

| | |
|--------------|---|
| Title | カラオケの音楽的行為特性に基づく伴奏用楽器のデザイン |
| Author(s) | 堀江, 歩; 西本, 一志 |
| Citation | 情報処理学会論文誌, 66(2): 308-320 |
| Issue Date | 2024-11-01 |
| Type | Journal Article |
| Text version | publisher |
| URL | http://hdl.handle.net/10119/19692 |
| Rights | <p>社団法人 情報処理学会, 堀江歩, 西本一志, 情報処理学会論文誌, Vol.66, No.2, 2024, 308-320.ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPJSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPJSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPJSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.</p> |
| Description | |

カラオケの音楽的行為特性に基づく伴奏用楽器のデザイン

堀江 歩¹ 西本 一志^{1,a)}

受付日 2024年5月17日, 採録日 2024年11月1日

概要: カラオケを盛り上げるためにタンバリンやマラカスなどの打楽器がよく用いられている。しかし、歌唱者の歌唱を盛り上げるようにこれらの楽器をうまく演奏することは容易ではなく、しばしば歌唱者の歌唱を妨害してしまう。本論文では、楽器という操作難度が非常に高いツールを容易化するための従来の取り組みを概観し、カラオケに代表される娯楽的音楽演奏のための楽器容易化手段について検討し、その結果に立脚してカラオケでの使用を想定した伴奏用打楽器 Aqua Tambourine を提案する。Aqua Tambourine は、奏者がタンバリンを振る動作から得た振動周波数によって奏者が演奏しようとしているビートを推定し、歌唱中の楽曲に合わせた適切なタイミングで演奏音を出力する。Aqua Tambourine と通常のタンバリンを実際のカラオケの伴奏に使用し、比較実験を行った。その結果、Aqua Tambourine は歌唱者の邪魔にならず、それゆえにタンバリン奏者が気軽に演奏できることが明らかになった。しかしながら、現状の Aqua Tambourine がやや過剰に操作自由度を制限しているため、カラオケの盛り上がりを妨げている可能性も示唆された。

キーワード: カラオケ, 伴奏, 音楽演奏支援

Designing an Accompaniment Musical Instrument Based on the Musical Characteristics of Karaoke

AYUMU HORIE¹ KAZUSHI NISHIMOTO^{1,a)}

Received: May 17, 2024, Accepted: November 1, 2024

Abstract: Percussion instruments such as tambourines and maracas are often used to vitalize karaoke performances. However, it is not easy to play them well to enhance the singers' singing, and they frequently interfere with their singing. In this paper, we first review conventional efforts to facilitate the use of musical instruments and discuss means of facilitating the musical instruments for recreational music performances such as karaoke. Based on the discussion, this paper proposes an accompaniment musical instrument for karaoke named "Aqua Tambourine." Aqua Tambourine estimates the beat the player is trying to play based on the vibration frequency obtained from the player's shaking of the tambourine and outputs the sound at the appropriate timing according to the music being sung. Comparison experiments were conducted using the Aqua Tambourine and a normal tambourine. The results showed that the Aqua Tambourine did not interfere with the singer and that the Aqua Tambourine player could easily play it. However, it was also suggested that the current Aqua Tambourine limits the freedom of operation to a somewhat excessive degree, which may hinder the excitement of the karaoke performance.

Keywords: karaoke, accompaniment, musical performance support

1. はじめに

カラオケは日本発のレジャーであり、今や世界各国で親しまれている。カラオケで歌唱し自己表現することで満足感を得たり、他人と息を合わせて歌唱することによって親睦を深めたり、大声で歌うことでストレスを発散したりと、

¹ 北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科
Graduate School of Advanced Science and Technology,
Japan Advanced Institute of Science and Technology, Nomi,
Ishikawa 923-1292, Japan

a) knishi@jaist.ac.jp

様々な楽しみ方がある。近年では「ひとりカラオケ」という、歌唱すること自体を1人だけでストイックに楽しむスタイルも一部で好まれているが、カラオケという娯楽の大きな魅力は、やはり複数人で盛り上がることによる一体感の醸成であろう。同じ空間に親しい人たちが集まり、様々な楽曲を歌ったり踊ったりすることでその集団全員が楽しい雰囲気を楽しむことができる。

このように娯楽的コミュニケーションの場としてたいへん魅力的なカラオケだが、いくつかの問題も存在する。その1つが、歌唱者とそれ以外の聴衆の温度差である。歌唱者は、聴衆から賞賛されることを目指して選曲した楽曲を巧みに歌い上げることに注力する。一方、歌唱者以外の聴衆は、自分が次に歌う楽曲を探す作業に専念し、歌唱者の歌唱をなおざりにしか聞いていないことが多い。このような温度差がある状況は、歌唱者のモチベーションを低下させ、一体感の醸成に悪影響を及ぼす。それゆえ、歌唱者と聴衆とが協力して場を盛り上げられるようにするための何らかの工夫や仕掛けがあることが望ましい。

そこで、歌唱者の歌唱行為に聴衆も積極的に参加できるようにするための手段として、多くのカラオケ店ではタンバリンやマラカスなどの、特に練習しなくても誰でもすぐに音を出ることができる種類の打楽器を用意している。これらの打楽器を使用して聴衆が歌唱に合わせて演奏すれば、全員で一緒に盛り上がるができるだろうという期待がそこにはある。しかしながら、それはあまりにもナイーブな期待である。「音を出すこと」ができれば「音楽を演奏できる」ということにはならない。これは、たとえばピアノを使って音を出すこととリスト作のピアノ曲を奏でることの間にある巨大なギャップに思いを致せば自ずと明らかであろう。

打楽器は、一見演奏が容易であり、素人でもすぐに演奏できるかに思えてしまうが、実際にはその演奏はまったく容易ではない。打楽器の演奏では、安定したリズムを刻むことがとりわけ重要であるが、その実行は至難の業である。複数人での合奏の場合、不安定なリズムは致命的な影響を全体にもたらす。西堀らの演奏系の遅延に関する研究 [1] によれば、音楽の合奏時の演奏の遅延が 50 ms 程度になると演奏に悪影響が出はじめ、80 ms を超えると演奏困難になることが確認されている。カラオケで初めて打楽器を演奏するような初心者にとって、タイミングの誤差をわずか 50 ms 以下に抑えることは容易でない場合も多い。大きなタイミングのずれやゆらぎを含んだへたな伴奏をしてしまうと、歌唱者の歌唱に悪影響を及ぼし、場の雰囲気や一体感を損なう可能性がある。実際に読者の中にも、カラオケで歌唱中に他者が未熟なタンバリン演奏をしたおかげでうまく歌うことができず、不愉快な思いをした人は多数いることであろう。

