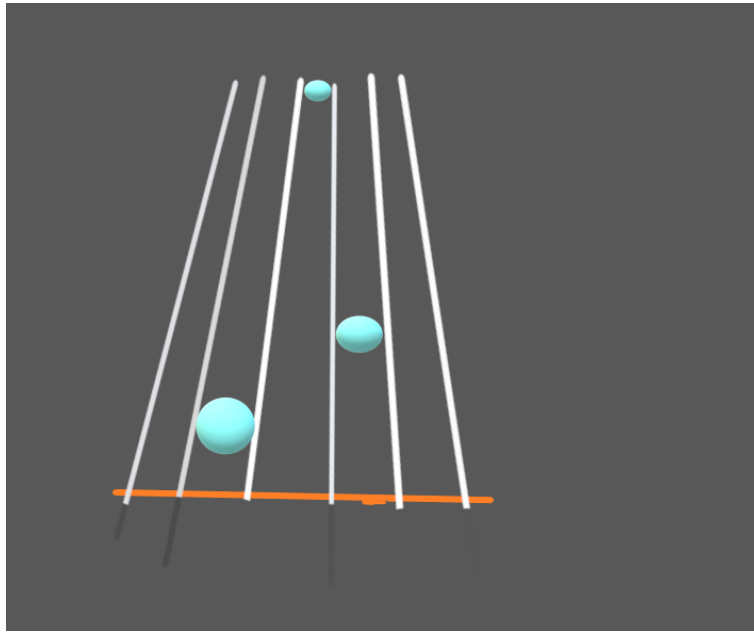


図 2.1 手前にノーツが流れてくるスタイルの参考画像

2つ目は上から下という縦方向にノーツが流れてくるスタイルである。1つ目に近い感じだが、2D 上のプレイ画面であり、ノーツが落ちていくものである。例としては、ビートマニア [14] などに見られるもので、レーン数は少ないものだと 4 レーン、多いものだと 9 レーンのものがある。以下の図 2.2 は上から下に流れてくるスタイルの参考画像を表している。オレンジの線にノーツが流れてくるタイミングでボタンを押すなどをして点数が取れるようになっている。

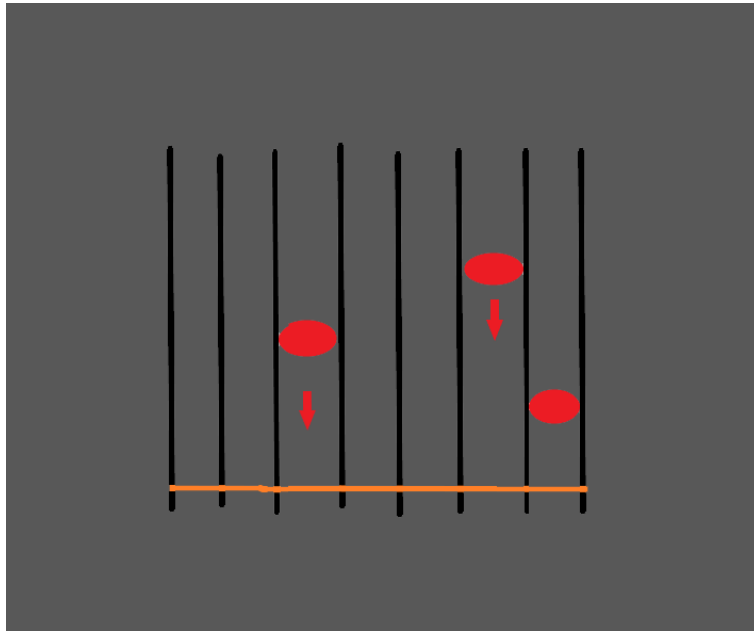


図 2.2 上から下にノーツが流れてくるスタイルの参考画像

3つ目は右から左という横方向にノーツが流れてくるスタイルである。2つ目のスタイル向きを変えたものである。例としては、太鼓の達人 [15] などに見られるもので、レーン数は1レーンや2レーンなど、1つ目や2つ目のスタイルに比べると少ない。以下の図 2.3 は右から左に流れてくるスタイルの参考画像を表している。

