

カラオケを盛り上げるためのタンバリン演奏支援システム

栗原 拓也^{1,a)} 木下 尚洋¹ 山口 竜之介¹ 横溝 有希子² 竹腰 美夏² 馬場 哲晃² 北原 鉄朗^{1,b)}

受付日 2016年8月4日, 採録日 2017年2月9日

概要: 本稿では, カラオケにおいて歌っていない人に対してタンバリンの演奏を促すことで, 歌っていない人もカラオケを楽しみ, 盛り上げることができるシステムを提案する. カラオケに行った際に, 歌われている曲を知らなかったり, どのようにして一緒に盛り上げてよいか分からず, ただ曲を聴いているだけで退屈をしてしまう人は少なくない. そのような場合に対して, カラオケ店に置いてあるタンバリンの使用を促すため, どのようにタンバリンを演奏するか自動で生成・表示し, ゲーム風の画面により正しく叩いているかをフィードバックする. しかし, これだけではタンバリン演奏者が1人でタンバリンの演奏をゲーム感覚で楽しんでしまい, 歌唱者や他の人と一体になってカラオケを楽しむ目的からは外れてしまう可能性がある. そこで, 歌唱者も含めて全員がタンバリン演奏に参加するようにする. システムを実装し, 実際にカラオケ店で実験したところ, 次の可能性が示唆された. (I) 本システムによりワンパターンなタンバリン演奏を防ぐことができる. (II) タンバリン奏者が知らない楽曲に対しては, 譜面の表示によりタンバリンを演奏しやすくなる. (III) カラオケの一体感を高めるには, 全員がタンバリン演奏に参加することが効果的である. 一方, 次のような課題も明らかになった. (i) 生成されるタンバリン譜の難度が高く, 正確なリズムで演奏できない場合があり, その場合むしろ歌いにくくなる. (ii) タンバリン演奏がうるさく感じられる場合がある. (iii) 歌い手がタンバリンを叩く際に, 歌いながらタンバリンを叩くのが難しい場合がある.

キーワード: カラオケ, タンバリン, 演奏支援, MIDI

A Tambourine Support System to Improve the Atmosphere of Karaoke

TAKUYA KURIHARA^{1,a)} NAOHIRO KINOSHITA¹ RYUNOSUKE YAMAGUCHI¹ YUKIKO YOKOMIZO²
MINATSU TAKEKOSHI² TETSUAKI BABA² TETSURO KITAHARA^{1,b)}

Received: August 4, 2016, Accepted: February 9, 2017

Abstract: In this paper, we propose a system that enables non-singing people in karaoke to enjoy the karaoke by supporting their tambourine performance. In karaoke, it is often difficult for non-singing people to enjoy the songs being sung when they do not know the songs. This is because they do not find how to enlive the singing of such unknown songs and accordingly they cannot do anything other than listening to them. Here, we focus on the tambourine, which is provided in most karaoke spaces in Japan. Our system automatically generates the tambourine part of a singing song and instructs how a non-singing person plays the tambourine. The system feeds back how correct the user's performance is through the display in a common music game style. However, if only one person is enabled to play the tambourine, only he/she may enjoy to play the tambourine, accordingly causing a different result from our goal that both singing and non-singing people enjoy karaoke together. We therefore improve the system so that all participants including singing one join in the tambourine performance. The results of experiments in an actual karaoke space imply the following possibilities: (I) Our system avoids monotonous tambourine performance. (II) It makes it easier to play the tambourine for songs that the player does not know. (III) Playing the tambourine together with all participants is effective to improve a sense of unity. On the other hand, we found the following issues: (i) Our system sometimes generates tambourine scores that are difficult to play in accurate rhythm, and it makes singing difficult. (ii) The tambourine sometimes sounds too loudly. (iii) It is sometimes difficult for singers to play the tambourine while singing.

Keywords: Karaoke, tambourine, musical performance support, MIDI

1. はじめに

今日カラオケは、多くの人に親しまれており娯楽の1つとして根づいている。しかし、複数人でカラオケに行った際に歌を歌っていない人たちは、歌われている曲を知らない、どのように歌っている人と一緒に楽しめばいいのかわからないなどで、カラオケを退屈だと感じてしまうことが多くある。我々が行った調査では、大学生30人のうち27人がカラオケにおいて非歌唱時に退屈と感じたことがあると答えた。このような問題を解決するために、カラオケ店ではタンバリンやマラカスなどの打楽器が用意されていることがあるが、どのように演奏すればよいのかわからず使用しない、使うことが恥ずかしいなどの問題が生じてしまい使い辛いのが現状である。これまで、カラオケにおける歌唱修正 [1] や背景映像の自動生成 [2] などでは取り組まれてきたが、打楽器を用いてカラオケの盛り上げを支援する取り組みは行われていなかった。また、一般的な場面における打楽器演奏支援の研究 [3] はあるものの、カラオケでの打楽器演奏に着目したものではなかった。

本研究では、タンバリンの使用を促すことでカラオケの盛り上げを支援するシステムを提案する。カラオケの伴奏に用いられている MIDI データから曲のリズムに合わせてどのようにタンバリンを演奏するか（以下、タンバリン譜と呼ぶ）を自動で生成し、カラオケの画面上にタンバリン譜を表示する。タンバリン譜を自動生成・提示することで、タンバリンをどう演奏していいかわからない人でもタンバリンを演奏できるようにする。また、タンバリン譜をゲーム風に表示することでタンバリン演奏に対して動機付けを行い、タンバリンを演奏してみたいと思わせる工夫をする。しかし、1人だけがタンバリンを演奏すると、その人だけがタンバリン演奏をゲーム感覚で楽しんでしまい、歌唱者と非歌唱者とが一体になってカラオケを楽しむという目的から外れてしまう可能性がある。そこで、歌唱者を含むその場にいる全員がタンバリンの演奏に参加するようにすることで、この問題の解決を図る。

以下、2章では本システムの全体構成について述べる。その後、3章でタンバリン譜の生成方法を提案する。4章では、タンバリン演奏の判定方法について述べる。5章からは実験について述べる。まず5章で、本システム（ただし単独演奏版）と、本システムからタンバリン譜の生成・表示とタンバリン演奏の判定・フィードバック機能を省略したものとを比較し、これらの機能の有効性を評価する。次

に6章で、1人だけがタンバリンを演奏する場合と全員がタンバリン演奏に参加することの有効性を評価する。7章で各要素技術について評価する。8章では、現時点で実現していない事柄を述べ、今後取り組むべき課題を論ずる。最後に、9章でまとめを述べる。

2. システム構成

本システムは、通常のカラオケのような伴奏の再生および歌詞の表示にタンバリン譜の表示を加えることで、タンバリンの演奏方法を自ら考えられない人でもタンバリン譜の演奏を可能にするものである。タンバリンの演奏には、タンバリンに Wii リモコン [4] を取り付けたもの（図 1、本稿では「Wii タンバリン」と呼ぶ）を使用し、タンバリン奏者（以下、叩き手という）が譜面どおりに演奏できたときにそのことが分かるように表示を変化させる。

システムの流れを図 2 に示す。本システムを起動すると、まず Wii リモコンとの通信が行われる（2.1 節）。その後、メニュー画面（図 3）に移行する（2.2 節）。メニュー画面では「練習モード」（2.3 節）か演奏したい楽曲を選ぶことができるが、初めて本システムを使用する際には、必ず練習モードを実行しなければならない。このモードで、ユーザに本システムの使い方を覚えてもらうとともに、演奏の判定に必要ないくつかの値を取得する。練習モードが終

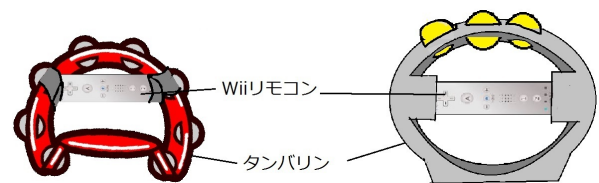


図 1 Wii タンバリンの模式図

Fig. 1 Schema of Wii Tambourine.

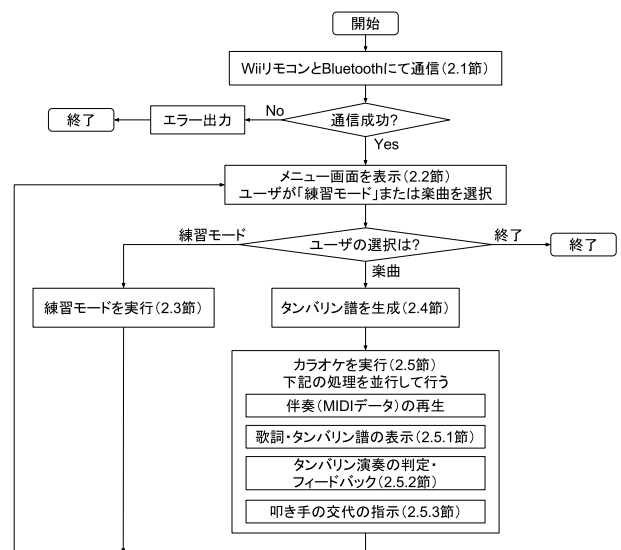


図 2 システムの流れ

Fig. 2 System flow.

1 日本大学
Nihon University, Setagaya, Tokyo 156–8550, Japan
2 首都大学東京
Tokyo Metropolitan University, Hino, Tokyo 191–0065, Japan
a) kurihara@kthrlab.jp
b) kitahara@chs.nihon-u.ac.jp

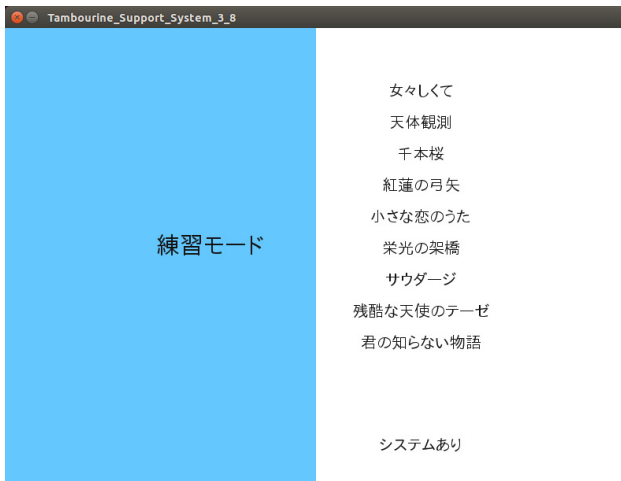


図 3 メニュー画面。現在選択中の項目が点滅し、Wii リモコンの十字キーおよびボタンで「練習モード」またはカラオケで演奏する楽曲を選ぶ。「システムあり」は、タンバリン譜の生成・表示、演奏の判定・フィードバック、叩き手の交代の指示が有効であることを表す

Fig. 3 A screenshot of the menu mode. The user can select the practice mode or a song to be played back with the cross key of Wii Remote.

了すると、改めてメニュー画面に戻るので演奏したい楽曲を選択する。すると、あらかじめ用意された伴奏再生用の MIDI ファイルからタンバリン譜を生成する (2.4 節)。タンバリン譜の生成が終わったらすぐに MIDI ファイルの再生が開始され、カラオケが始まる (2.5 節)。カラオケ実行中は、歌詞・タンバリン譜の表示 (2.5.1 項)、タンバリン演奏の判定・フィードバック (2.5.2 項)、叩き手の交代の指示 (2.5.3 項) が並行して行われる。

2.1 Wii リモコンとの Bluetooth による通信

本システムを起動するとまず Wii リモコンと Bluetooth で接続を試みる。

2.2 メニューの表示

2.1 節の Wii リモコンとの接続が完了したら、図 3 のメニュー画面が表示される。このメニュー画面では、現在選択中の項目が点滅し、Wii リモコンの十字キーを用いて「練習モード」またはカラオケで演奏する楽曲を選ぶことができる。Wii リモコンのボタンでそれを確定させる。2.5.1～2.5.3 項で述べるタンバリン譜の表示、演奏の判定・フィードバック、叩き手の交代の指示は無効にすることもできる。有効の場合は「システムあり」、無効の場合は「システムなし」と表示される。無効の場合は、カラオケ実行中は歌詞だけが表示される。

2.3 練習モードの実行

「練習モード」では、初めてシステムを使用する人に対し



図 4 練習モードの画面例

Fig. 4 A screenshot of the practice mode.