このように、単にタンバリンやマラカスなどの一見簡単

そうな打楽器を用意するだけではカラオケにおける歌唱者と聴衆の間の温度差問題の解決にはならず、むしろさらに好ましくない事態をもたらす危険性がある。ゆえに、なんらかの演奏支援機能を提供する必要がある。そこで本論文では、カラオケという音楽的娯楽の特性を前提とした演奏支援機能のあり方について検討し、その結果に基づき構築した支援機能付き打楽器である Aqua Tambourine について述べ、これを用いたユーザスタディを通して提案楽器とそのデザインの有効性について議論する。以下、2章では、楽器の操作容易化のためのアプローチについて議論し、本研究の位置づけを明らかにする。3章では、カラオケの伴奏支援に関する先行研究について概観する。4章では、提案する Aqua Tambourine のシステム構成を説明する。5章では、Aqua Tambourine を用いたユーザスタディとその結果について述べ、提案楽器とそのデザインの有効性について議論する。6章はまとめである。

2. 楽器の操作容易化のためのアプローチと本研究の位置づけ

ピアノやヴァイオリン、トランペットなどの伝統的な楽器は、多種多様な楽曲をなんでも演奏することができ、しかも自由自在に演奏表情を創作することもできるようにするために、非常に高い操作自由度を有している。それがゆえに高い表現力を持つが、その副作用として操作が非常に困難になり、その操作技術の習得のために長い年月にわたる習練や膨大な労力が必要となる。この操作の困難さや習得のための労苦が、特にプロの音楽家における楽器演奏というその行為を行うこと自体を目的とする創作活動への重要な動機づけとなっている側面がある [2]。その反面、多くの一般の人々にとって伝統的な楽器は、好みの楽曲を思いどおりに演奏するためには扱いにくいツールとなり、音楽は好きだが聴いて愉しむだけという受動的な立場に甘んじざるをえない状況を生み出している。

しかしながら近年、計算機の普及と、それにともなう楽器の電子化の進展によって、誰もが演奏できる簡単な楽器が登場してきた。本章では、これまでに行われてきた楽器の操作容易化に関するアプローチを概観し、それに基づき本研究の試みの位置づけを行う。

2.1 楽器の物理的特性に基づく容易化

第1の楽器容易化アプローチは、個々の楽器の物理的特性に起因する困難さに着目した容易化アプローチである。これは、長嶋 [3] が指摘する「従来からのアコースティック楽器を拡張する潮流」に対応する。

たとえばギターの場合、奏鳴させたい音の音高を決定するためには、左手指で正しい弦を正しい位置で押下し、しっかりと指板に弦を密着させる操作が必要である。楽曲の演奏中には、次々と変化していく奏鳴させるべき音に

じてこの操作を連続的に的確かつ遅延なく実施することが求められる。これはきわめて高度な技能であり、実行はまったく容易ではない。そこでヤマハのイージーギター EZ-EG [4] では、この左手による操作を容易化する機能を実装した。最も容易な演奏モードでは、奏者は左手の操作をいっさい行うことなく、右手で弦をかき鳴らすだけでギターを演奏することを可能としている。またギターの左手における操作は、上肢に障害を持つ身体障害者にとってはより困難なものとなる。そこで西ノ平らは、ネックに沿って移動するスライド装置と弦を押下する押圧装置を組み合わせたギター演奏支援装置 F-Ready [5] を構築し、左手による物理的操作を支援した。

ヤマハの EZ-TP [6] は、トランペットを容易化した楽器である。トランペットなどの金管楽器ではマウスピースで口唇を振動させて発音するが、口唇を適切な周波数で安定して振動させることがきわめて難しく、そのため初心者はそもそも音を出すこと自体ができない。そこで EZ-TP では、マウスピースに口をつけた状態で、口唇を振動させるのではなく発声することで演奏を可能としている。

これらの事例は、楽器が持つ物理的な構造特性に起因する困難を緩和・解消することによって演奏を容易化している。

2.2 演奏対象楽曲の音楽的特性に基づく容易化

第2の楽器容易化アプローチは、演奏対象の楽曲の音楽的特性に着目した容易化アプローチである。先述のとおり、伝統的な楽器はあらゆるジャンルの楽曲とあらゆる音楽的表現に対応可能なように、非常に高い操作自由度を有している。しかしながらそれらの自由度の中には、ある種の楽曲を演奏する際には必要ないものもある。そこで、ある特定の楽曲を演奏するにあたって必要のない操作自由度を削減することができれば、演奏が容易になることが期待できる [7]。

たとえば一般的なクラシック音楽を演奏する場合を考えてみよう。多くのクラシック音楽の演奏では、作曲者が書いた楽譜が奏者に与えられ、奏者はその楽譜に書かれた音高列を忠実に再現することが求められる。このような楽曲演奏形態は「再現演奏」と呼ばれる。再現演奏では、ある個所で作曲者が A の音を奏鳴することを求めている場合、たとえ奏者がそこで F の音を奏鳴した方が良いと思ったとしても、実際に F を奏鳴することは許されない。必ず A を奏鳴することが求められる。つまり再現演奏では、奏者には「次に奏鳴する音の選択に関する自由度」は不要である。換言すれば、次に奏鳴すべき音が A なのであれば、次の発音操作では必ず A の音だけが出るようにすればよい。しかしながら、たとえばピアノの場合、88 個の鍵の中から A の音を発音する鍵を選び出して打鍵しなければならず、無用な認知的・身体的負荷を強いられる。しかも、うっか

り隣接する G の鍵を打鍵してしまえば、ミスタッチという誤演奏になってしまう。これは、ピアノが常時 88 種の音高を出力できるという不要な自由度を提供し続けるがゆえの問題である。ゆえに、再現演奏という形態の楽曲演奏では、つねに楽譜に書かれている次に奏鳴すべき音だけが出力されるように、音高の選択に関する自由度を削減すればよい。これによって、奏者の認知的・身体的負荷が大きく軽減され、その分生じた余力を、再現演奏において奏者が本当にやらなければならない「演奏表情の創造」に回すことができるようになり、より良い演奏を実現できるようになる。大島らによる Coloring-in Piano (CiP) [8] は、このような思想に基づいてデザインされた再現演奏のための楽器である。