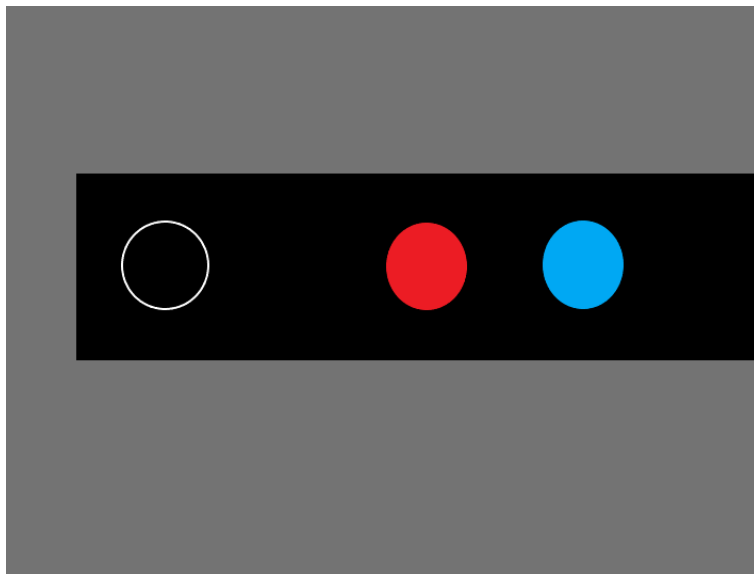


図 2.3 右から左にノーツが流れてくるスタイルの参考画像

4つ目は、多方向からノーツが流れてくるスタイルである。最初に書いた3つは1つの方向からしかノーツが流れてこないが、これは2方向、3方向などいろんな方向からノーツが流れてくるものを対象としている。例としては、Phigros[16] や Dynamix[17]、maimai[18] などが該当する。スマホのリズムゲームはレーンが無いものも多く、アーケードの音楽ゲームはレーン数が決まっているものが多い。以下の図 2.4 は多方向からノーツが流れてくるスタイルの参考画像を表している。

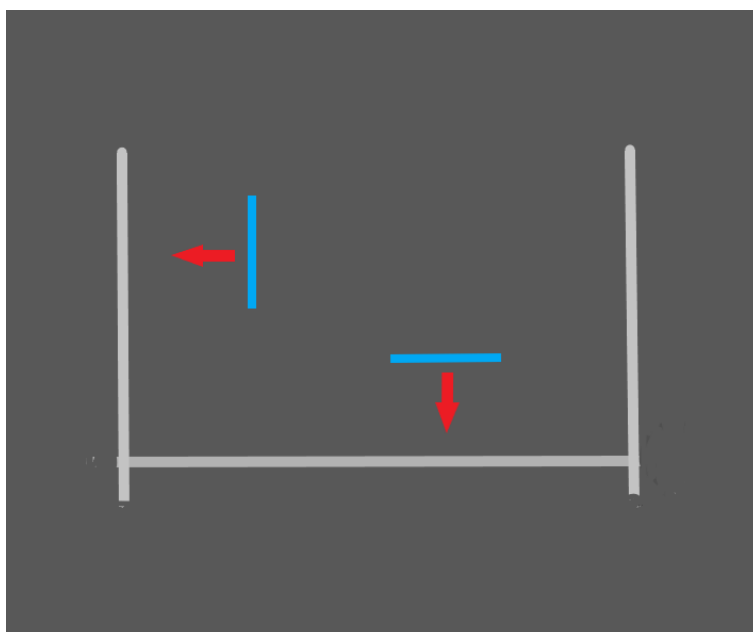


図 2.4 多方向からノーツが流れてくるスタイルの参考画像

これらの条件に当てはまらないものはその他として今回は分ける。ノーツが突然出てくるものや、別の要素が融合したもの、操作自体がモーションになるものをその他としている。その例として Cytus[19] や オンゲキ [20]、リズム天国 [21] などがある。これらのゲームもレーンは無いものが多い。以下の図 2.5 は Cytus をイメージとした参考画像を表している。バーが移動するもので、バーとノーツが重なったタイミングでアクションを起こすと点数が取れるようになっている。