て、画面の意味を覚えタンバリン演奏に慣れる機会を与える。練習モードでは、「叩く」「強く叩く」「上で叩く」(タンバリンを高い位置に持ち上げて叩くことを意味する)「下で叩く」(タンバリンを低い位置で叩くことを意味する)「振る」の演奏指示がアイコンとテキストの両方で表示されるので、練習する人全員が同時に指示に従った演奏をする。練習モードにおける画面例を図 4 に示す。基本的にはカラオケ実行中の画面 (図 5, 詳細は 2.5.1 項で説明) と同様であるが、次の違いがある。

- 歌詞表示部に練習すべき叩き方 (「叩く」「強く叩く」「上で叩く」など) が表示される。
- 演奏の判定の基準となる値の取得を兼ねているため、演奏の判定は行わず、そのため正しく叩いたとしても「OK」とは表示されない。
- 全員が同時に実施するため、プレイヤーを区別するための色のついた円は表示されない。
また、同時に次のことも行う。
- 叩いたと判定する加速度の閾値の決定
- 強く叩いたと判定する加速度の閾値の決定
- 振ったと判定するタンバリンを左右に振った回数の閾値の決定
- 動きのパターン認識に利用するデータの学習

2.4 タンバリン譜の生成

演奏練習の後、演奏する曲を選ぶと、その曲に合ったタンバリン譜を生成する。詳細は 3 章で議論するが、基本的には楽曲再生用の MIDI データのスネアドラムのパートに基づいて生成する。タンバリン譜の生成では、タンバリンを叩くタイミングや叩く強さだけでなく、「上で叩く」「下で叩く」といった叩く際の手の位置の指示も生成する。ただし、手の位置の指示は省略することができる。

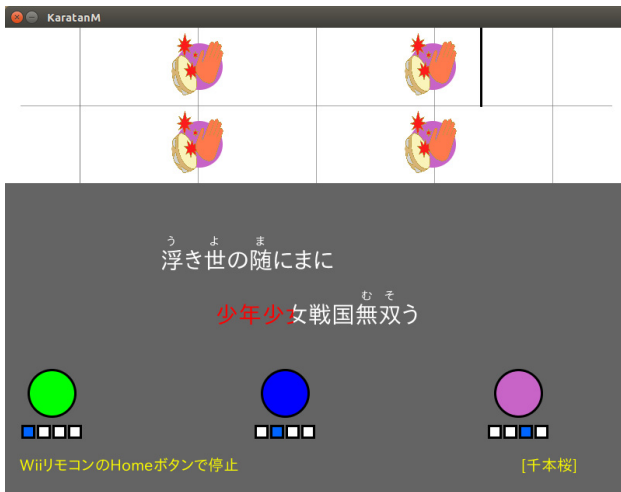


図 5 カラオケ実行中の画面例. 画面上部にタンバリン譜, 画面中央部に歌詞が表示される. タンバリン譜は 1 小節分を 1 行として, 2 行表示する. この例では各小節 2 拍目, 4 拍目にタンバリンを叩くことを意味する. 誰が叩き手かはタンバリンのアイコンの背後にある円の色で区別される. この色と各 Wii タンバリンの LED の点灯パターンの対応関係が画面下部に表示されている

Fig. 5 An example of the display during karaoke. The tambourine score and the lyrics are displayed on the upper part and the center in the screen. The display of the tambourine score consists of two lines, each of which corresponds to one measure. This example represents to beat the tambourine at the 2nd and 4th beats in each measure. The performer is specified by the color of the circle behind the tambourine icon. The correspondences between those colors and the lighting patterns of Wii Tambourine's LED displayed on the lower part in the screen.

2.5 カラオケの実行

タンバリン譜の生成が終了すると, MIDI データの再生が始まり, カラオケがスタートする. MIDI データ再生中は, 以下に示す歌詞・タンバリン譜の表示, タンバリン演奏の判定・フィードバック, 叩き手の交代の指示が並行して行われる.

2.5.1 歌詞・タンバリン譜の表示

カラオケ中は, 通常のカラオケと同様に歌詞が表示され, その上部にタンバリン譜が表示される (図 5). 表示部の詳細を以下に示す.

- 画面上部

概要 画面上部の, 5つの縦線が横に並んだものが2行にわたって表示されている領域に, タンバリン譜が表示される. この表示部を説明した図を図 6 に示す. 1行が1小節に対応し, 縦線は拍節を表す. つまり, 同時に2小節分のタンバリン譜が表示される. ここにタンバリンを叩くことを示すアイコンと現在の演奏位置を表す太線が表示される. 太線は楽曲の進行に合わせて自動的に左から右へ移動する. このアイコンと太線が重なるタイミン

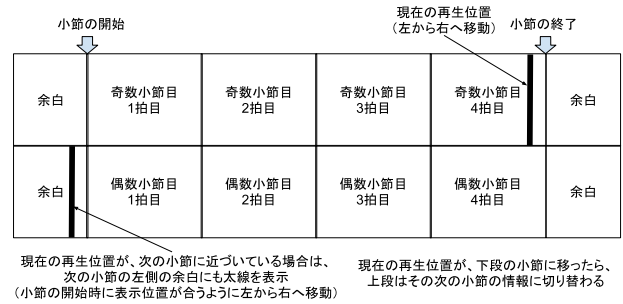


図 6 タンバリン譜表示部の説明

Fig. 6 Explanation of tambourine part display.

表 1 タンバリン譜表示部で用いられるアイコンの一覧. なお, 指示が複雑になるのを避けるため, 「体の上で強く叩く」のような複合的な指示は行わないようにしている

Table 1 Tambourine icons used in the tambourine score display. We do not use combinatory icons such as “beating strongly at the upper position” to avoid too complicated instructions.

アイコン	意味
	叩く(強さ関係なし)
	強く叩く
	振る
	体の上で叩く
	体の下で叩く

グで, 叩き手は Wii タンバリンを叩く.

アイコンの意味 タンバリンを叩くことを表すアイコンは, タンバリンおよび手の画像とその背後の色のついた円で構成されている. この円の色が叩き手 (個々の Wii タンバリンに割り当てられた ID) を表す. アイコンの意味の詳細は表 1 に示す.

楽曲の進行に合わせた表示の変化 2 行の表示部のうち, 現在の演奏位置が上段の小節の場合は, 下段にはその次の小節のタンバリン譜が表示される. 現在の再生位置 (太線) が上段の小節の最後に達したら, 下段の小節の最初に移る. この際, 下段の小節が始まるタイミングを分かりやすくするため, 下段の小節が始まる少し前から下段の太線を表示する (左側の余白に表示し, 小節の開始にタイミングが合うように右に移動させる). つまり, 下段の小節が始まる直前は, 上下段の両方に太線が表示されることになる. また, 現在の演奏位置が下段に移ると, 上段がその次の小節のタンバリン譜にすぐ切り替わる. 下段の小節が終わって上段の小節に移る場合の処理は, 上段から下段に移る際と同様である.

- 画面中央部

画面中央部には通常のカラオケと同様に歌詞が表示される.

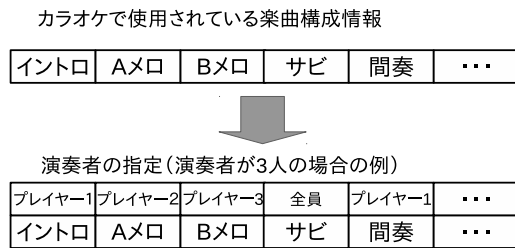


図 7 叩き手交代の流れ

Fig. 7 Flow of taking turns in playing the tambourine.

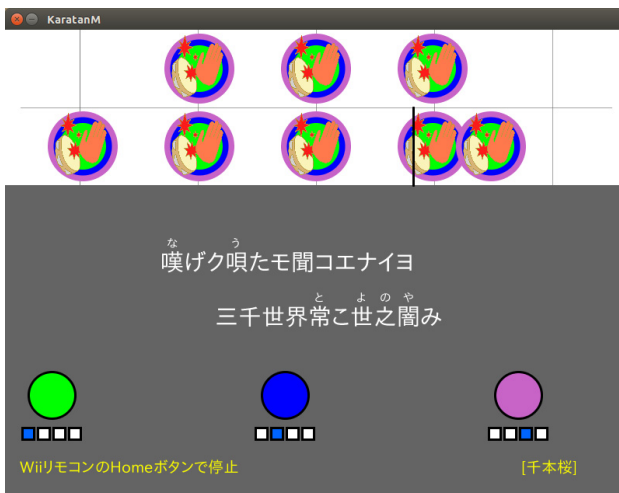


図 8 サビのときのシステム画面

Fig. 8 An example of the display in chorus sections.

文字の色が曲の進行と同期して流れるように変化する。

● 画面下部

画面上部のタンバリン譜のアイコンの色と Wii タンバリンの ID の関係をここで表示する。各 ID に対応する色の円が緑が 1, 青が 2, 紫が 3 として表示され、そのすぐ下に Wii リモコンの LED の点灯パターンが表示される。どの Wii タンバリンがどの ID を持つかは、Wii リモコンの 4 つの LED の光る位置で区別することができる (たとえば, ID が 2 の場合は □■□□ のように左から 2 番目の LED が点灯する)。

2.5.2 タンバリン演奏の判定・フィードバック

タンバリン譜に基づいてユーザがタンバリンを叩くと、タンバリンに内蔵されている Wii リモコンが加速度を計測し、本システムがその情報を Bluetooth で受信し、正しい演奏かどうかを判定する。具体的には、叩くべきタイミングで、指定された叩き手が、指定された強さ、指定された手の位置で叩いているか判定する。正しく叩けていると判定されると、円の中の絵が「OK」に変わる*1。具体的な判定方法は 4 章で述べる。

2.5.3 叩き手の交代の指示

タンバリンの演奏はサビでは全員に同じ演奏を指示し、

*1 叩く際の手の位置の指示を省略している際は、叩いたときの手の位置は判定の対象には入らない。

サビ以外では指示された 1 人が演奏する。演奏者の指定は、あらかじめ入力しておいた楽曲構成情報をもとにイントロをプレイヤー 1 が演奏、A メロをプレイヤー 2 が演奏といったように曲が展開するタイミングで演奏が変わるように指示する (図 7)。全員がタンバリンを叩くサビでは、図 8 のように叩き手を表す円には、全員に割り当てられた色が描画される。なお、叩き手の交代の機能は、無効にできる。

3. タンバリン譜生成手法

カラオケでのタンバリン演奏の難しい点は、やみくもに演奏すると、歌い手の邪魔になってしまうことである。盛り上がるような演奏で、かつ歌い手の邪魔をしないという相反する条件に合うような演奏をする必要がある。また、あくまで盛り上げることが目的であり、一般のカラオケ愛好家が練習なしに叩けないほど難しいのは適切とはいえないので、過度に演奏が難しいものは避ける必要がある。これらの条件を満たすタンバリン譜を生成するための方針を、以下で議論する。

● 扱う楽曲 (MIDI データ) に対する仮定

本研究では、日本のカラオケで一般的に歌われているポピュラー音楽を対象とする。使用する MIDI データは次の条件を満たすものとする。

- ドラムパートがあり、スネアドラムが演奏されている。スネアドラムは自然な演奏になるように、適切にペロシティに変化が付けられているものとする。いわゆるバラード調の曲を中心にスネアドラムの演奏がない楽曲も存在するが、一般的にそのような楽曲は静かな楽曲であることが多く、スネアドラムの入っている楽曲に比べてタンバリン演奏の重要性は相対的に高くないと判断し、ここでは対象外とする。
- 4 分の 4 拍子の楽曲である。
- 歌詞の表示用に歌詞データ (歌詞の各文字とその開始・終了時刻) がメタイベントとして挿入されている。
- 間奏時には「(間奏)」という文字列が歌詞データとして挿入されている。
- 「前奏」「A メロ」「B メロ」「サビ」などの楽曲構成情報 (各項目の名称と項目の切替えのタイミング) が挿入されているか別途用意されている。「叩き手の交代」の機能を無効にしている場合はこれらの情報はなくてもよい。この場合、サビの箇所を自動的に推定する。自動的に推定する場合には、「1 番 (A メロ→B メロ→サビ) → 2 番 (A メロ→B メロ→サビ)」のようなポピュラー音楽における典型的な楽曲構成になっていることを前提とする。
- 最初のトラックが主旋律 (歌い手が歌うべきパート) となっている。
- 基本方針
タンバリン演奏は、盛り上げるために音楽に合わせて音



図 9 『千本桜』(作曲・作詞:黒うさP) [5] の A メロの冒頭 4 小節 (主要部分のみ抜粋, 筆者らが原曲を聴いて採譜, 他の図も同様). 「Hand Clap & Tamb.」は我々が望ましいと考える手拍子およびタンバリン演奏のパターン (他の図も同様). スネアドラムが 2 拍・4 拍目を中心に演奏しており, 手拍子・タンバリンもそれに合わせて叩くパターンである

Fig. 9 The first four measures in the 1st verse of “Senbonzakura” (composed and lyrics by KurosaP) [5] (only main parts are excerpted; transcribed by the authors). “Hand Clap & Tamb.” represents desirable clapping and tambourine patterns in our opinion, in which the hand is clapped or the tambourine is beaten at the 2nd and 4th beats as the snare is played in the same way.