別のジャンルの楽曲として、モダンジャズの演奏における即興演奏を対象としてデザインされた容易化楽器が多数存在する。たとえば、谷井らの INSPIRATION [9] や石田らの ISM/ISMv [10]、吉館らの即興演奏支援システム [11] は、即興演奏中に不協和度がきわめて高い音 (Avoid note や Out note) を奏者が奏鳴させようとした際、システムがその音を協和度が高い音に差し替えて発音する機能を有する。これらも即興演奏の特性に基づく音高選択の自由度削減を行っている。また、先にあげたヤマハの EZ-EG の最も簡単な演奏モードも、特定の楽曲の演奏に特化した左手の操作自由度の削減による容易化とみることもできる。塚本による PocketMusician [12] は、主としてポップス楽曲の演奏を対象として和音 (コード) の演奏に特化した楽器である。操作インタフェース上の各操作子 (ピアノの鍵に相当するもの) には特定のコードが割り当てられており、ある操作子を押下することで、そこに割り当てられているコードを奏鳴することができる。これも奏者が個別の音を組み合わせるための自由度を削減している。また特殊な例であるが、現代音楽における音群技法で作曲された楽曲の演奏に特化した演奏支援システムも提案されている [13]。

2.3 娯楽目的での音楽演奏のための楽器容易化

前述の2つの楽器容易化アプローチ (特に第2のアプローチ) では、楽器は「音楽的創造活動を行うための道具である」ということが暗黙的に前提とされていた。楽器を用いた演奏という音楽的創造は、当該楽器で出力可能な種類の音の独自の組合せによって構成される。伝統的な楽器の場合、たとえばサクソフォンであれば、同じ運指状態であったとしても、マウスピースを噛む位置や力の加減、吹き込む息の量と速さなどによって、1つの音高の音についても多様な種類の音を奏鳴させることができる。これらを組み合わせればまったく異なる表現の音楽をいくつでも演奏できる。こうして、音の無限の組合せから自分が求める音楽表現を探求することによって、音楽的創造が実現される。もしも出力可能な音の種類がきわめて少なかった場

合、容易にすべての組合せを実現できてしまう「システムの硬直化」が生じて「予期せぬ逸脱 (anticipated jump)」も起こらなくなる [2] ため、独自性を生み出すことができず、音楽的創造が不可能になる。それゆえ「音楽的創造活動を行うための道具」を前提とする楽器演奏の容易化研究の文脈では、操作自由度を（少なくとも）過剰に削減することは好ましくない容易化アプローチと見なされていた。

しかしながら、音楽の演奏活動はすべてが「創造」を目指しているわけではない。単純な「娯楽」としての音楽演奏活動も広く一般的に行われている。そこでは、音楽的に新しい何かを創造することを追求しているのではなく、自分が好きな楽曲を音楽的な質の良し悪しを度外視して気軽に演奏したり、音楽を媒介として他者とコミュニケーションしたり、自己満足な演奏で自己陶醉したりすることを楽しんでいるのである。ゆえに娯楽としての演奏では独自性は必ずしも重要ではない。音楽的に必要な最低限の基準を満たすことは必要であるが、その行為の目標は音楽的創造ではない別の何か（通常は楽しさ）を達成することにあると考えられる。

たとえば、幼少者を対象とした音楽の入門的教育における楽器演奏や、あるいは楽器演奏経験のない（乏しい）中高年者が気軽に楽しむ楽器演奏では、高度な音楽表現を創り出すことは目標ではなく、好きな楽曲のメロディを即座に正しく演奏できることが目標であろう。そこでこのようなニーズに対応した、メロディの正確な演奏に特化した支援機能を持つ電子楽器は、これまでも多数販売されており、前述の CiP [8] もそのようなシステムの 1 つと見なすことができる（ただし CiP は、音楽表情創造のために十分な操作自由度も提供している）。また、藤井らの Cymis [14] や馬場らの Gocen [15] では、楽譜上の音符に順にタッチすることでメロディを簡単に演奏できるようにしている。これら 2 つのシステムでは、奏者に与えられている操作自由度は非常に限られており、独自の音楽表現の創造は困難であるが、その制約によって、とにかく好きなメロディを簡単かつ正確に演奏できることによって音楽演奏体験を即座に楽しめるようにするという目的を達成している。娯乐的音楽演奏活動の 1 つの典型であるカラオケでは、音楽的独自性を追求する利用者も皆無ではないだろうが、大半のカラオケ利用者は、一緒にカラオケに行った友人・知人らとともに盛り上がり高揚した気分を味わったりストレスを発散したりする娯楽体験を求めており、そのような娯楽体験をより良いものにできるようにすることを目指して歌唱・演奏行為を行っている。

つまり楽器容易化の第 3 のアプローチとして、娯乐的音楽演奏のための楽器については、それぞれの娯楽行為の目標達成に必要な操作自由度が保証されさえすれば、音楽的創造に必要な操作自由度にまで立ち入った大幅な自由度削減をしても問題ないと考えられよう。

2.4 本研究の位置づけ

本研究では、娯乐的音楽演奏のための楽器容易化に関する具体的な試みとして、カラオケにおける歌唱への伴奏を対象とした支援機能を持つタンバリン型のリズム楽器を実現することを目指す。カラオケの場における伴奏演奏には、通常の（特に創造的音楽演奏のための）楽器演奏とは根本的に異なる特徴がある。具体的には、以下の 3 点である*1：

- カラオケの伴奏者の多くは、伴奏楽器演奏の初心者であり、音楽的な知識も経験も特に保有していない。
- カラオケの伴奏者の多くは、伴奏楽器の演奏に習熟することを特に望んでいない。
- カラオケの伴奏者の多くは、自分の音楽的な創造性を発揮することを特に望んでいない。