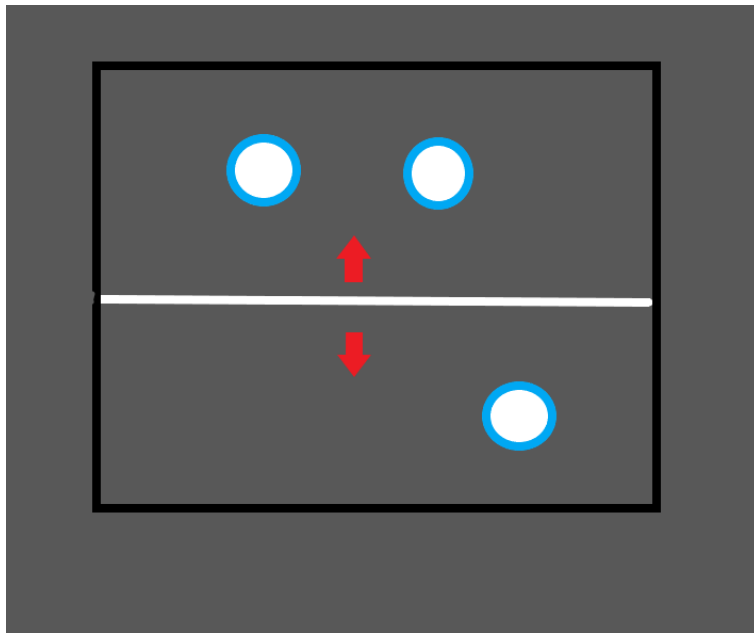


図 2.5 その他のスタイルの参考画像

本研究では、2つ目に述べた上から下に流れて来るスタイルと、3つに述べた右から左に流れてくるスタイルを研究の対象としている。

第 3 章

提案手法

本章では、本研究の提案手法について述べる。

3.1 概要

本研究では、難易度の感じ方を分析するので、2つのリズムゲームを制作した。リズムゲームは前章のリズムゲームの分類で述べた上から下にノーツが流れて来るスタイル、右から左にノーツが流れて来るスタイルをそれぞれ制作する。それぞれのスタイルで制作した譜面は同じ叩き方で取れるが、ノーツを流すスタイルを変えている。曲は「ハルジオン」という魔王魂のフリー素材の曲を用いている。この曲を選んだ理由として、曲のリズムが突然変わるということがなく、1拍ごとのタイミングが一定であるからである。レーン数はどちらも4レーンで、ノーツの種類はタップのみで長押しやフリックは扱わないものとした。ノーツをタップのみにした理由は、実験としてプレイしてもらった際に操作が複雑なことになるからである。また、PCでリズムゲームを行ってもらうため、フリックが操作が分かりにくくなってしまう。そのため、タップのみのシンプルなものとした。

3.2 操作方法

ノーツの叩き方はキーボードのD,F,H,Jキーを使う。このゲームは4レーンで構成されたリズムゲームで、キーボードのD,F,H,Jキーで操作をするものである。本研究で制作したリズムゲームの判定はperfect、great,badの3種類がある。perfectの時は青色、greatの時は黄色、badは赤色で表す。上から下にノーツが流れていくスタイルは左からD,F,H,Jキーで、左から右にノー

ツが流れてくるスタイルは上から D,F,H,J キーでノートを取るようになっている。

3.3 譜面の作成方法

譜面の作成として、ノートが流れて来るタイミング、ノートの場所を決めないとならない。まず、1 レーンごとに数字を割り振り、数字に該当した所のレーンにノートが流れるように作成した。また、ノートの流れて来るタイミングを調整するため、予め曲の BPM を変数として入れておく。今回は、その曲の BPM に合わせて 8 分のテンポを取得するように作成した。そのため、BPM が分かる曲でかつリズムが一定の場合この作成方法だと、BPM の値を変えることでそれぞれに合った 8 分のテンポを取得できる。その後が一番最初のノートのみ秒数を設定をして、後は曲のメロディに合わせるような形でそれぞれのレーンごとにノートを配置した。この作成方法の場合、ノートの配置がすべて手動で入力することになる。ノートの配置は、メロディが階段になっている場合は階段に、メロディのない所はノートを置かないようにした。

3.4 ノーツ判定のタイミング

ノート判定もリズムゲームをする上で重要な部分の 1 つである。今回は、x,y 座標の高さによって判定の部分を作る。ただこのままだとノートが遅ければノート判定の幅も大きくなり、ノート判定が変わってしまうので、ノートが流れてくるスピードに関してノート判定の高さを変えるように調整をした。