を出すという点で, 手拍子と共通した特徴がある. 手拍子は, 一般的なポピュラー音楽では 2 拍目と 4 拍目に手を叩くことが多い. 図 9 に『千本桜』[5] の A メロの場合を示す. この場合においては, 図の「Hand Clap & Tamb.」に書いてあるように 2 拍目と 4 拍目で手拍子をするのが一般的と思われるので, タンバリンもそれに合わせて叩くのが望ましい. カラオケで再生される伴奏では, 2 拍目と 4 拍目にアクセントを与えるのは, スネアドラムが担うのが一般的である. スネアドラムにはスナッピーと呼ばれる金属線が張られており, 通常のドラムセットに含まれる楽器の中で目立つ音を出すからである. このことから, スネアドラムに合わせて叩くのを基本とし, 16 分音符レベルの裏拍などの演奏が難しい箇所を除去するという方針が考えられる.

スネアドラムが 2 拍目と 4 拍目を演奏しない場合もある. たとえば, 『千本桜』のイントロ (図 10) ではスネアドラムは 8 分音符レベルの裏拍で叩かれており, サビ (図 11) では 4 つの表拍のすべてでスネアドラムが叩かれている. これはそのタイミングにアクセントを与えたいからだと考えられる. そのため, こういった場合も, タンバリンはスネアドラムに合わせて叩くのが望ましい. 実際, 図 10 や図 11 の場面で図 9 と同じようにタンバリンを演奏すると, 曲の最初から最後までほとんど同じ演奏パターンになってしまう, 曲のメリハリや緩急が損なわれると考えられる.

以上のことから, スネアドラムに合わせて演奏することを基本方針とし過度に難しくなるのを避けるためにいくつかの音符は省略する.

● 「キメ」の部分の演奏

ポピュラー音楽には, 俗に「キメ」と呼ばれる特徴的な演



図 10 『千本桜』[5] のイントロの冒頭 4 小節. 図 9 と異なり, スネアドラムは 8 分音符レベルの裏拍を叩いているが, 手拍子やタンバリンも同様に叩くのが望ましいと考える

Fig. 10 The first four measures in the Introduction of “Senbonzakura” [5]. The snare drum is beaten at eighth-note offbeats unlike Figure 9. We consider that hand clapping and the tambourine should also be played like this snare pattern.

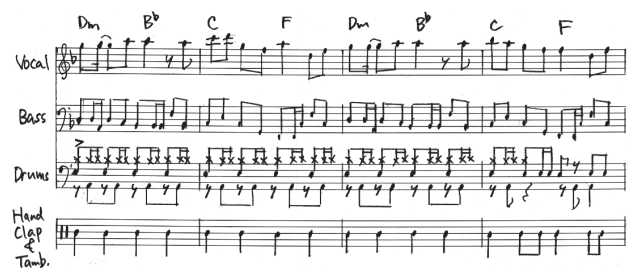


図 11 『千本桜』[5] のサビの冒頭 4 小節. スネアドラムは 4 つの表拍すべてで叩いている. 手拍子やタンバリンもこれに合わせて叩くのが望ましいと考える

Fig. 11 The first four measures in the chorus section of “Senbonzakura” [5]. The snare drum is beaten at all beats. We consider that the hand clapping and the tambourine should also be played in the same way.



図 12 『千本桜』[5] のサビ直前のいわゆる「キメ」の箇所. 手拍子やタンバリンを叩く場合も, この「キメ」のリズムに合わせて叩くのが望ましい

Fig. 12 The part right before the chorus section, so-called tutti, of “Senbonzakura” [5]. The hand clapping and tambourine should be played in the same rhythm as the tutti.

奏をする箇所がある場合がある. 「キメ」は, すべての (あるいはほとんどの) 楽器がまったく同じリズムで演奏することで, そのリズムやフレーズを目立たせ, 楽曲の進行に一定のアクセントを与えるもので, サビに入る直前やサビの終わりなどによく見られる [6]. たとえば, 『千本桜』[5]

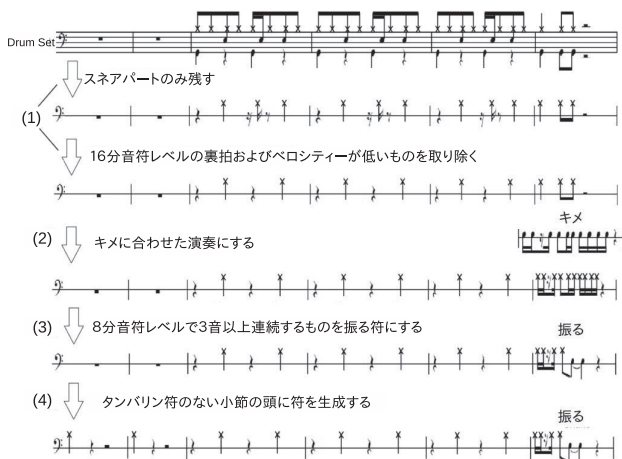


図 13 タンバリン譜自動生成

Fig. 13 Automatic generation of tambourine score.

では、サビに入る直前で図 12 に示すようなフレーズが入る。この場面ではほぼすべての楽器が同じリズムで演奏する。「キメ」はその楽曲のアイデンティティにもなりうる重要な箇所であり、盛り上がる箇所とも考えられるので、タンバリンでもそれに合わせて演奏するのが望ましい。

● 静かな曲への対応

アップテンポで盛り上がる楽曲では、タンバリンもその盛り上がりに合わせて強く叩くのが望まれるが、いわゆるバラード調の静かな楽曲でタンバリンを強く叩くと、歌唱を邪魔したり楽曲の雰囲気壊してしまったりする可能性がある。そこで、盛り上がる楽曲と静かな楽曲とでは、タンバリン譜に違いをつける。

● 動きの付与

カラオケを盛り上げるのに活用できるのは音を出すことだけではない。タンバリンを演奏しながら手などを動かすことでもカラオケを盛り上げることができる。ただし、楽曲の最初から最後まで動きをつけると疲労の原因となり、カラオケの盛り上げを阻害する可能性が高い。そこで、サビなどの特に盛り上げたい箇所のみ動きを付与する。

この方針に基づいてタンバリン譜を生成する。この手法では、まずタンバリンを叩くタイミング（「タンバリン符」あるいは単に「符」という*2）を決める。その後、各タンバリン符の中で強く叩くものを決定する。最後に、タンバリン演奏中に叩き手が行う動作について決定する。

3.1 演奏のタイミングの生成

演奏のタイミングの生成は以下の流れで行う（図 13）。

(1) MIDI データのスネアドラムに合わせて生成する。

前述の基本方針に従って、MIDI データのスネアドラムの演奏箇所に合わせて符を生成する。ただし、実際のドラム演奏では、16 分音符レベルの裏拍に弱くスネアドラムを

*2 本稿では、タンバリン演奏のための譜面全体を「タンバリン譜」、タンバリン譜に含まれる各音符を「タンバリン符」と書いて区別する。

叩くことがよく行われる。このような演奏方法は、ドラム演奏の未経験者には馴染みが薄いと予想され、そのままタンバリンで再現しようとする、過度に難しくなると考えられる。そこで、16 分音符レベルで裏拍の符はすべて削除する。さらに、ベロシティ*3が特に低い符も削除することで、ドラム演奏の未経験者でも叩ける難度に抑える。「ベロシティが特に低い符」は次のように決定する。

1. スネアドラムの演奏箇所のすべてのベロシティに関してヒストグラムを作成する。
2. ヒストグラムに複数のピークができる場合、ベロシティが低い方から 1 つ目のピークと 2 つ目のピークの間で最も度数が低いベロシティ（谷のベロシティ）を求める。
3. 2. で求めた値よりベロシティが低い符を削除対象とする。

(2) 7 つ以上の楽器が 1 小節で 3 音以上同時に鳴っていたらそれに合わせて符を生成する。

同時に 7 つ以上*4の楽器が 1 小節で 3 音以上鳴っているフレーズをキメ（サビの前などに多く見られる複数の楽器が同じフレーズを同時に演奏する印象に残りやすい部分）と判断し、そのフレーズに合わせてタンバリンを演奏するようにタンバリン譜を生成する。キメに合わせてタンバリンを演奏することでタンバリンの演奏が曲と合っているように感じられる。

(3) 8 分音符レベルで 3 音以上連続していたら振る符にする。

スネアドラムの演奏が 8 分音符レベルで 3 音以上続く場合、タンバリンをそれに合わせて叩くのは必ずしも簡単ではない。そこで、このような場合はタンバリンを叩く代わりに振ってもよいこととし、画面上の表示も区別する（叩いてもかまわない）。

(4) タンバリン符がない小節は他のパートが無音でなければ小節の頭に符を生成する。

(1)~(3) の方法でタンバリン譜を生成した場合、スネアドラムの演奏がまったくない箇所は、タンバリンの演奏はないこととなる。タンバリン演奏は、前述のように歌い手の邪魔をしない範囲で、積極的に場の盛り上げに貢献すべきである。そこで、両者のバランスをとるため、小節の頭のみ符を生成する。たとえば、『千本桜』[5] の転調直前のサビに対しては図 14 のような結果となる。

*3 ベロシティは、ノートオンメッセージ（MIDI 音源に対して「音を鳴らせ」という指令を行うメッセージ）の 1 つ 1 つに付与されるパラメータの 1 つで、本来 MIDI キーボードなどの鍵を叩く速さを表す。ピアノの鍵を速く叩くと強い音が出ることから、実際には音の強さを表すパラメータである。0 以上 127 以下の整数を取る。ノートオフメッセージ（音を消す指令を行うメッセージ）にもオフベロシティというパラメータがあるが、ほとんど使われない。

*4 この値は実験的に決定した。楽曲全体の楽器（パート）数が 7 未満のときは「キメ」に相当するフレーズはないものと扱われる。

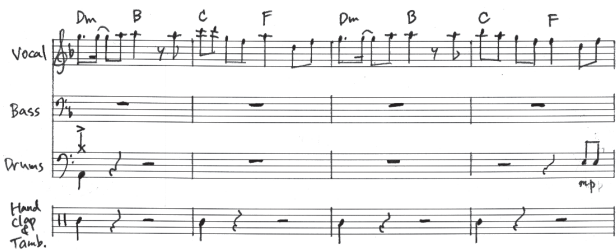


図 14 『千本桜』[5]の転調直前のサビ。転調してもう1度繰り返すサビをより盛り上げるため、最低限の楽器数で静かに演奏している。そのため、手拍子やタンバリン演奏においても、他のサビとは区別して静かに演奏すべきである。その1つの方針として、小節の頭のみ叩くというものが考えられる

Fig. 14 The chorus section right before the modulation of “Senbonzakura” [5]. To enhance the excitement of the chorus section after the modulation, all instruments are played quietly in the chorus section before the modulation. Accordingly, the hand clapping and tambourine should also be played quietly. One possible approach is to beat only at the head of each measure.