カラオケにおける伴奏の役割は、あくまで場を盛り上げることである。つまり伴奏者は、音楽の創造的表現や楽器演奏の習熟（と、それによる達成感）を楽しみたいのではなく、その場しのぎのおごりな演奏でもかまわないので、とにかくカラオケを盛り上げ、皆と楽しむことを求めている。ゆえに、たとえ簡易な表記法であったとしても読譜のような音楽的知識を必要とする手法は好ましくないし、歌唱者の歌唱を妨害しないレベルの演奏を実現するために多少なりとも練習を必要とする手法も好ましくないと考えられる。この点で、寺田 [16] が新楽器のデザインにおいて考慮すべき必須要件とする 3 つの要件のうち、第 1 の要件「習熟性（習熟できるか・したいか、習熟度合いが聴衆に伝わるか）」と第 2 の要件「演奏性（元の楽器の演奏性を大きく落とさないか）」はいずれも必要なく、むしろない方が望ましいと考えられる。

しかしながら、スイッチ 1 つで正しい伴奏が自動演奏されるようなゼロ自由度のシステムは好ましくない。伴奏者にも歌唱者にもその他の聴衆にも「伴奏者自身が楽器を演奏して伴奏している」という実感がある方が盛り上がるであろう。佐久間ら [17] によれば、パーカッション演奏における演奏者の意図の伝達には、聴覚情報だけでなく視覚情報の影響が大きいことが確認されている。特に「楽しい」な演奏表現は、視覚情報によって伝達される部分が大きいことが示唆されている。ゆえに、誰もが楽器と見なしうるデバイスを提供することが必要である。しかし本物の伝統楽器や、伝統楽器を電子化した電子楽器のように、その操作結果が直接奏鳴音に対応付けられて出力されるものである必要はない。極言すれば、奏者が実際に演奏している必要すらなく、演奏しているかのように感じられる（錯覚できる）だけでも十分なのかもしれない。具体的には、奏者

*1 これらの条件にあてはまらない、熟達した演奏技術を持つような伴奏者などがいる可能性もあるだろう。しかしそのような伴奏者に対しては、特に支援の必要はないので、通常タンバリンを使用してもらえばよい。

の楽器操作行為から「奏者はこういう演奏をしているつもりである」という演奏意図のみを表現可能な操作自由度を提供して意図を抽出・把握し、その意図に沿った演奏音を、奏者自身の楽器操作行為とは独立に生成し奏鳴させるだけでもよいのではないだろうか。このような演奏意図の入力（検知）による演奏は、演奏行為の抽象化ととらえることもできるだろう。娯乐的演奏ではなく創造的演奏が対象ではあるが、オーケストラの「指揮」は、抽象化された演奏行為の極限かもしれない。この点に着目して、片寄らは優れた演奏から抽出した演奏データにユーザによる演奏意図をブレンドすることにより、ユーザの演奏意図を反映しつつ質の高い演奏を出力できるピアノ演奏支援システム sfp を提案している [18]。

そこで本研究では、演奏者の意図がある程度くみとりつつも歌唱者のリズム感を乱さないために正確な演奏を出力でき、しかも「いかにもノリノリで演奏している」という視覚的表現を可能にし、演奏している感覚も得られる、カラオケ伴奏用電子パーカッション“Aqua Tambourine”を提案する。これにより、素人の伴奏が生み出す拙いリズム感や音色が歌唱者の歌唱を阻害することなく、歌唱者とパーカッション演奏者を含む聴衆全員が互いに楽しめるようなエンタテインメントを実現する。

3. カラオケの伴奏支援に関する関連研究

創造的演奏を対象とした楽器の演奏支援に関する取り組みや研究事例は多数存在しており、筆者らのグループでもこれまでにいくつかの演奏支援システムを実現してきた。しかしながら、カラオケの伴奏支援に特化した研究例はきわめて少ない。

栗原ら [19] が開発した電子タンバリン型カラオケ支援システム「スマートタンバリン」は、カラオケの歌唱者だけでなく、聴衆が能動的に参加し場を盛り上げることを目的とした、カラオケ伴奏用のタンバリン演奏支援システムである。演奏支援のための機能としては、タンバリン譜を「参考」として表示する機能を実装している [20]。簡易的な譜面を用意して画面表示することで、知らない楽曲でも演奏できるようにしている。場を盛り上げるための機能としては、過剰に大きな音にならないように自動的に音量を制御する機能と、タンバリンを叩くと光る機能を実装している。これら3つの機能により、タンバリン奏者はある程度正しい演奏を行うことが可能となり、かつ聴衆が伴奏者として参加していることを歌唱者や他の聴衆に視覚的にも知らせることができるようになる。スマートタンバリンを使用した評価実験の結果、通常のタンバリンよりもカラオケが盛り上がったという結果が得られた。しかしながら、タンバリンを正確に操作する技術については、依然として奏者自身の技量に全面的に依存している。

4. Aqua Tambourine

本章では、2.4節で述べたカラオケにおける伴奏演奏の特徴に基づいて構築した、カラオケ伴奏用に特化したパーカッション楽器である Aqua Tambourine について説明する。この名称の意味は、Air Guitar のようないっさい実体がない仮想楽器に比べれば実体があるものの、本物の楽器よりは仮想的な楽器であるという意味を表現するために、Air（空気）よりも実体感はあるが明確な形をとまなう実体がない Aqua（水）と形容したものである。

タンバリンの演奏方法は、大きく分けて3種類ある。すなわち、楽器本体を叩く Hit 奏法と、楽器本体を振る Shake 奏法、および特に皮が張られているタイプの楽器の皮面を擦る Rub 奏法である [21]。これら3種類の奏法には、さらに叩き方や振り方などの違いによって様々な奏法があるが、本研究ではタンバリン演奏の基礎知識がない初心者によるカラオケでの伴奏演奏を想定しているため、ポップス系の演奏で多用される Shake 奏法の中でも最も単純な楽器本体を振るだけの奏法による演奏を基本とし、場合によっては8ビートや16ビートなどでの強拍タイミングで本体を叩く Hit 奏法を交える演奏方法を想定している。ただし、奏者が実際には想定外の奏法や操作をする可能性はあり、そのような行為を制限する機能は特に備えていない。