3.5 制作したリズムゲームの説明

以下の図 3.1 は、上から下にノートが流れてくるスタイルのゲーム画面を表している。上から下に、レーンの間をノートが流れていくもので、赤い線でレーンを表しており、横にひかれている黄色の線は叩く位置を表している。また、以下の図 3.2 は、右から左にノートが流れてくるスタイルのゲーム画面を表している。上から下に流れてくるものを横向きに変えたもので、向きが

変わっていること以外は変わっていない。

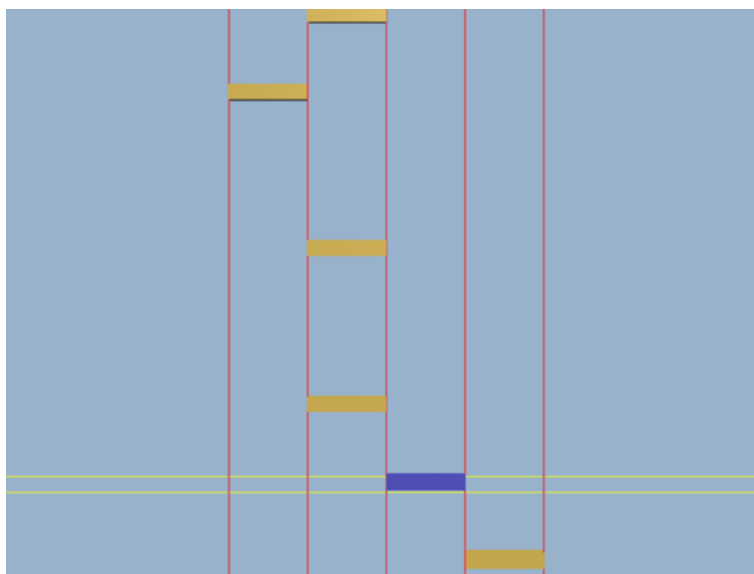


図 3.1 上から下にノーツが流れてくるスタイルのゲーム画面

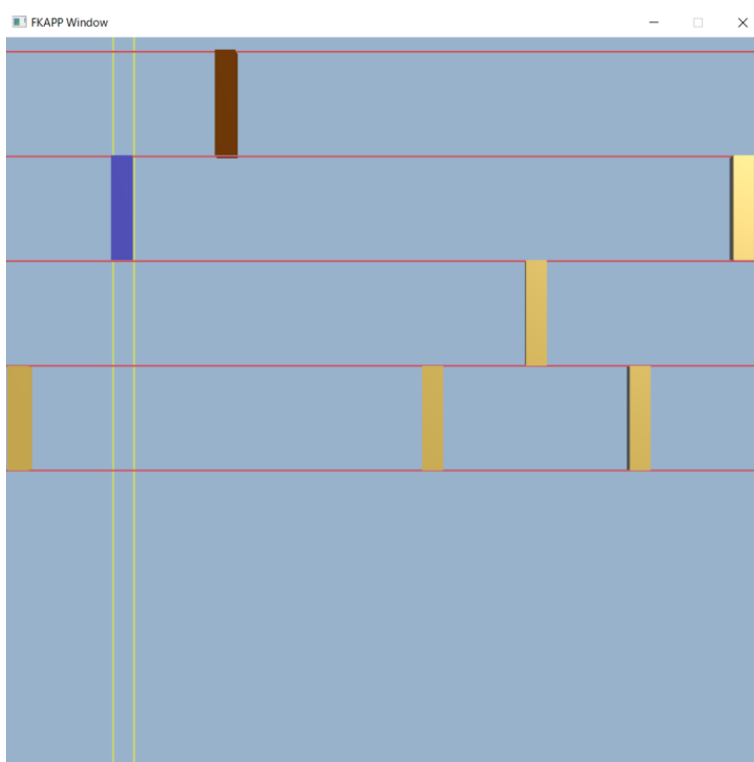


図 3.2 右から左にノーツが流れてくるスタイルのゲーム画面

黄色の線の間にはタイミング良くたたくと青色のノーツになり、合っていないと赤色や茶色に表示されるようになっている。また、ゲームが終了した際に Enter キーを押すとプレイしたリザルトが表示され、以下の図 3.3 のように、perfect 数、great 数、bad 数が表示される。