3.2 叩く強さの決定

スネアドラムのペロシティの平均が高い曲は賑やかで、ペロシティの平均が低い曲は静かな曲と判断できる。そこで、ペロシティの平均の高い曲は強く叩く符を多く、ペロシティの平均の低い曲は強く叩く符を少なくする。ただし、強く叩く符があまりに多いとうるさいだけのメリハリのない演奏になる可能性が高い。そのため、強く叩く符の割合には上限を設けるのが望ましい。ここでは、その上限を2/3とする。また、著者らによる予備検討では、曲の賑やかさが平均的な程度の場合に、強く叩く符の割合を1/3にすると、盛り上がりと歌手の邪魔の回避を一定程度両立できた。そこで、様々な曲から求めた全スネアドラム譜のペロシティの平均値を M 、対象曲のみから求めたスネアドラムのペロシティの平均値を m とすると、

$$R = \begin{cases} \frac{1}{3}(1 + \frac{m-M}{127-M}) & (m > M) \\ \frac{m}{3M} & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

を強く叩く割合とする。タンバリンの各符に対して同時に鳴っている楽器の数が多い順にこの割合の分だけ「強く叩く符」に割り当てる。ただし、同じ小節に強く叩く符とそうでない符が混在すると、叩く難度が高くなってしまふと思われることから、各小節内に強く叩く符とそうでない符が混在しないように強く叩く符を割り当てる。

3.3 叩く際の手の位置の決定

本システムで、叩き手に指示する手の位置は「上で叩く」と「下で叩く」の2種類がある。曲中つねに手の位置を変えていると叩き手が疲れてしまうので、曲が盛り上がるサビとタンバリン演奏の見せ場である間奏のときのみ手の位置を指示する。

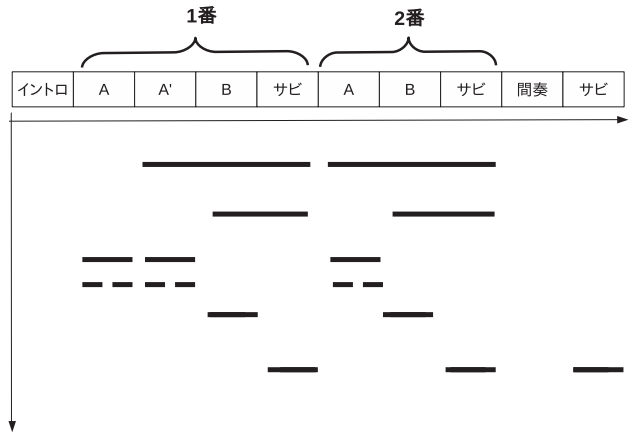


図 15 典型的なポピュラー音楽の構造の例。各行の横棒が旋律の区間を表し、同じ行の横棒は同じ旋律構造を表す。検出された繰返し構造のうち、ある旋律区間 s が、最も長い旋律区間 S (図の最も上の行) の中に含まれており、 S の繰返しの後に s が改めて演奏されるとき (図の最も下の行)、 s がサビである可能性が高い

Fig. 15 An example of typical structures of popular music. Horizontal bars represent melodic sections, and the bars in the same row represent the same melodic section. When a certain melodic section s is included in the longest melodic section S and s is played again after S , s is likely to be a chorus section.

サビの検出は、楽曲中においてサビは繰り返し出現するという仮定 [7], [8] の下で行う*5。典型的なポピュラー楽曲に対して繰り返し出現する旋律をすべて検出すると、Aメロの前半と後半のような局所的な繰返しと、歌の1番と2番のような大局的な繰返しの両方が検出されると予想される。また、1番や2番に該当する区間の終わりの方にはサビが含まれていることが予想される。さらに、1番や2番の後にもう1度サビが繰り返されることが多い。すなわち、典型的なポピュラー音楽は図15のような繰返し構造になっていることが多いと考えられる。そこで、繰り返し出現する旋律の区間をすべて求め、最長の区間 S の中に、その後に見れる短い旋律区間 s と同じ旋律が含まれている場合、 s をサビと考える。しかし、2番のAメロが省略されているなどで1番・2番に対応する区間が検出できなかった場合、最長の区間がそのままサビに対応する場合もある。また、最長区間が大変長い場合、AメロやBメロも繰り返されており、それらを一緒に検出してしまふ可能性がある。そこで、次の手法によりサビ検出を行う。

- 1) 与えられたMIDIファイルの主旋律に対応するMIDIシーケンスから、繰り返し出現する旋律をすべて抽出する。

*5 ただし、叩き手の交代の機能を有効にしているときは、交代の指示を行うためにAメロ、Bメロなどの楽曲構成情報が必要であり、これらの情報は人手で与えられることを想定している。その場合は、ここで述べる方法でサビ検出を行わず、与えられた情報を優先する。

2-i) 抽出された旋律のうち最長のもの（以下、最長区間と呼ぶ）の長さが L_1 より小さい場合、その区間をサビと見なす。

2-ii) 最長区間の長さが L_1 以上 L_2 以下の場合、最長区間の中で、その後に出現する短い繰返し区間と同じ旋律が含まれているとき、その旋律の最初から当該区間の最後までをサビと見なす。

2-iii) 最長区間の長さが L_2 より大きい場合、その区間の後半部分の中で、その後に出現する短い繰返し区間と同じ旋律が含まれているとき、その旋律の最初から当該区間の最後までをサビと見なす。

現在の実装では、4分音符を 480 ticks^{*6}として、 $L_1 = 19,200$ ticks (10 小節分)、 $L_2 = 38,400$ ticks (20 小節分)としている。この値は実験的に定めたものである。

間奏の検出は MIDI データの歌詞情報に間奏の時間が入力されているのでそれを利用する。

4. タンバリン演奏の判定

タンバリンに取り付けた Wii リモコンで 3 次元の加速度データを取得して正しい演奏ができていないか判定する。2.3 節で述べたように判定に利用する閾値と学習データは練習モード実行時に取得する。

4.1 加速度の測定

毎秒 60 回 Wii リモコンの加速度を測定する。Wii リモコンの加速度の向きは図 16 のとおりであり、タンバリンを叩く、振るときに加速する向きは x 軸であるので、 x 軸方向の加速度のみ計測する。以下、1/60 秒の単位時間を 1 フレームと称する。

4.2 叩きの判定

1 フレームごとに Wii リモコンの x 軸の加速度差が大きいときを叩いたと判定する。具体的には、練習モードでタンバリンを何度か叩いたときの加速度差の平均を α_1 とし、

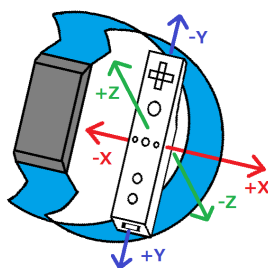


図 16 Wii タンバリンの加速度の向き

Fig. 16 The acceleration direction of Wii Tambourine.

^{*6} tick とは、MIDI シーケンサなどで使われる拍節をベースとした時刻や時間の単位である。4分音符 1 つ分を 480 ticks と定めたとき、240 ticks は 8分音符 1 つ分、960 ticks は 2分音符 1 つ分を表す。

時刻 t における加速度を α_t とすると $|\alpha_t - \alpha_{t-1}| > r_1 \alpha_1$ となる時刻 t のときに叩いたと判定する。ここで、 r_1 は練習モード時よりも弱めに叩いた場合でも叩いたと判定されるようにするための係数であり、本来であれば、練習モードで得られる加速度差の標準偏差など、ユーザの叩き方のばらつきの程度に応じて決めるべきであるが、簡単のため、現在の実装では一律 0.7 にしている（後述の r_2, r_3 も同様）。

4.3 強い叩きの判定

4.2 節と同様に 1 フレームごとに Wii リモコンの x 軸の加速度差が閾値 α_2 を超えたときに強く叩いたと判定する。具体的には、練習モードでタンバリンを何度か強く叩いたときの加速度差の平均を α_2 とし、時刻 t における加速度を a_t とすると $|a_t - a_{t-1}| > r_2 \alpha_2$ となる時刻 t のときに強く叩いたと判定する。

4.4 振りの判定

Wii リモコンの x 軸の加速度を 1 フレームごとに計測する。時刻 t における加速度を a_t とすると $a_t a_{t-1} < 0$ のとき、タンバリンの加速度の向きが変わるということになる。20 フレームの間でタンバリンの加速度の向きが変わる回数を計測し、その回数を c とする。 $c \geq r_3 \alpha_3$ のときタンバリンを振ったと判定する。ここで、 α_3 は練習モードで振ったときの 20 フレームの間でタンバリンの加速度の向きが大きく変わった回数の平均である。

4.5 手の位置の判定

既存の研究 [9], [10] を参考にして、「上で叩く」か「下で叩く」かの判定を行う。判定は、練習モード時に「上で叩く」「下で叩く」の動きを複数回行っているのので、そのときに取得した加速度データとの相違度に基づいて行う。加速度センサから時々刻々と得られる加速度データの 2 階積分を用いて位置を計算する方法も考えられるが、タンバリンを叩いて加速度センサに衝撃が加えられたときに得られる加速度が正確でなく、それを 2 階積分しても正確な位置を得ることができないと考えられるので、用いないこととする。相違度は、 xy 平面、 xz 平面、 yz 平面ごとに計算し、その和をもって空間全体における相違度とする。以下、相違度の計算方法を xy 平面を例にとって述べる。

xy 軸における相違度は、16 ms ごとに計測した x 軸、 y 軸の加速度 $\vec{a}_t = (a_{x,t}, a_{y,t})$ (t : 時刻) のうち S フレーム分から加速度変化 P_d 、回転運動の方向 P_g 、動作の向き P_r 、 $\pi/4$ ごとの 8 つの主方向の各々への加速度の密度 $P_{a,0}, \dots, P_{a,7}$ の抽出を行う。現在の実装では $S = 20$ としている。加速度変化の大きさは、 $P_d = \sum_{t=1}^{S-1} |\vec{a}_t - \vec{a}_{t-1}|$ で求める。

回転運動の方向 P_g は、 \vec{a}_t と \vec{a}_{t-1} の外積により計算され、 \vec{a}_{t-1} から \vec{a}_t へ反時計回りに移動した場合、 P_g に 1 が加算される。

$$P_g = \sum_{t=1}^{S-1} u(\vec{a}_t \times \vec{a}_{t-1})$$

$$u(m) = \begin{cases} 1(m \geq 0) \\ 0(m < 0) \end{cases}$$

P_r は S 個のベクトルによって描かれる図形の外接四角形の縦横比であり，絶対値の大きいベクトルによって与えられる方向である。

$$P_r = \frac{\max_{t=1, \dots, S} \{a_{x,t}\} - \min_{t=1, \dots, S} \{a_{x,t}\}}{\max_{t=1, \dots, S} \{a_{y,t}\} - \min_{t=1, \dots, S} \{a_{y,t}\}}$$

メンバシップ関数 [9] を用いて各方向の加速度の密度を求める。

$$P_{a,n} = \sum_{t=1}^S F_n(\theta_t)$$

$F_n(\theta_t)$: メンバシップ関数

θ_t : \vec{a}_t の方向

$n = 0, 1, 2, \dots, 7$

メンバシップ関数は各主方向から隣接する主方向まで直線的に減少する孤立三角波関数とした。

練習モードで体の上と下で複数回叩いてもらい「上で叩く」と「下で叩く」の2種類の動きのデータを取得し，それぞれの動き $k \in \{\text{上で叩く}, \text{下で叩く}\}$ の各運動パラメータ $\alpha = P_d, P_g, P_r, P_{a,n}$ についての平均値 E_α^k と標準偏差 σ_α^k を求める。演奏時には，各運動特徴パラメータ α について，演奏時に得られる値 V_α と練習モードで得られる値の平均値 E_α^k との2乗差を計算し，それぞれ標準偏差 σ_α^k の2乗である分散値で割って規格化したものを重み付き誤差 ϵ_α^k とする。この重み付き誤差をすべてのデータごとに特徴パラメータを加え合わせたものを相違度 e_k とする。つまり，

$$e_k = \sum_{\alpha} \epsilon_\alpha^k = \sum_{\alpha} \frac{(V_\alpha - E_\alpha^k)^2}{(\sigma_\alpha^k)^2}$$