図1に Aqua Tambourine のシステム構成を示す。伴奏者が使用する演奏デバイスには、市販の半月型タンバリンのシンバルを除去して音が鳴らないように加工し、マイコンモジュール M5StickC Plus [22] をタンバリンの筐体に組みつけたものを使用する。このマイコンモジュールには IMU センサ (MPU6886) が内蔵されており、加速度と角速度を計測できる。今回の実装では、加速度センサのパラメータ設定は、フルスケール範囲： $\pm 2g$ 、感度： $16,384 \text{ LSB/g}$ 、サンプリング周波数： 1 kHz とし、角速度センサ (ジャイロ) のパラメータ設定は、フルスケール範囲： $\pm 2,000 \text{ dps}$ 、感度： 16.4 LSB/(dps) 、サンプリング周波数： 1 kHz とした。

演奏者が演奏デバイスを振って演奏を行うと、取得した加速度と角速度のデータが Bluetooth 通信で PC (Microsoft

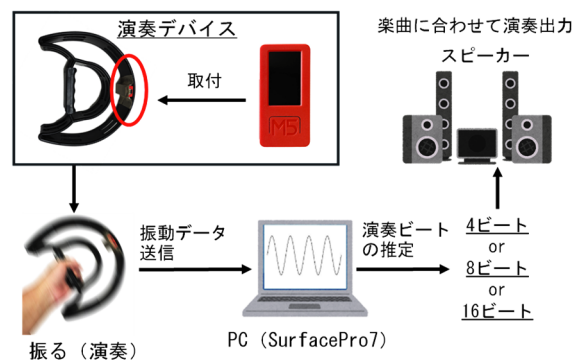


図1 Aqua Tambourine の構成

Fig. 1 System setup of Aqua Tambourine.

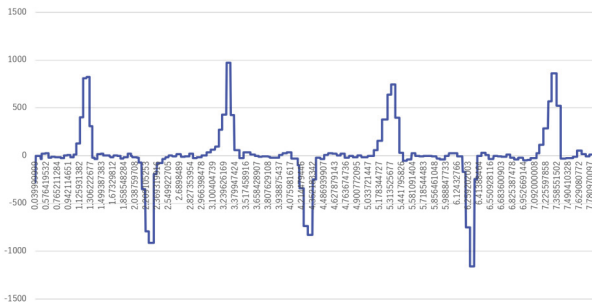


図 2 角速度センサで取得したデータの 1 例

Fig. 2 An example of acquired data by the gyroscope.

Surface) に送信される。単純に電子タンバリンを実装する場合であれば、この振動データからピークを検出し、各ピークのタイミングでタンバリン演奏音をピークの振幅に応じた音量で出力することになるだろう。しかしこのような電子タンバリンは通常のタンバリンと演奏操作が変わらず、演奏技術が未熟な伴奏者は適切な演奏をすることができない。

Aqua Tambourine では、ピークのタイミングでそのまま演奏音を出力することはせず、以下のような処理を行って演奏音を出力する。図 2 に、角速度センサで取得したデータの 1 例を示す。予備的な実験の結果、図 1 に示した演奏デバイスを振って演奏を行った際に検出されるピークでの角速度の絶対値の最低値は 300 dps 程度であった。そこで今回実装したピーク検出アルゴリズムでは、演奏開始判断閾値は ± 300 dps とした。すなわち、角速度 $+300$ dps を上回る（あるいは -300 dps を下回る）データを検出した場合に演奏が開始されていると判断し、ピークの検出処理を行う。ピーク検出処理では、順次送られてくる最新の角速度データを、すでに受信済みのデータと比較することにより、正の値の場合は最大値（負の値の場合は最小値）を更新し続ける。あわせて、最大値（最小値）を更新した際のタイムスタンプを記録する。その後、次第に最新の角速度の値が減少（負の値の場合は増加）しはじめて、データが 0 dps のラインを横切ったタイミングで、その時点で得られている最大値（最小値）のタイムスタンプを記録する。その後、引き続き同様に最小値（最大値）とそのデータが検出された際のタイムスタンプを記録する。こうして、隣接する正（負）の最大（小）値と負（正）の最小（大）値が検出された際のそれぞれのタイムスタンプが得られるので、両者の差を求めることでピークの出現時間間隔が求められる。本研究ではこの出現時間間隔を 1 周期として周波数を求めている。つまりこの周波数は、演奏デバイスが振られる振動の周波数の倍の値となることに注意されたい。なお、基本的には角速度センサのデータのみを使って周波数推定を行っているが、一部の実験協力者において適切な角速度データを取得できないケースがあった。その場合のみ加速度センサのデータを用いて周波数推定を行った。加速度データを用いた場合の演奏開始判断閾値は ± 150 mg

であり、処理アルゴリズムは角速度データを用いた場合と同じである。

この周波数を、現在歌唱中の楽曲のカラオケデータから取得できる BPM (Beats per minute) 情報と照合し、演奏者がどのようなビートで演奏しているつもりなのかを推定する。たとえば、60 BPM の楽曲を歌唱中に 4 Hz 前後の周波数でピークが検知された場合、1 拍あたりに 4 回の発音、すなわち 16 ビート (Sixteen beat) の演奏を行っているつもりであると推定する。この結果に基づき、歌唱中のカラオケの演奏に合った正確なテンポとタイミングで 16 ビートのタンバリン演奏音を出力する。ゆえに、この 16 ビートの演奏音は、演奏者が出力する振動のピークとは必ずしも一致せず、むしろ不安定な演奏の場合、ほとんどのピークから若干ずれたタイミングで発音されることになるだろう。

ビート推定は、基本的には各ビート間の境界となる閾値周波数と現在の周波数とを比較することで行われる。ただし、閾値を単一の固定値にすると、意図しない頻繁なビートの移り変わりが生じる可能性が高くなる。たとえば、演奏者が 4 ビートと 8 ビートの境界閾値近傍の周波数でタンバリンを振り続けていると、4 ビートと 8 ビートが頻繁に入れ替わって出力されてしまう。そのため Aqua Tambourine では、各ビート間の閾値周波数にヒステリシスを導入している。たとえば 4 ビートの演奏と推定されている状態から 8 ビートに移行する際の閾値周波数は、逆に 8 ビートから 4 ビートに移行する際の閾値周波数よりも高い周波数に設定する。これにより、ビートの境界周波数近傍での演奏による不安定な推定の切替わりを抑制している。