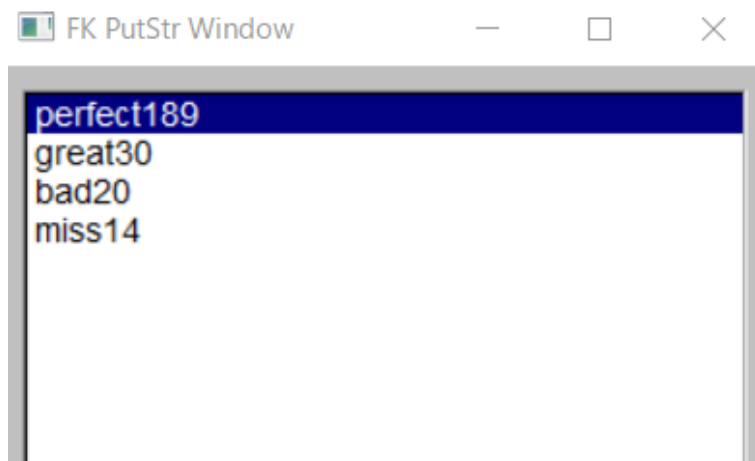


図 3.3 ゲームの判定リザルトの画面

3.6 制作で用いたツールについて

リズムゲームの制作として、Visualstudio の C # の中にある FK[22] というライブラリを用いている。

第 4 章

実験方法、実験結果について

本章では実際に本研究の手法を用いた譜面を実際に遊んで評価してもらい、それぞれのリズムゲームの難易度の感じ方について検証した。

4.1 実験について

本手法による 2 種類のスタイルが異なるリズムゲームを交互に 3 回ずつプレイしていただく。今回は、グループ A とグループ B に分かれてもらい、グループ A の人は、上から下に流れてくるスタイルから最初にプレイしてもらい、グループ B の人は、右から左に流れてくるスタイルからプレイしてもらった。どちらもノーツの流れていく方向は違うが、全く同じアクションでノーツを取れるようにしている。実験後に難易度の感じ方についてのアンケートに回答してもらおう。アンケートの内容は、実験前に被験者がリズムゲームをプレイしたことあるか。また、PC のリズムゲームをプレイしたことがあるかを調査した。加えて、上から下に流れてくるスタイル、右から左に流れてくるスタイルの難易度の感じ方について、かなり簡単・簡単・やや簡単・やや難しい・難しい・かなり難しいの 6 段階評価で答えるようにしてもらった。また、やや難しい・難しい・かなり難しいと答えた人になぜ難しく感じたかを自由記述で回答してもらい、何故同じアクションで取れるが難易度の感じ方に変化が起きるかを調査した。

4.2 難易度の差について

それぞれのリズムゲームの難易度には異なるという仮説を立てているので、その仮説を検証するために難易度の差を計算式で求めるようにした。計算式は、右から左に流れてくるスタイルの

難易度から上から下に流れてくるスタイルの難易度を引いたものとしている。それぞれの値は、かなり簡単が1、簡単が2、やや簡単が3、やや難しいが4、難しいが5、かなり難しいが6としている。値が出た後に、この計算式で合計値が-だった場合は上から下に流れてくるスタイルが難しい結果となり、合計値が+だった場合は、右から左に流れてくるスタイルの方が難しい結果となる。

4.3 実験結果

実験は7名に行った。そのうちグループAの人が4人、グループBの人が3人である。また、被験者全員が何かしらのリズムゲームをプレイしたことがあり、PCのリズムゲームをプレイしたことは2人いた。

4.3.1 グループAの実験結果

まず、グループAの人たちの難易度の感じ方については以下の表4.1である。表の内容は、左から、被験者の名前、上から下に流れてくるスタイルの難易度、右から左に流れてくるスタイルの難易度、難易度の差を値として表している。結果、グループAの人たち全員の値が+なので、上から下に流れてくるスタイルより、右から左に流れてくるスタイルの方が難しいという結果となった。

表 4.1 グループAのアンケート結果

被験者名	上から下	右から左	難易度差
被験者 A	やや簡単	難しい	3
被験者 B	やや簡単	かなり難しい	4
被験者 C	難しい	かなり難しい	1
被験者 D	やや簡単	かなり難しい	4

4.3.2 グループ B の実験結果

次に、グループ B の人たちの難易度の感じ方については以下の表 4.2 である。結果として、グループ B の人たちもグループ A の人たちと同じように全員の値が + なので、上から下に流れてくるスタイルより、右から左に流れてくるスタイルの方が難しいという結果になった。