である。この相違度を xy 平面， yz 平面， zx 平面ごとに計算し，和をとったものが最小となる動きを選び，これを判定結果とする。

5. カラオケ店での被験者実験

実際のカラオケ店に本システムを設置し，被験者に本システムを使ってもらうことにより，本システムの有効性を評価した。この章の実験の主な目的は，次の3つである。

- 本システムが提示するとおりにタンバリンを叩くのと叩き手の判断でタンバリンを叩くのとで，タンバリンの叩きやすさや演奏に対する印象はどのように変化するかを調査する。

- 上述の両者の場合において，どちらの方が歌唱者（以下，歌い手）にとって歌いやすい環境かを調査する。
- 上述の両者の場合において，歌いもタンバリン演奏もせずに楽曲を聴いている人（以下，聴き手）のタンバリン演奏に対する印象はどのように変化するかを調査する。

これらの調査を行うため，本章の実験では，本システムのうち叩き手が交代する機能を無効にし，曲の最初から最後まで同じ人がタンバリンを演奏することとした。

実験は2つに分けて行う。まず，主なユーザとして想定される大学生が，実際によくカラオケで歌っている楽曲を対象とした場合で，「実験1」と呼ぶ。実験1では，JOYSOUNDの2013年カラオケランキング [11] から選んだ楽曲を用いる。次に叩き手が対象曲を知らない場合に本システムは特に有効と予想されることから，RWC研究用音楽データベース [12] から選んだ楽曲を用いて実験を行う。この実験を「実験2」と呼ぶ。

5.1 実験1

5.1.1 実験の目的

本実験では，本システムが持つタンバリン譜の生成・表示機能とタンバリン演奏の判定・フィードバック機能により，よりよいタンバリン演奏が可能になり，それによってカラオケが盛り上がり，ただ聴いてるだけよりカラオケを楽しめるようになるとの仮説をたて，この仮説の妥当性を検証する。ここでいう「よりよいタンバリン演奏」とは，ワンパターンにならず，演奏のパターンやリズムが楽曲に合っていることを指す。この妥当性を検証するため，各被験者に本システムと比較システム（上述の2つの機能を削除したもの）を両方使ってもらい，タンバリン演奏やカラオケの盛り上がりなどについて両システムで比較する。

5.1.2 被験者

被験者は，同じサークルに所属する総数12名の大学生（18～22歳，男性7名，女性5名）である。同じサークルに所属するという条件にしたのは，カラオケは基本的に仲の良い知り合い同士で行くことが多いと考えられ，実際のカラオケと雰囲気近づけることを意図したためである。被験者のうち，7名はピアノなどの楽器を過去に習ったことがある。実験は3名が1組となって行い，3名のうち1名が歌い手，1名が叩き手，1名が叩き手を担う。つまり，役割ごとの被験者数はいずれも4名である。被験者には実験で使用する楽曲をどの程度知っているかどうか事前に調査し，歌える程度に知っている者を歌い手に，聴いたことがある程度の者を叩き手とし，残りの者を聴き手にした。

5.1.3 実験環境

実験は実際のカラオケ店のカラオケルームで行った。使用した機器の構成を図17に示す。カラオケの再生にはカラオケルームに設置された機器ではなく，我々があらかじめ

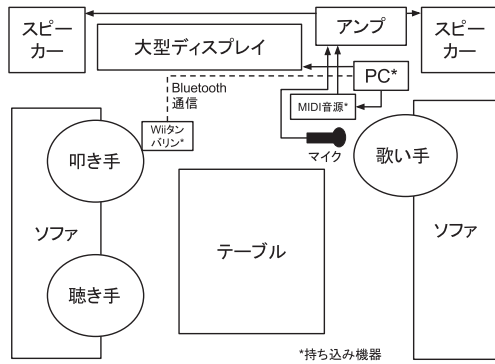


図 17 実験環境における機器配置図

Fig. 17 The equipment layout in the experiments.



図 18 Wii タンバリン (実験 1・実験 2 で用いたもの)

Fig. 18 Wii Tambourine used in Experiments 1 and 2.

め用意した MIDI ファイルを用いた (ヤマハミュージックデータショップで購入)。この MIDI ファイルには 3.1 節で述べたように歌詞情報などの必要な情報が埋め込まれているものとする。我々が持ち込んだ PC を市販の MIDI 音源 (ヤマハ MU500) に接続し、この MIDI 音源のオーディオ出力をカラオケルーム内のアンプの入力端子に接続した。マイクはカラオケルームに常備されているものをそのまま用いた。本システムの画面は、カラオケルーム常設の大型ディスプレイに出力される。このように、マイク、スピーカ、ディスプレイはカラオケルームに設置されたものを用いつつ、その他については我々が用意した機器を用いた。なお、Wii タンバリンとして、市販のタンバリンに Wii リモコンをテープで固定したもの (図 18) を用いた。

5.1.4 実験手続き

まず、場の雰囲気や和らげるため、歌い手に好きな楽曲を歌ってもらった。ここではカラオケルームに元々設置された機器をそのまま用いた。

次に、本システムを起動し「練習モード」で叩き手に Wii タンバリンの練習をしてもらった。

その後、5.1.3 項の環境で実験を行った。本システムと比較システムの両方に対して 2 曲ずつ実験を行った。被験者

表 2 実験 1 における歌い手へのアンケート結果 (SD: 標準偏差)

Table 2 Questionnaire results for singers in Experiment 1.

質問	比較システム		本システム	
	平均	SD	平均	SD
Q1. 聴き手が歌を楽しんでいたか	5.00	1.95	4.50	1.19
Q2. 歌しやすい環境か	5.37	0.51	5.00	0.92
Q3. タンバリンが歌の邪魔に感じなかったか	5.62	1.06	4.87	0.99
Q4. 演奏タイミングが歌に合っていたか	4.75	1.58	3.75	1.66
Q5. タンバリンの叩き手もやりたいか	4.50	1.69	3.37	1.50

表 3 実験 1 における叩き手へのアンケート結果 (SD: 標準偏差)

Table 3 Questionnaire results for tambourine players in Experiment 1.

質問	比較システム		本システム	
	平均	SD	平均	SD
Q1. タンバリンは叩きやすかったか	4.00	1.41	4.62	0.74
Q2. 音楽に合わせて演奏できたか	4.37	1.18	4.25	1.28
Q3. ワンパターンではなかったか	2.62	2.26	5.37	1.76
Q4. 曲やリズムにのれたか	4.12	1.64	4.87	1.45
Q5. 演奏がカラオケを盛り上げられたか	3.12	1.35	4.12	1.35

のうち 2 組は本システムによる演奏 2 曲の後に比較システムによる演奏を 2 曲行い、残りの 2 組は比較システムによる演奏 2 曲の後に本システムによる演奏を 2 曲行った。

実験終了後にアンケートを行った。

5.1.5 使用曲

JOYSOUND の 2013 年カラオケランキング [11] 上位から、被験者でありかつ主なユーザー層である 20 代に人気で、タンバリン演奏が合うと予想される 4 曲を用いた。本システム用が『残酷な天使のテーゼ』(高橋洋子) と『千本桜』(WhiteFlame feat. 初音ミク)、比較システム用が『女々しくて』(ゴールデンボンバー) と『君の知らない物語』(supercell) である。本来、このような比較実験では用いる楽曲などの条件を揃えて実験するべきであるが、一連の実験の中で同じ楽曲を複数回用いると、1 回目比べて 2 回目の方がタンバリン演奏に慣れが生じ、叩き手以外の人にとっても、少し前に歌ったり聴いたりしたばかりの曲であるために、盛り上がりに対して不利になる可能性が高いと考え、異なる楽曲を用いることとした。楽曲の選定にあたっては、曲調や生成されるタンバリン譜の難度ができるだけ近いと思われるものを慎重に選んだ。

5.1.6 実験結果

アンケート結果を表 2, 表 3, 表 4 に示す。6 段階評価であり、どの項目も 1 がネガティブな回答、6 がポジティブな回答である。これらの結果は次のようにまとめられる。

- 歌い手に対しては、すべての項目で本システムより比

表 4 実験 1 における聴き手へのアンケート結果 (SD: 標準偏差)
Table 4 Questionnaire results for listeners in Experiment 1.

質問	比較システム		本システム	
	平均	SD	平均	SD
Q1. 飽きを感じなかったか	5.00	1.06	4.25	1.66
Q2. 歌に興味を持てたか	4.50	0.53	4.00	0.75
Q3. 演奏がうるさくなかったか	5.25	0.70	3.62	1.84
Q4. 演奏が曲にあったか	4.87	1.80	4.12	1.88
Q5. 歌い手をやりたいか	3.50	0.92	4.37	1.18
Q6. 叩き手をやりたいか	2.75	1.48	4.37	1.18

較システムの方が高い評価となった。

- 叩き手に対しては、Q2 (音楽に合わせて演奏できたか) 以外について本システムが比較システムよりも高い評価となった。特に、Q3 (ワンパターンではなかったか) については、本システムと比較システムとで 6 段階評価のうち 2.0 以上の差がついた。Q2 (音楽に合わせて演奏できたか) については、本システムの方が比較システムより若干評価が下回る結果となった。
- 聴き手に対しては、Q1 (飽きを感じなかったか)、Q2 (歌に興味を持てたか)、Q3 (演奏がうるさくなかったか)、Q4 (演奏が曲にあったか) について本システムの評価が比較システムを下回った。特に、Q3 については 1.0 以上下回る結果となった。一方、Q5 (歌い手をやりたいか)、Q6 (叩き手をやりたいか) については本システムの評価が比較システムを上回った。

ただし、いずれも被験者が少なく (各役割 4 名ずつ)、統計的な有意差を見出すには至っていない。

アンケートの自由回答欄に記入された意見の抜粋を表 5 に示す。歌い手からは演奏のタイミングがズレると歌にくい点、叩き手からは演奏がワンパターンになりづらい点、その反面演奏が難しい場合がある点、聴き手からは演奏のタイミングに関する違和感や歌よりも画面に注意が行ってしまう点などが指摘された。

5.1.7 考察

前項で述べた結果について考察する。

- 歌い手について

歌い手の本システムの評価が比較システムよりも低かった理由として、3 つのものが考えられる。1 つ目は、表 5 の聴き手の意見にもあるように、タンバリン演奏に音楽ゲームのような特徴が付与されたことで、聴き手がそちらに注目するようになったことである。Q1 (聴き手が歌を楽しんでいたか) の評価が下がったのは、聴き手がタンバリン演奏に注目するようになったことで自分の歌唱を聴いてくれなくなったと感じたことが原因の可能性もある。この問題については 6 章の複数人による演奏において解決を図る。

2 つ目は、叩き手が対象曲をよく知っていたために、タンバリン譜なしに十分曲にあった演奏ができていたことである。実際、叩き手 4 名のうち 3 名がピアノ経験者であり、

表 5 実験 1 における自由回答 (抜粋)

Table 5 Answers to open-ended questions in Experiment 1.