現在の Aqua Tambourine は、4 ビート/8 ビート/16 ビートの 3 種類のビートのいずれであるかを推定する機能だけを備えている（想定外の奏法などで複雑な演奏をされた場合でも、これらのビートのいずれかと推定する）。つまり Aqua Tambourine は、これら 3 種類のビートのいずれかを演奏したいかを選択して入力するだけの選択スイッチと機能的には同等である。しかしながら、3 つのスイッチのいずれかを選択して押すだけの操作では、歌唱を盛り上げたり一体感を醸成したりすることは難しい。そこでこのデバイスを振って出力したいビートを選択するようにすることで、実際には演奏していないにもかかわらず、あたかも演奏しているかのように振る舞うことが可能となり、歌唱者のリズム感を乱さないような演奏を出力するとともに、視覚的效果によって場を盛り上げ、一体感を醸成できるようになることが期待される。

5. 実験

5.1 目的

構築した Aqua Tambourine と通常のタンバリンを実際にカラオケの伴奏に使用する比較実験を実施し、有効性を

評価した。実験仮説は、以下の4つである：

- 仮説1：Aqua Tambourineを用いた場合、通常のタンバリンを用いた場合よりも歌唱者はタンバリンの演奏に歌唱リズムを乱されることがなくなり、歌いやすくなる。
- 仮説2：Aqua Tambourineを用いた場合、簡単に正確な演奏ができ、歌唱者の邪魔をすることがなくなるので、タンバリン奏者は気楽に演奏できるようになる。
- 仮説3：Aqua Tambourineを用いた場合、操作自由度が低く自在な演奏ができない状態でもカラオケでのタンバリン演奏を楽しむことができる。
- 仮説4：Aqua Tambourineを用いた場合、通常のタンバリンと同等の身振りで演奏できるので、カラオケの場を盛り上げることができる。

5.2 実験方法

著者らが所属する大学院大学の学生20人(22~26歳)を実験協力者として雇用した。本実験は3人1組のグループで実施した。カラオケには仲の良い間柄の人と行くことが多いことを考慮し、実験グループは知り合い同士で構成した。実験では、1グループに属する3人の実験協力者にタンバリン奏者、歌唱者、聴き手の役割を順に割り振りカラオケを実施する。ただし歌唱者については、事前に実験協力者全員に対して調査を行い、ふだんカラオケで歌い慣れている者のみに歌唱者の役割を割り振ることとした。調査の結果、歌唱者を担当した実験協力者は14人だった。歌唱者として参加可能な実験協力者の数が少ないため、歌唱者を担当可能な実験協力者の何人かに複数のグループに参加することを依頼した。最終的に3人1組のグループを9組作ることができた。9組のうち、3人全員が歌唱者として参加するグループは4組、3人のうち2人が歌唱者として参加するグループは1組、3人のうち1人が歌唱者参加するグループは4組となった。なお、複数のグループに参加する実験協力者には、初回の実験時のみ後述するアンケートに回答を求めた。結果として、歌唱者は14人から、タンバリン奏者と聴き手は18人からアンケートの回答を得た。

本実験は本稿筆者らが所属する大学内の防音室で実施した。防音室内の機材などの配置を図3に示す。防音室内にマイク、スピーカー、歌詞表示用のディスプレイを配置することで、できるだけカラオケボックスと同様の環境を再現している。通常のタンバリンとAqua Tambourineは、タンバリン奏者が手にとりやすい位置(部屋中央)に配置した。カラオケシステムとしては、楽曲のMIDIデータを再生し、歌詞表示をするだけのシンプルなシステムをUnity[23]で開発し、実験に用いた(図4)。実験の様子を図5に示す。図5中、右端が歌唱者、中央がタンバリン奏者、左端が聴き手である。使用楽曲については事前調査で歌唱者を担当可能と申告した実験協力者が歌唱可能な楽

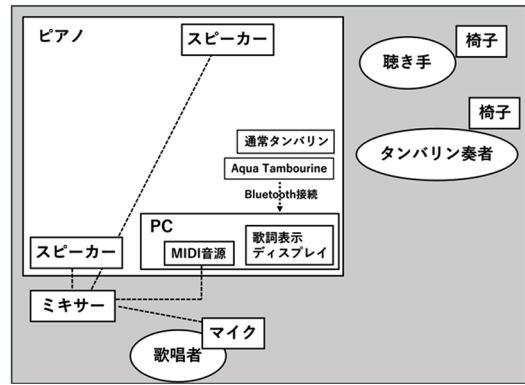


図3 実験で使用した防音室の機材配置

Fig. 3 Layout of experimental equipment in the soundproof room used for the experiments.

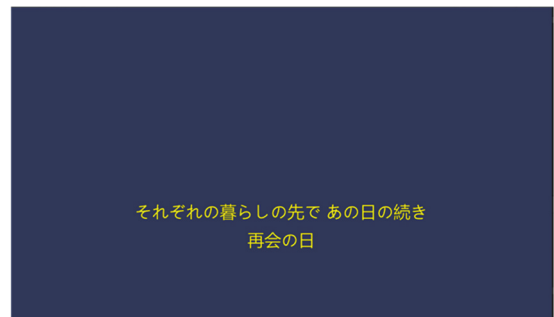


図4 実験で使用したカラオケシステムの画面

Fig. 4 A screenshot of the Karaoke system used in the experiments.



図5 実験の様子

Fig. 5 A snapshot of the experiment.

曲を調査し、カラオケ伴奏用のMIDIデータをあらかじめ用意した(表1)。なお、使用楽曲はタンバリンで伴奏したくなるようなアップテンポな曲に限って採用した。

実験は、以下の手順で実施した。

1. 事前アンケート(表2)

音楽経験やカラオケへの印象についての調査。自由記述方式で回答を求めた。

2. 実験内容の説明

実験では3人1組でカラオケをすること、3人には歌唱者/タンバリン奏者/聴き手の役割が順次割り振られることを教示した。ただし、歌唱者を希望しない実験協力者が含まれる場合は、その実験協力者には歌唱者を割り当

表 1 実験で使用した楽曲リスト

Table 1 A list of musical pieces used for the experiments.

| |
|----------------------|
| 米津玄師 LOSER |
| ヨルシカ 藍二乗, 僕は音楽をやめた |
| サザンオールスターズ 勝手にシンドバッド |
| 嵐 A・RA・SHI |
| Bump of Chicken 天体観測 |
| Vaundy 裸の勇者 |
| Indigo la End 名前は片思い |
| 新しい学校のリーダーズ オトナブルー |
| Super Beaver 名前を呼ぶよ |