表 4.2 グループ B のアンケート結果

被験者名	上から下	右から左	難易度差
被験者 E	やや難しい	かなり難しい	2
被験者 F	やや難しい	かなり難しい	2
被験者 G	やや難しい	かなり難しい	2

4.3.3 自由記述について

アンケートに上から下に流れてくるスタイルのリズムゲームと右から左に流れてくるスタイルリズムゲームが何故難しく思えたのかをやや難しい・難しい・かなり難しいと答えた人に自由記述として書いてもらった。上から下に流れてくるスタイルで難しいと答えた人 4 人いて、以下のように答えていた。特に、タイミング良くキーボードを押す操作になれていない人が多いという理由で難しいと答えた人が 2 人いた。

- 押したキーに対してのリアクションが無い。
- キーボードの操作に慣れてない、タイミングのずれがあった。
- タイミング良くキーボードを押す操作に慣れていない。

次に右から左に流れてくるスタイルで難しいと答えた人の回答をしてもらった。難しいと感じた人は 7 人全員で、以下のように答えていた。特に、キーボードの配置が譜面の流れる向きと合っていないと回答した人が 6 人と圧倒的に多かった。

- 横向きのスタイルのリズムゲームをあまりプレイしたことがなく、慣れていないから
- キーボードの配置が横向きに流れるのに、横並びの配置であるため視覚的にプレイしづら
いから。

4.4 考察

ここからは実験の結果に対して本研究の考察を行う。実験結果から、同じアクションでノートを取るものでもノーツの流れて来る方向によってリズムゲームの難易度が異なるということを検証することが出来た。しかし、何故それぞれのスタイルの難易度が難しいと記述してもらった際にタイミング良くキーボードを押す操作が慣れていなかったり、キーボードの配置が譜面の流れる向きと合っていないと回答した人が多かった。今回のリズムゲームの操作はどちらも同じくキーボードの D、F、H、J キーを押す操作だったため、上から下に流れてくるスタイルのリズムゲームでは譜面の流れ方とキーボード配置が合っている、右から左に流れてくるスタイルのリズムゲームでは合っていないと指摘をされる結果となった。そのため、仮説として立てたリズムゲームの譜面の流れ方によって難易度が異なるという検証が正しいとは限らないことが分かった。また、難易度の差が出た原因が譜面の流れ方とは別問題であることがアンケートの結果として分かった。他にも、リズムゲームの譜面をリズムよくたたきタイミングを座標に関係して作っていたため、判定が少しずれてしまったこともあった。今回のリズムゲームを同じ譜面を制作したが、その譜面自体が純粋に難しいと回答した人もいたため、もう少しシンプルに叩かせるためにノーツの密度を減らすことや、カウントダウンを加えて準備が出来てからプレイすることも改善点として挙げられる。

第 5 章

まとめ

本研究では、同じ譜面でもノーツが流れてくる向きによってリズムゲームの難易度が異なるという仮説を立てた。そして、実際に難易度が変化しているのかを2つのスタイルが異なるリズムゲームをプレイしてもらうことで仮説が正しいかを検証した。結果から、同じアクションでノーツを取るものでもノーツの流れて来る方向によってリズムゲームの難易度が異なるということを検証することが出来た。しかし、何故それぞれのスタイルの難易度が難しいと記述してもらった際にタイミング良くキーボードを押す操作が慣れていなかったり、キーボードの配置が譜面の流れる向きと合っていないと回答した人が多かったため、必ずしもこの検証が正しいとは限らないことが分かった。また、リズムゲームの難易度の差については別の問題があることも分かった。