役割	意見
歌い手	システムのタイミングに合わせて叩くのが大変そうだった
	歌っている最中は音が気にはならず、あってもなくても変わらないと思った
	間奏部分は良かったが、サビの時の演奏が気になった
	その場のノリで楽しみたいので、演奏のタイミングを固定されたくなかった
叩き手	タンバリンがズレると歌い辛かった
	動きやリズムの変化が多くてワンパターンにならないと感じた
	自分で考えて叩いた場合と違って良かった
	曲を把握してないとタイミングが分からない場所があるので表示があって良かった
	難度が高くちょっと難しかった。難度が選択できるといい
聴き手	下の動き判定が悪く、体の指示がついていけなかった
	タンバリンのタイミングに少し違和感を感じた
	タンバリンがあると楽しいが、必要という程ではない
	システムが気になり、歌よりモニターばかりに注意がいった
	タンバリンが楽しそうだったので、やってみたいと思った
ゲーム性があって良かったが、曲にあってない部分が気になった	

比較システムでも十分に曲にあった演奏ができていた。Q2 (歌いやすい環境だったか)、Q3 (タンバリンが歌の邪魔に感じなかったか)、Q4 (演奏タイミングが歌に合っていたか) に関して比較システムの評価が高かったのは、これが理由であると考えられる。叩き手が対象曲を知らないときにこの結果がどう変化するかについては、5.2 節の実験 2 で確かめる。

3 つ目は、叩き手が初めて見るタンバリン譜をうまく叩けず、そのために演奏タイミングがずれてしまい、それが歌いにくさの原因となった可能性である。特に、叩き手 4 名のうち音楽経験のない 1 名については、本システムが提示するタンバリン譜をうまく叩けず、リズムにズレが生じることが多かった。Q2 (歌いやすい環境だったか)、Q3 (タンバリンが歌の邪魔に感じなかったか)、Q4 (演奏タイミングが歌に合っていたか) の評価が下がったのは、これに原因があると考えられる。自由回答 (表 4) で歌い手から「タンバリンがズレると歌い辛かった」、叩き手から「難度が高い、難度が選択できるといい」という意見があったことも、これを裏づけている。この問題を解決する 1 つの方法は、生成するタンバリン譜の複雑さを叩き手の演奏能力に合わせて適応的に変化させることである。

- 叩き手について

叩き手による評価に関して、Q3 (ワンパターンではな

表 6 実験 2 における叩き手へのアンケート結果 (SD: 標準偏差)
Table 6 Questionnaire results for tambourine players in Experiment 2.

質問	既知曲				未知曲			
	比較システム		本システム		比較システム		本システム	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
Q1. タンバリンは叩きやすかったか	4.50	0.57	5.00	1.15	3.25	1.70	5.00	0.81
Q2. 音楽に合わせて演奏できたか	5.50	0.57	4.75	1.50	4.00	0.81	5.50	1.00
Q3. 演奏がワンパターンにならなかったか	1.75	1.50	4.25	2.36	1.25	0.50	1.50	2.36
Q4. 曲やリズムにのれたか	5.00	0.81	4.75	0.95	2.50	1.29	5.50	0.57
Q5. 演奏がカラオケを盛り上げられたか	2.75	0.95	4.50	1.29	2.00	0.81	4.00	0.81

かったか)については本システムが比較システムを 2.75 上回った。このことは、提案手法による各楽曲に合わせたタンバリン譜の生成が、評価されたと考えることができる。その反面、部分的に譜面の難度が高い箇所があり、自由回答では「難度が高い、難度が選択できるといい」といった意見が得られた。また、動きに対しては、曲に合わせて体の動きを入れてタンバリンを叩かなくてはいけないため演奏練習時の体の動きよりも小さな動きになってしまい、うまく判定されないといったことがあった。

● 聴き手について

Q1 (飽きを感じなかったか), Q2 (歌に興味を持てたか), Q3 (演奏がうるさくなかったか), Q4 (演奏が曲にあっていたか) のいずれに対しても、本システムの評価は比較システムを下回った。これについては、歌い手による評価同様、叩き手が音楽経験者の場合は比較システムでも十分なタンバリン演奏ができていたこと、叩き手が音楽経験者でない場合は本システムによるタンバリン譜が難しく、リズムにズレが生じていたことが理由であると推測される。一方、Q6 (叩き手をやりたいか) は本システムが比較システムを上回った。このことは、本システムによりタンバリン演奏を促すことが、一部成功している可能性を示唆している。

● まとめ

以上のように、叩き手が元々知っている楽曲については十分な結果を示すことができなかったが、ワンパターンな演奏を防ぐことができる点については、成功している可能性が示唆された。しかし、これについても統計的な有意差を示すには至っていないため、さらなる検証が必要である。

5.2 実験 2

5.2.1 実験の目的

実験 1 では、被験者と同様の年齢層の人が実際にカラオケ店でよく歌っている楽曲を用いたが、本システムは、歌い手以外が知らない楽曲に対してより効果を発揮すると思われる。そこで、すでに知っている楽曲 (既知曲) とまったく知らない楽曲 (未知曲) の両方に対して本システムと比較システムを使用して、既知曲よりも未知曲の方が、本システムが持つタンバリン譜の生成・表示機能とタンバ

リン演奏の判定・フィードバック機能の効果が大きいことを示す。

5.2.2 被験者

実験 1 と同じ被験者をお願いした。ただし、この実験では後述のとおり RWC 研究用音楽データベースの楽曲を使用するため、歌い手にはこの楽曲を歌えるように覚えてもらう必要がある。被験者にとってこの負担は大きいと判断に、この負担を省くため、歌い手は全曲実験者が行った。つまり、被験者は叩き手 4 名、聴き手 4 名の合計 8 名である。

5.2.3 実験環境

実験 1 と同様である。

5.2.4 実験手続き

まず、場を和らげるために通常のカラオケの機器を用いて 1 曲歌ってもらうのと、その次に「練習モード」で Wii タンバリンの練習を行うのは、実験 1 と同様である。

その後の実験では、4 組のうち 2 組は本システムによる演奏 (既知曲, 未知曲の順, 以下同様) を行った後に比較システムによる演奏を行い、残りの 2 組は比較システムによる演奏を行った後に本システムによる演奏を行った。

5.2.5 使用曲

既知曲には実験 1 で用いた楽曲から『女々しくて』(本システム用)と『残酷な天使のテーゼ』(比較システム用)を選んだ。未知曲には、RWC 研究用音楽データベース [12] の研究用に新規に作成された J-POP 風の楽曲 (本システム用として『REAL な 5 分』, 比較システム用として『レプリカ』) を用いた。同データベースの配布用 Web ページで配布している MIDI ファイルに人手で歌詞などの情報を挿入して使用した。

5.2.6 実験結果

実験結果を表 6, 表 7 に示す。実験 1 と同様、6 段階評価で、1 がネガティブな回答、6 がポジティブな回答である。結果は、次のようにまとめることができる。

- 未知曲については、叩き手と聴き手の両方において、すべての項目で本システムの評価の平均値が比較システムのそれよりも同じか上回った。特に、叩き手に対する Q4 (曲やリズムに乗れたか), Q5 (演奏がカラオケを盛り上げられたか) は、2.0 以上の差がついた。

表 7 実験 2 における聴き手へのアンケート結果 (SD: 標準偏差)
Table 7 Questionnaire results for listeners in Experiment 2.

質問	既知曲				未知曲			
	比較システム		本システム		比較システム		本システム	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
Q1. 飽きを感じなかったか	5.50	0.57	4.75	0.95	3.25	1.25	4.25	0.95
Q2. 歌に興味を持てたか	5.50	0.57	4.75	0.95	3.75	0.50	3.75	1.25
Q3. 演奏がうるさくなかったか	4.50	1.29	4.00	1.41	3.75	2.06	5.25	0.50
Q4. 演奏が曲にあったか	4.00	1.82	4.00	1.15	2.50	1.29	5.00	0.81
Q5. 歌い手をやりたいか	4.75	1.25	4.00	1.41	2.25	1.50	3.75	1.25
Q6. 叩き手をやりたいか	5.00	1.41	4.25	0.95	1.75	0.95	5.00	0.81

表 8 実験 2 における自由回答 (抜粋)

Table 8 Answers to open-ended questions in Experiment 2.

役割	意見
叩き手	聴き手もノリやすいので盛り上がる
	本システムの方が楽しい
	比較システムで演奏するとき、リズムをなんとなくきざむ。消極的な演奏になり、盛り上がらない
	タンバリンがあったほうが華やかになる
	知らない曲だとリズムが合わないことがある
	知らない曲でノリ方がわからなくても曲に入り込もうと思える
	知らない曲だと人それぞれ盛り上がり方があるのではないかと思う
	本システムで譜面を表示することである程度のレベルの演奏が可能になった
聴き手	楽しかったのでまた使いたい
	みんなのリズムが統一されて盛り上がる
	知らない曲をただ聴いているだけよりもリズムを取る楽しみがある
	知らない曲で使ってみたい (叩き手をしてみたい)
	知らない曲では演奏が難しそう

- ただし、Q3 (演奏がワンパターンにならなかったか) については、両システムとも低い評価であった。
- 一方、既知曲については、叩き手に対する Q1 (タンバリンは叩きやすかったか)、Q3 (演奏がワンパターンにならなかったか)、Q5 (演奏がカラオケを盛り上げられたか) 以外では、本システムの評価の平均値が比較システムのそれよりも同じか下回る結果となった。また、自由回答では表 8 に示す意見が得られた。

5.2.7 考察

前項で述べた実験結果に対して考察を行う。

- 未知曲の場合に、すべての項目で本システムが比較システムより同じか上回る評価を得たことから、5.2.1 項で立てた仮説どおり、タンバリン譜の生成・表示機能およびタンバリン演奏の判定・フィードバック機能が、叩き手が対象曲を知らないときに有効であることが明らかになった。
- 自由回答においても、「比較システムで演奏するとき

(中略) 消極的な演奏になり、盛り上がらない」「本システムで譜面を表示することである程度のレベルの演奏が可能になった」などの回答があり、我々の狙いどおりの効果が得られたといえる。

- 叩き手に対する Q3 (演奏がワンパターンにならなかったか) については、未知曲に対して両システムにおいて低い結果となった。これは、未知曲として用いた『REAL な 5 分』が比較的単調な曲であるため、提案手法によって生成されたタンバリン譜も単調なものになってしまったからだと考えられる。
- 聴き手に対する Q6 (叩き手をやりたいか) では、既知曲では本システムの評価が比較システムを下回ったが、未知曲では本システムの評価の平均値が比較システムを 3.0 以上上回った。このことから、本システムの 1 つの目的であるタンバリン演奏を促すことに成功できた可能性が高いと考える。

ただし、実験 1 と同様被験者が少なく、統計的な有意差を確認できていないので、さらなる検証が必要である。

6. 実験 3: 複数人による演奏の効果の検証

前章の実験では、本システムに用いることにより、ワンパターンなタンバリン演奏を避けることができること、特に叩き手が知らない楽曲に対しては、リズムに乗ってタンバリンを叩くことができ、聴き手に対する印象も改善できることが明らかになった。しかし、アンケートの自由回答には「歌よりもモニタばかりに注意がいった」などの意見があり、本システムによりタンバリン演奏にゲーム性を付加したところ、歌唱者への注目が減る結果になった。このことは、歌唱者と非歌唱者が一体となってカラオケをとともに楽しむという本研究の本来の目的からは、離れてしまっていることを示すものである。

この状況を想定し、歌唱者も含む全員がタンバリン演奏に参加するようになっている。しかし、実験 1・実験 2 では、アンケートへの回答および回答結果の考察をやすくするために、叩き手の交代機能を無効にし、実験を通してカラオケ内の役割 (歌い手、叩き手、聴き手) を固定した。そこで本章では、この叩き手交代機能により全員がタンバ

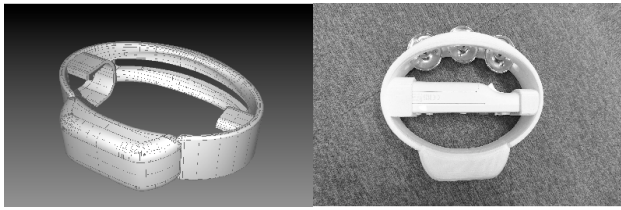


図 19 3D プリンタで作成した Wii タンバリン (実験 3 で使用)

Fig. 19 Wii Tambourine that we made with a 3D printer for Experiment 3.