表 2 実験協力者への事前調査

Table 2 Preliminary survey of experimental participants.

| | |
|-------------------------------|---|
| 音楽経験について (自由記述) | 例 1: 小学校でリコーダーを 3 年 例 2: 吹奏楽でトロンボーンを 4 年 |
| 普段カラオケで非歌唱者の時, 何をしているか (自由記述) | 例 1: スマホをいじっている 例 2: 歌に合わせて手拍子している |
| カラオケが好きか | 7 段階評価 (1: とてもきらい~7: とても好き) |

てないことを説明した。

- 通常のタンバリンと Aqua Tambourine の説明
本実験で使用する通常のタンバリンと Aqua Tambourine の演奏方法を説明し, 実演した. その後 4 ビート/8 ビート/16 ビートの説明をした.
- 普通のタンバリンと Aqua Tambourine の演奏練習
実験協力者全員に通常のタンバリンと Aqua Tambourine の演奏練習を 2 分ずつしてもらった.
- 3 人 1 組でカラオケを行い, アンケート調査を実施
歌唱者が 2 曲歌うごとに (歌唱者が 2 人の場合は 3 曲歌うごとに) 休憩してアンケート調査を行った. 休憩後, 実験協力者の役割を交代して再度カラオケを実施した. この際, 歌唱者が何人参加しているかによって表 3 のように役割を交代した. タンバリン奏者用のアンケートを表 4 に, 歌唱者用のアンケートを表 5 に, 聴き手用のアンケートを表 6 に, それぞれ示す. 各実験協力者には, 直前に自分が担当していた役割についての回答してもらった. アンケートの各設問には, 7 段階のリッカートスケール (7: 非常にそう思う~1: まったくそう思わない) で回答を求めた. 実験協力者が役割をすべて担当したらカラオケ実験は終了になる. なお順序効果を考慮し, 通常タンバリンと Aqua Tambourine の演奏順序は実験前半のグループと後半のグループで入れ替えた. なお, カラオケを実施中の様子は, 防音室内に設置したカメラを用いて実験者が防音室の外でモニタリングした.
- インタビュー
すべてのカラオケ実験を終了後, カラオケの様子を観察

表 3 実験協力者の役割担当順序

Table 3 Order of assignment of experimental roles.

歌唱者が 1 人の場合

| 順序 | 1 人目 | 2 人目 | 3 人目 |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 歌唱者 | 通常 T | 聴き手 |
| 2 | 歌唱者 | Aqua T | 聴き手 |
| 3 | 休憩・アンケート | | |
| 4 | 歌唱者 | 聴き手 | 通常 T |
| 5 | 歌唱者 | 聴き手 | Aqua T |
| 6 | アンケート | | |

歌唱者が 2 人の場合

| 順序 | 1 人目 | 2 人目 | 3 人目 |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 歌唱者 | 通常 T | 聴き手 |
| 2 | 歌唱者 | Aqua T | 聴き手 |
| 3 | 歌唱者 | 聴き手 | 通常 T |
| 4 | 休憩・アンケート | | |
| 5 | 聴き手 | 歌唱者 | Aqua T |
| 6 | 通常 T | 歌唱者 | 聴き手 |
| 7 | Aqua T | 歌唱者 | 聴き手 |
| 8 | アンケート | | |

歌唱者が 3 人の場合

| 順序 | 1 人目 | 2 人目 | 3 人目 |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 歌唱者 | 通常 T | 聴き手 |
| 2 | 歌唱者 | Aqua T | 聴き手 |
| 3 | 休憩・アンケート | | |
| 4 | 聴き手 | 歌唱者 | 通常 T |
| 5 | 聴き手 | 歌唱者 | Aqua T |
| 6 | 休憩・アンケート | | |
| 7 | 通常 T | 聴き手 | 歌唱者 |
| 8 | Aqua T | 聴き手 | 歌唱者 |
| 9 | アンケート | | |

していて気づいたことをインタビューで尋ねた。

5.3 結果と考察

表 2 に示した事前調査の結果に基づき, 実験協力者を以下の 2 つの群に分けた:

- 音楽経験なし群: 小中学校の義務教育課程における音楽の授業での楽器演奏経験のみ, あるいはそれ以外での楽器演奏 (練習) 経験が 1 年未満の実験協力者.
- 音楽経験あり群: 小中学校の義務教育課程における音楽の授業での楽器演奏経験以外に 1 年以上の楽器演奏 (練習) 経験を有する実験協力者.

結果として, 20 人の実験協力者のうち 8 人が経験あり群, 12 人が経験なし群に分けられた.

表 4 タンバリン奏者用アンケート

Table 4 Questionnaire for the tambourine player.

| 設問 | 実験協力者群 | 通常のタンバリン(平均) | Aqua Tambourine(平均) | 検定結果 |
|---------------------------|--------|--------------|---------------------|------|
| Q1. 上手に演奏できたか | 経験あり | 5.43 | 5.29 | |
| | 経験なし | 3.85 | 4.30 | |
| | 全体 | 4.46 | 4.69 | |
| Q2. 演奏しやすかったか | 経験あり | 6.00 | 5.00 | |
| | 経験なし | 4.36 | 3.92 | |
| | 全体 | 5.00 | 4.34 | |
| Q3. 演奏が難しかったか | 経験あり | 3.86 | 3.43 | |
| | 経験なし | 3.91 | 4.14 | |
| | 全体 | 3.89 | 3.86 | |
| Q4. 演奏していて楽しかったか | 経験あり | 6.43 | 5.29 | |
| | 経験なし | 5.56 | 4.65 | * M |
| | 全体 | 5.90 | 4.90 | * M |
| Q5. 演奏に抵抗感があつたか | 経験あり | 2.14 | 2.00 | |
| | 経験なし | 3.71 | 3.44 | |
| | 全体 | 3.10 | 2.88 | |
| Q6. リズムに乗ることができたか | 経験あり | 5.57 | 5.71 | |
| | 経験なし | 4.83 | 4.68 | |
| | 全体 | 5.12 | 5.08 | |
| Q7. リズムに乗って身振りを加えることができたか | 経験あり | 5.14 | 4.43 | † M |
| | 経験なし | 4.53 | 3.35 | † M |
| | 全体 | 4.77 | 3.77 | * M |
| Q8. 場の雰囲気盛り上げることができたか | 経験あり | 5.71 | 4.86 | † M |
| | 経験なし | 4.68 | 4.50 | |
| | 全体 | 5.08 | 4.64 | |
| Q9. 自分の伴奏が歌唱者の邪魔になっていたか | 経験あり | 5.29 | 2.29 | * L |
| | 経験なし | 4.55 | 2.97 | † M |
| | 全体 | 4.83 | 2.70 | ** M |
| Q10. 緊張したか | 経験あり | 2.71 | 2.29 | |
| | 経験なし | 3.36 | 2.05 | * L |
| | 全体 | 3.11 | 2.14 | ** M |
| Q11. 場に馴染むことができたか | 経験あり | 4.43 | 4.71 | |
| | 経験なし | 4.18 | 4.94 | |
| | 全体 | 4.28 | 4.85 | |