今後の展望として、被験者の数が少なかったので、より多くの人にプレイをしてもらい、本手法に対しての検証の質を上げていきたい。今回はノーツが流れてくる方向が異なる2つスタイルのリズムゲームを制作したが、リズムゲームの章で紹介した他のスタイルに対応したリズムゲームを制作して、かつそれぞれのリズムゲームのスタイルで同じアクションで出来るものを複数の難易度で用意をすることで難易度の感じ方についてより細かく分析していきたい。また、今回のリズムゲームすべて手動でノーツの配置、タイミング調整を行っていたため、自動的にノーツの配置、生成を目指したい。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、多くのアドバイスや指導をしていただいた渡辺大地教授、阿部雅樹実験助手には大変お世話になりました。特に渡辺先生には、プログラムに対してのアドバイスや、研究の方針、アンケートの内容修正など様々なところでお手数をお掛けしていました。ここまで研究を進められたのも、気長に対応をしてくださったおかげです。最終発表用のパワーポイントや発表内容も渡辺先生や阿部先生のアドバイスのおかげで自分では気づきにくい癖や内容について修正でき、より良い最終発表に迎えることが出来ました。また、ギリギリまで実験が出来ていない中、わざわざ時間を空けて実験を手伝ってくれた方々にはとても感謝しています。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 都丸英紀. 楽曲からのリズム取得の違いによる音楽ゲーム譜面の難易度表現の研究. 学部卒業論文, 東京工科大学メディア学部ゲームサイエンスプロジェクト, 2017.
- [2] 川口雄大. リズムゲームにおけるノーツ数を考慮した譜面の自動生成に関する研究. 学部卒業論文, 東京工科大学メディア学部ゲームサイエンスプロジェクト, 2020.
- [3] 山内卓也. プレイヤーの得意不得意な要素に着目したリズムゲームの難易度の表現と算出. 学部卒業論文, 法政大学情報科学部コンピュータ科学科, 2019.
- [4] 辻野雄太, 山西良典, 西原陽子, 福本淳一. 時系列深層学習に基づく難易度間関係モデルを用いたダンスゲーム譜面難易度の研究. 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 11, pp. 1953–1964, 2018.
- [5] 坂本洸, 橋本剛. フロー理論を用いた音楽ゲームの要素が面白さに与える影響の分析. 情報処理学会研究報告, Vol. 183, No. 11, 2019.
- [6] 紺野凌, 西野順二. 音楽ゲームの個人難易度ファジィモデル. 情報処理学会研究報告, Vol. 39, No. 9, 2018.
- [7] 辻野雄太, 山西良典, 山下洋一, 井本桂右. ダンスゲーム譜面の特性分析とクラスタリングに基づく特徴的な譜面の自動生成. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, pp. 96–103, 2019.
- [8] 香川俊宗, 手塚宏史, 稲葉真理. 音楽の重要な構成要素の抽出の提案-音楽ゲーム用譜面自動生成のために-. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集, pp. 326–333, 2015.
- [9] Liang Yubin, 池田心. リズムゲームの上達を支援するコンテンツ自動生成法. 情報処理学会研究報告. GI, 研究報告ゲーム情報学, Vol. 2018-GI-39, No. 11, pp. 1–7, 2018.

- [10] 中村聡史, 十文字優斗. 音楽理解技術を利用したマイクロタスク埋め込み型音楽ゲームの自動生成. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , Vol. 2015-HCI-164, No. 7, pp. 1–6, 2018.
- [11] 株式会社 CraftEgg. バンドリガールズアンドパーティ. <https://bang-dream.bushimo.jp/>. 参照: 2021.12.21.
- [12] 株式会社 ColorfulPalette. プロジェクトセカイカラフルステージ feat. 初音ミク. <https://pjsekai.sega.jp/>. 参照: 2021.12.21.
- [13] 株式会社 SEGA. チュウニズム. <https://chunithm.sega.jp/>. 参照: 2021.12.21.
- [14] 株式会社 KONAMI. Beatmania. <https://p.eagate.573.jp/game/2dx/29/>. 参照: 2021.12.21.
- [15] バンダイナムコエンターテインメント. 太鼓の達人. <https://taiko.namco-ch.net/taiko/>. 参照: 2021.12.22.
- [16] PigeonGames. Phigros. <https://wikiwiki.jp/phigros/>. 参照: 2021.12.22.
- [17] C4CatEntertainmentLimited. Dynamix. https://dynamixc4cat.fandom.com/wiki/Main_Page. 参照: 2021.12.23.
- [18] 株式会社 SEGA. maimai. <https://maimai.sega.jp/>. 参照: 2021.12.23.
- [19] Rayark. Cytus. <https://www.rayark.com/g/cytus2/>. 参照: 2021.12.24.
- [20] 株式会社 SEGA. オンゲキ. <https://ongeki.sega.jp/>. 参照: 2021.12.24.
- [21] 株式会社任天堂. リズム天国. <https://www.nintendo.co.jp/3ds/bpjj/>. 参照: 2021.12.24.
- [22] Fine kernel toolkit system. <https://gamescience.jp/FK/>. 参照: 2022.2.9.