リン演奏に参加することの効果を検証する (「実験 3」と呼ぶ)。

6.1 実験の目的

本実験では、全員がタンバリン演奏に参加することで場の一体感が増し、カラオケがより盛り上がるとの仮説を立て、この仮説の妥当性を検証する。そのため、実験 1・2 と同様に歌い手・叩き手・聴き手を固定した場合 (「単独演奏」条件) と歌い手も含めて全員がタンバリン演奏に参加する場合 (「全員演奏」条件) の両方の条件で本システムを用い、その結果を比較する。

6.2 被験者

被験者は、同じサークルに所属する 9 名の大学生 (19~23 名, 男性 6 名, 女性 3 名) である。このうち 5 名が過去に楽器を習った経験がある。実験 1・実験 2 で見られた歌唱者への注目の低下を解消することに主眼が置かれているため、原則として実験 1 と同じ被験者に実験 1 と同じ役割を依頼した。ただし、スケジュールの都合上、9 名中 3 名は実験 1 と異なる役割を担当し、1 名は実験 1 とは異なる被験者に依頼することとなった。

6.3 実験環境

実験 1・2 と同様である。

ただし、Wii タンバリンは 3D プリンタで作成したものを使用する。Wii タンバリンとして、これまでは市販のモンキータンバリン*7 に Wii リモコンを養生テープで固定した実験装置であったが、前実験の過程において、養生テープが剥がれる、Wii リモコンの固定が弱いためタンバリンを振りにくい、といった様子が観察された。このようなユーザビリティの低下はユーザエクスペリエンス (UX) を損なう [13]。養生テープの剥がれといった、我々の実験意図とは無関係なことが起きないように、本実験に先立ち、Wii リモコンを内蔵可能なタンバリン形状を CAD で設計して 3D プリンタで作成した*8。図 19 は作成したモデルを示す。

また、歌い手もタンバリンを演奏するので、マイクを

*7 円形の枠の周りにシンバルがついただけの皮のないタンバリン。

*8 材料は白色 PolyMax PLA を利用し、FDM 方式により積層ピッチは 0.2 mm。

表 9 被験者の役割

Table 9 Role of participants.

	単独演奏	全員演奏
役割 1	歌い手	歌い手兼叩き手
役割 2	叩き手	叩き手
役割 3	聴き手	叩き手

持ってタンバリンを持つ手の位置を指示どおりに移動するのは難しいと予想されるため、この実験ではタンバリンを叩く手の位置の指定は行わない設定にした。

6.4 実験手続き

まず、場を和らげるために通常のカラオケの機器を用いて 1 曲歌ってもらうのと、その次に「練習モード」で Wii タンバリンの練習を行うのは、実験 1・2 と同様である。

その後、3 組のうち 2 組は「単独演奏」条件 (『女々しくて』、『君の知らない物語』の順) の後に「全員演奏」条件 (『残酷な天使のテーゼ』、『千本桜』の順)、残りの 1 組は「全員演奏」条件の後に「単独演奏」条件 (条件内の曲順は同じ) の順で実験を行った。両条件における 3 名の役割を表 9 のように定義する。

実験終了後、アンケートを行った。この実験では、主に全員がタンバリン演奏に参加することによる一体感や盛り上がりの向上を確かめるのが主目的であるため、実験 1 や実験 2 で用いたアンケート項目からタンバリン演奏の適切さや歌いやすさを問うものを削除し、盛り上がりや一体感、楽しめたかどうかに関する項目を追加した。

6.5 使用曲

実験 1 と同様、『女々しくて』『君の知らない物語』『残酷な天使のテーゼ』『千本桜』を用いた。

6.6 実験結果

実験結果を表 10 に示す。役割 1 の Q7 (タンバリンは必要か)、Q9 (歌唱者をやりたいか) を除き、全役割の全設問について、全員演奏条件の方が単独演奏条件よりも回答の平均値が高かった。以下、役割ごとに結果をまとめる。

● 役割 1 について

Q1~Q6 で全員演奏条件の回答の平均値が 5.0 以上となり、ともに単独演奏条件を上回ったが、Q7 (タンバリンは必要か)、Q9 (また歌唱者をやりたいか) では、全員演奏条件が単独演奏条件を下回る結果となった。

● 役割 2 について

すべての項目において、全員演奏条件の回答の平均値が 5.0 以上であった。特に、Q1 (カラオケを楽しめたか)、Q3 (一体感を得られたか)、Q5 (盛り上げに貢献できたか) では、被験者 (3 名) の全員が最高得点である「6」を回答した。

表 10 実験3のアンケート結果 (SD:標準偏差)
Table 10 Questionnaire results in Experiment 3.

質問	役割 1				役割 2				役割 3			
	単独演奏		全員演奏		単独演奏		全員演奏		単独演奏		全員演奏	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
Q1. カラオケを楽しめたか	5.16	0.40	5.50	0.83	5.50	0.83	6.00	0.00	4.66	1.50	5.33	1.03
Q2. 他人は楽しんでたか	4.50	0.54	5.50	0.83	4.66	1.21	5.66	0.81	4.16	1.60	5.16	1.32
Q3. 一体感を得られたか	4.33	1.03	5.66	0.81	4.50	1.51	6.00	0.00	3.66	1.03	5.33	1.21
Q4. 飽きなかったか	5.16	1.32	5.66	0.51	5.33	1.03	5.83	0.40	3.00	1.89	4.66	1.96
Q5. 盛り上げに貢献出来たか	4.33	0.81	5.16	1.69	4.83	1.16	6.00	0.00	2.16	1.16	5.33	1.96
Q6. 盛り上がったか	4.33	0.81	5.00	1.67	4.66	1.21	5.83	0.40	3.50	1.22	5.33	1.03
Q7. タンバリンは必要か	5.16	0.75	4.50	1.64	4.33	1.36	5.83	0.40	3.66	1.03	5.00	0.63
Q8. 演奏は曲に合っていたか	3.66	0.81	4.66	0.81	4.66	1.50	5.50	0.54	3.83	1.16	5.66	0.51
Q9. 歌唱者になりたいか	5.33	1.03	4.83	1.83	3.83	1.94	5.50	0.54	4.50	1.51	5.33	0.89

注 1 Q5 (盛り上げに貢献できたか) は, 自分が場の盛り上げに貢献できたと思うか, Q6 (盛り上がったか) は, 全体として場が盛り上がったと感じたかを問う項目である.

注 2 役割 1 の Q9 については「歌唱者になりたいか」ではなく「また歌唱者をやりたいか」と聞いた.

● 役割 3 について

Q4 (飽きなかったか) 以外のすべての項目において, 全員演奏条件の回答の平均値が 5.0 以上であった.

ただし, 実験 1・実験 2 と同様に被験者が少なく (各役割 3 名ずつ), 統計的な有意差を示すには至っていない.

6.7 考察

前節で述べた実験結果に対して, 次のように考察する.

- Q1~Q6 において, どの役割についても全員演奏の方が単独演奏条件よりも回答の平均値が高かったことから, 少なくともこの 9 名の被験者については, 全員がタンバリン演奏に参加することで, 一体感を高め, カラオケをより盛り上げ, より楽しめるものに行うことができたといえる.
- 役割 1 の Q7 (タンバリンは必要か), Q9 (また歌唱者をやりたいか) において, 全員演奏条件が単独演奏条件を下回ったことに対する 1 つの理由として, 歌いながらタンバリンを演奏するのが難しかったことが考えられる. 実際, アンケートの回答ではないが, 実験後に「歌詞を見ながらタンバリン譜も見て歌唱と演奏の両方をしないとイケないのが大変」と言っていた被験者がいた. 歌詞とタンバリン譜の表示方法を改善する, あるいは, 歌い手を兼ねる叩き手のみタンバリン譜の難度を下げるなどの対策が望まれる.

本実験では, 実験 1 と同じ被験者が参加している. 本実験の単独演奏条件は, 実験 1 とほぼ同様の実験であるため, 実験 1 で本システムを体験済みであることが回答に何らかの影響を及ぼしている可能性がある. そこで, 実験 1 と実験 3 の単独演奏条件で同じ役割を担当した被験者について, 両者の回答の相違を比較した (両実験で共通の設問のみ). その結果を表 11 に示す. 聴き手の「演奏が曲にあっていたか」以外については, 全被験者・全設問に対し

表 11 実験 1 と実験 3 において同じ役割を担当した被験者の回答の相違. 「歌」「叩」「聴」は各役割, アルファベットは被験者を表す. 「実験 1」は実験 1 の本システム, 「実験 3」は実験 3 の単独演奏条件における回答 (各々 2 曲分の平均)

Table 11 Differences of questionnaire results between Experiments 1 and 3 for participants who played the same role in both experiments.

	質問	実験 1		実験 3	
		実験 1	実験 3	実験 1	実験 3
歌	他の人は楽しんだか	B 5.0	4.5	D 4.5	4.5
	タンバリンは必要か	B 5.0	5.5	D 3.5	4.5
	曲に合っていたか	B 3.5	3.5	D 4.5	4.5
叩	盛り上げられたか	F 3.0	4.0		
聴	飽きなかったか	C 3.5	4.5	G 2.5	3.5
	曲に合っていたか	C 1.5	4.0	G 4.5	3.0
	歌い手をやりたいか	C 3.5	4.0	G 4.0	3.5

て差が 1.0 以内であった. そのため, 実験 1 で本システムを体験済みであることは, 大きな影響はしていない可能性が高いと考えている.

7. 要素技術に対する評価

本章では, Wii タンバリンの動作やタンバリン譜の生成など要素技術レベルでの評価を行う. Wii タンバリンとして実験 1・実験 2 で用いたもの (図 18) を用いる.

7.1 判定時の係数 r_1, r_2, r_3 の妥当性の考察

4.2~4.4 節で, 練習モード時よりもタンバリンを弱く叩いたときでも叩いたと判定されるように, 係数 r_1, r_2, r_3 を導入した. これらの係数は, 4.2 節でも述べたように, 本来であれば, 練習モードで得られる加速度差の標準偏差など, ユーザの叩き方のばらつきに基づいて決めるべきであるが, 簡単のため, 一律に 0.7 にした. 実験 1 の被験者 (叩き手) 4 名が, 練習モードでタンバリンを (自

表 12 練習モードで自由に叩いたときの加速度差の平均と標準偏差, カバー率

Table 12 The means, standard deviations, and coverage rates of acceleration differentials when each participant beats freely at the practice mode.

	平均	標準偏差	カバー率
被験者 1	19.9847	5.3826	0.8673
被験者 2	24.4983	7.7973	0.8270
被験者 3	19.9750	7.9297	0.7751
被験者 4	29.8533	7.8253	0.8738

表 13 練習モードで強く叩いたときの加速度差の平均と標準偏差, カバー率

Table 13 The means, standard deviations, and coverage rates of acceleration differentials when each participant beats strongly at the practice mode.

	平均	標準偏差	カバー率
被験者 1	24.3804	5.6256	0.9032
被験者 2	24.1185	8.9453	0.7907
被験者 3	24.2819	9.0355	0.7899
被験者 4	36.4117	14.057	0.7814

表 14 練習モードで振ったときの加速度差の平均と標準偏差, カバー率

Table 14 The means, standard deviations, and coverage rates of acceleration differentials when each participant shake the tambourine at the practice mode.

	平均	標準偏差	カバー率
被験者 1	5.2727	0.9045	0.8550
被験者 2	8.0000	3.4641	0.7391
被験者 3	5.0555	2.3632	0.9275
被験者 4	8.5200	3.5487	0.8854

由な強さで)叩いたとき, 強く叩いたとき, 振ったときのそれぞれの加速度差の平均値と標準偏差を表 12, 表 13, 表 14 に示す. 仮に, 本番でタンバリンを叩いたときの加速度差の分布が, この表の平均値と標準偏差からなる正規分布に従うと仮定したとき, 「平均値 × 0.7」のしきい値で叩いたと判定すると, 表 12~表 14 の「カバー率」に示した分だけ叩いたと判定されることになる. 表によると, カバー率はいずれも約 0.74 以上となっており, 現状でも一定程度は, 叩いたと判定できているといえる*9.

7.2 手の位置の識別実験

手の位置, 具体的には上で叩いているか, 下で叩いてい

*9 表 12, 表 13 を見ると, 被験者 2 は, 自由に叩いたときと強く叩いたときで加速度の平均値がほとんど同じ値になっていることが分かる. これは「自由に叩く」の場面で強く叩くのも含めて自由な強さを許容しているからである. つまり, この被験者は「自由に叩く」の場面でも十分に強く叩いていることを意味する. カラオケ中の演奏の判定では, 叩く強さが提示されていない場面で「強く叩く」に相当する強さで叩いても問題ないため, 実用上問題ないと考える.

表 15 手の位置の識別実験結果

Table 15 Experimental results of hand position classification.

被験者	練習回数 (上)	練習回数 (下)	正解率
1 人目	35	38	96%
2 人目	32	64	49%
3 人目	41	66	99%
4 人目	36	30	97%
5 人目	33	22	100%
6 人目	40	36	100%
7 人目	52	47	93%

表 16 タンバリン譜評価結果

Table 16 Results of tambourine score evaluation.

曲	総符数	不足符数	不要符数
栄光の架け橋	175	5	6
小さな恋の歌	564	1	0
千本桜	563	6	0
残酷な天使のテーゼ	300	7	4
君の知らない物語	687	6	8
サウダージ	480	1	0
女々しくて	232	2	1

るかの識別の精度を評価した. 実験は, 7 名を対象に実験 1, 実験 2 同様に練習モードで手の位置のパターン学習を被験者が納得いくまで繰り返し, 「上で叩く」「上で叩く」「下で叩く」「下で叩く」を 25 回, 計 100 回叩いてもらいどれほど正しく判定できたか検証した.

実験の結果は表 15 のとおりである. 2 人目の被験者以外高い正解率となった. 2 人目の被験者については, 「上で叩く」の直前の「下で叩く」, および「下で叩く」の直後の「上で叩く」でほとんど誤識別していた. このことから, タンバリンを叩いている最中にタンバリンを持ち上げる動作をしてしまっており, 叩く時点でのタンバリンの高さが曖昧になってしまったからであると推察される.

7.3 生成されたタンバリン譜に対する評価

本システムが自動生成したタンバリン譜が音楽的に妥当かどうか, 音楽大学を卒業した音楽の専門家 1 名に評価してもらった. 用意した MIDI ファイルにタンバリン譜の演奏を追加し, タンバリン譜の表示に合わせてそれを再生したのを見てもらい, 不足符 (タンバリンを叩くべきだが叩く指示が出ていない箇所) と不要符 (タンバリンを叩かない方が望ましいが叩く指示がでている箇所) を書き込んでもらった. 結果を表 16 に示す. すべての曲のほとんどの箇所について, 一定程度の音楽的妥当性があることが分かった. 不足符について, 同じパターンが続く中で, たまたまスネアドラムのペロシティが低かったために, ある箇所の符が省略された場合に, その箇所もタンバリンを叩くべきだという指摘がいくつか見られた.

本システムでは, スネアドラムのない小節には無音でな

ければ小節の頭に符を生成するという方針をとった。この方針により頭に符が生成された小節は合計で327小節あるが、そのうち313小節は不要符も不足符も指摘されなかった。このことから、この方針が一定の評価を得ていることが分かる。一方、この方針をとったために不要符が発生した場面として、サビやエンディングの最後の音が数小節にわたって延びているときに、その小節の頭に符が生成されたケースがあげられる。このようなケースは、当該小節内にノートオンメッセージがあるかどうかによって除外できるので、今後、こういったケースの除外を導入する必要がある。

7.4 遅延について

本システムではタンバリンの音はタンバリン自体のシンバルから発するため、タンバリン譜の表示とMIDIファイルの再生の間に遅延がなければ、仮にBluetoothの通信に遅延があったとしても、タンバリンの音が遅れたり早くなったりするなどの事態は生じない。遅延について定量的な評価は行っていないが、5章、6章で述べた実験において実用上の支障になるような遅延は発生しなかった。

8. 残された課題

本章では、今後検討すべき課題について議論する。

8.1 被験者数を増やしたうえでの検証

本稿では様々な実験を行ってきたが、役割ごとの被験者が3~4名と大変少なく、統計的検定で有意差を示すには至らなかった。そのため、平均値と標準偏差の記載およびそれに基づく考察にとどまることとなった。統計的検定を行える程度に被験者を増やし、有意差の有無により考察を行うことは、重要な今後の課題の1つである。

8.2 実験から明らかになった改善点

実験1~3を通じて、次のような問題点が明らかになった。

- タンバリン譜が、叩き手にとって難しすぎる場合がある（難度の問題）。
- タンバリン譜が難しい場合、演奏にズレが発生し、歌いにくさの一因となる（ズレの問題）。
- タンバリンがうるさい場合がある（音量の問題）。
- 歌い手がタンバリン演奏に加わる場合、歌詞とタンバリン譜を両方見て演奏するのが難しい（表示の問題）。

難度の問題を解決する方法は、5.1.7項でも述べたようにタンバリン譜を叩き手の演奏能力に合わせて適応的に変化させることである。演奏中にシステムが演奏の正確性を判断して、より簡単なタンバリン譜に切り替えることもできるであろうし、練習モードの際にリズムの正確性を判断し、正確性の低い叩き手には最初からやさしいタンバリン譜を表示することも考えられる。

ズレの問題と音量の問題を解決するには、タンバリンのシンバルを除去しWiiリモコンのスピーカから音を出すようにすることが有効である。これによって、音量を曲調に合わせて変えることが可能になり、クォンタイズ（演奏のタイミングをある基準に合うように調整すること）を自動的に行ってリズムのズレを解消することもできる。また、ズレの問題はタンバリン譜の難度に一因があるので、上述のタンバリン譜の難度調整と一緒に取り組む必要がある。

表示の問題は、現在画面上部と中央部に分かれているタンバリン譜と歌詞の表示を統合するなど、表示そのものの改善も考えられるが、6.7節でも述べたように、歌い手を兼ねる叩き手についてはタンバリン譜をパターン化し覚えやすくすることで、この問題を緩和することも考えられる。

8.3 実験3で用いたWiiタンバリンの評価

7章ではWiiタンバリンの動作について評価を行ったが、実験1・実験2で用いたWiiタンバリンでしか評価していない。本研究では2種類のWiiタンバリンを作成したが、Wiiリモコンの持ち手からの相対的位置などが異なるため、識別精度などに違いが生まれる可能性があり、今後検証していく必要がある。

8.4 慣れを考慮した検証

本稿で行った被験者実験はいずれも短時間で終わるものであった。しかし、このようなエンタテインメントに関する実験の場合、システムに対する「慣れ」や「物珍しさ」が重要な要素になる可能性がある。つまり、あるシステムを初めて使って盛り上がった場合、物珍しいことによる楽しさや使い慣れていないものを攻略する楽しさが含まれている可能性がある。その場合、慣れによってその盛り上がりは減少すると予想される。一方、繰り返し使う過程でその人にとって効果の高い使い方を見出して、むしろより盛り上がるようになる可能性もある。これらの事柄を検証するには、被験者に繰り返し使ってもらって、使い方や盛り上がり方がどのように変遷していくかを分析する必要がある。今後取り組むべき課題の1つである。

9. おわりに

本研究では、カラオケを盛り上げるためのタンバリン演奏支援システムとして、MIDIデータのスネアドラムをもとにタンバリン譜を生成・画面表示してタンバリンの使用を促すシステムを提案した。画面表示に合わせてWiiリモコン内蔵タンバリンを叩くことで、演奏の正しさが画面にフィードバックされ、ゲーム感覚でタンバリン演奏を楽しむことができる。また、特定の人だけがタンバリン演奏を楽しむことを防止するため、AメロやBメロなどの曲構成に基づいて叩き手を交代する仕様になっており、サビは全員で叩くことで盛り上がりを強調するようになっている。

これを実装し、実際のカラオケ店で実験したところ、叩き手が知らない楽曲に対してタンバリンを叩く際やワンパターンな演奏を避けたい場合には一定の効果が見込めるものの、タンバリン譜の難度が高くて叩き手によっては正確に叩くのが難しい場合や、そういった場合にリズムのズレが発生してむしろ歌いにくくなる点などが明らかになった。

今後は、8章で述べた課題を1つ1つ解決し、カラオケに参加する全員がより楽しめるシステムを目指したい。

謝辞 本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業 26240025, 26280089, 16H01744, 16K16180, 16KT0136 の補助を受けた。また、本研究を進めるにあたり、評価実験を快く引き受けてくださった被験者の方々に感謝する。

参考文献

- [1] 浦川雄一, 勝瀬郁代, 川島達也: 外れた音程を修正するカラオケシステム, 平成 20 年度電気関係学会九州支部連合大会 (第 61 回連合大会) 講演論文集, セッション ID: 03-2P-06 (2008).
- [2] 寺田 努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: アクティブデータベースを用いたカラオケの背景作成システム, 情報処理学会研究報告 [音楽情報科学], Vol.2000, No.19, pp.73-78 (2000).
- [3] 岩見直樹, 三浦雅展: MIDI 楽器を用いたドラム演奏練習支援システムの提案, 情報処理学会研究報告 [音楽情報科学], Vol.2007, No.102, pp.85-90 (2007).
- [4] 入手先 (<http://www.nintendo.co.jp/wii/controllers/index.html>).
- [5] 黒うさ P: 千本桜 (2011), 入手先 (<http://www.nicovideo.jp/watch/sm15630734/>).
- [6] ヤマハ: 音楽用語辞典, 楽器解体全書 PLUS, 入手先 (<http://www.yamaha.co.jp/plus/>).
- [7] 後藤真孝: リアルタイム音楽情景記述システム: サビ区間検出手法, 情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告, Vol.2002, No.100, pp.27-34 (2002).
- [8] 高田友則, 橋口博樹: MIDI におけるメロディ情報を利用した繰り返し構造の検出, 埼玉大学紀要工学部, No.39 (2006).
- [9] 澤田英之, 橋本周司: 加速度センサを用いたジェスチャー認識と音楽制御への応用, 電子情報通信学会論文誌, Vol.79-A, No.2, pp.452-259 (1996).
- [10] 飯村伊知郎, 藤木拓郎, 中山 茂: 家庭用ゲーム機の入力デバイスを用いた階層型ニューラルネットワークによるジェスチャー認識, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.1, pp.199-203 (2010).
- [11] JOYSOUND 2013 年 年間カラオケランキング, 入手先 (<http://www.joysound.com/st/2013yearranking/>).
- [12] 後藤真孝, 橋口博樹, 西村拓一, 岡 隆一: RWC 研究用音楽データベース: 研究目的で利用可能な著作権処理済み楽曲・楽器音データベース, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.3, pp.728-738 (2004).
- [13] Morville, P.: Experience design unplugged, *ACM SIGGRAPH 2005*, Kothary, N. (Ed.), ACM, New York, USA, Article 10 (2005).



栗原 拓也 (学生会員)

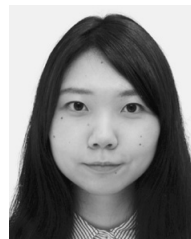
2015 年日本大学文理学部情報システム解析学科卒業。同大学大学院総合基礎科学研究科博士前期課程在学中。音楽情報処理の研究に従事。

木下 尚洋

2015 年日本大学文理学部情報システム解析学科卒業。在学中に音楽情報処理の研究に従事。

山口 竜之介

2015 年日本大学文理学部情報システム解析学科卒業。在学中に音楽情報処理の研究に従事。



横溝 有希子

2015 年東京理科大学工学部第一部経営工学科卒業。2017 年首都大学東京システムデザイン研究科インダストリアルアート学域修士課程修了予定。



竹腰 美夏

2015 年首都大学東京システムデザイン学部卒業, 同年同大学大学院に入学, 現在に至る。インタラクティブデザイン, デジタルファブリケーションの研究に従事。



馬場 哲晃 (正会員)

九州芸術工科大学, 九州大学で芸術工学を専攻。博士 (芸術工学)。現在は公立大学法人首都大学東京システムデザイン学部/研究科インダストリアルアートコース/学域准教授。芸術, エンタテインメント, 教育, デザインに関してインタラクティブを軸にした研究を実践している。ACM, ADADA, VR 学会各会員。



北原 鉄朗 (正会員)

2002年東京理科大学理工学部卒業.
2007年京都大学大学院情報学研究科
博士後期課程修了. 博士(情報学).
科学技術振興機構CREST研究員等
を経て, 現在, 日本大学准教授. 音楽情
報処理等に興味を持つ. 電子情報通信

学会, 日本音響学会等各会員.