有意差 ** p<0.01 * p<0.05 † p<0.1
効果量 L 大程度 M 中程度 S 小程度

3つのアンケートの各設問に対する回答について、音楽経験あり群・音楽経験なし群・全実験協力者のそれぞれについての平均値、および通常のタンバリンと Aqua Tambourine のそれぞれの回答結果の差をウィルコクソンの符号付き順位検定で検定した結果（有意差の有無および効果量）を表 4~6 に示す（ただし、表 6 の聴き手用アンケートの結果については、全体に関してのみ分析した）。以下では実験結果をもとに、5.1 節で示した 4 つの仮説について検証し、さらに音楽経験の有無による影響について検討する。

5.3.1 仮説 1: Aqua Tambourine は歌唱者のリズムを乱さない楽器になっていたか

歌唱者用アンケートの Q7「タンバリンの伴奏がある方が良い」については、全体で有意傾向と中程度の効果量が認められ、やや Aqua Tambourine の方が良好な評価を得ている傾向にあるものの、評価値の平均はすべて 4.0 を上回っているため、いずれの条件についてもタンバリンの伴

表 5 歌唱者用アンケート

Table 5 Questionnaire for the singer.

| 設問 | 実験協力者群 | 通常のタンバリン(平均) | Aqua Tambourine(平均) | 検定結果 |
|--------------------------|--------|--------------|---------------------|------|
| Q1. 歌っていて楽しかったか | 経験あり | 5.57 | 5.57 | |
| | 経験なし | 5.57 | 5.71 | |
| | 全体 | 5.57 | 5.64 | |
| Q2. 上手く歌えたか | 経験あり | 4.14 | 5.43 | * L |
| | 経験なし | 5.24 | 5.52 | |
| | 全体 | 4.69 | 5.48 | |
| Q3. タンバリンが場の雰囲気を盛り上げていたか | 経験あり | 5.29 | 4.57 | |
| | 経験なし | 5.48 | 4.57 | * L |
| | 全体 | 5.38 | 4.57 | * M |
| Q4. タンバリンが邪魔だったか | 経験あり | 3.43 | 2.14 | |
| | 経験なし | 3.10 | 1.67 | |
| | 全体 | 3.26 | 1.90 | * M |
| Q5. タンバリンにリズムを乱されたか | 経験あり | 3.43 | 2.43 | |
| | 経験なし | 3.33 | 2.14 | * L |
| | 全体 | 3.38 | 2.29 | * M |
| Q6. タンバリン奏者が楽しんでたか | 経験あり | 5.29 | 4.57 | |
| | 経験なし | 5.05 | 4.62 | |
| | 全体 | 5.17 | 4.60 | |
| Q7. タンバリンの伴奏がある方が良いか | 経験あり | 4.71 | 5.43 | |
| | 経験なし | 4.38 | 4.95 | |
| | 全体 | 4.55 | 5.19 | † M |
| Q8. 聴き手は楽しんでたか | 経験あり | 5.00 | 5.14 | |
| | 経験なし | 4.10 | 4.14 | |
| | 全体 | 4.55 | 4.64 | |

有意差 ** p<0.01 * p<0.05 † p<0.1
効果量 L 大程度 M 中程度 S 小程度

表 6 聴き手用アンケート

Table 6 Questionnaire for the listener.

| 設問 | 実験協力者群 | 通常のタンバリン(平均) | Aqua Tambourine(平均) | 検定結果 |
|-----------------------|--------|--------------|---------------------|------|
| Q1. 場が盛り上がっていたか | 全体 | 5.30 | 4.91 | |
| Q2. タンバリンの伴奏が歌唱楽曲にマッチ | 全体 | 4.78 | 5.39 | |
| Q3. 楽しかったか | 全体 | 5.70 | 5.04 | * M |

有意差 ** p<0.01 * p<0.05 † p<0.1
効果量 L 大程度 M 中程度 S 小程度

奏が根本的に不要だとは感じられてはいなかったようである。ただし、それは歌唱者のリズムを乱していないということを示すものではない。

歌唱者用アンケートのうち、歌唱者のリズムを乱したかどうかに関係する設問は Q2, Q4, Q5 の 3 つである。Q4「タンバリンが邪魔だった」の評価については、いずれも評価値の平均は 4.0 を下回っており、どちらの条件も邪

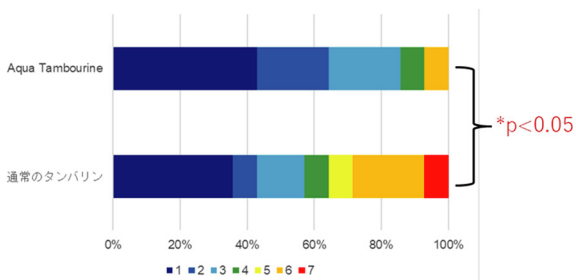


図 6 歌唱者アンケート Q4「タンバリンが邪魔だった」への回答
 Fig. 6 Answers for “Q4: The tambourine was a distraction” in the questionnaire for the singers.

魔とはいえないと評価されているが、全体では条件間に有意差があり中程度の効果量が認められたことから、Aqua Tambourineの方が邪魔になっていなかったことが示された。しかも図 6 に示すように、通常のタンバリンを使用した条件では評価値が 4.0 以上の「邪魔だった」とする回答が 3 割強だったのに対し、Aqua Tambourine 使用条件では 1 割以下となっており、Aqua Tambourine による伴奏を邪魔に感じた実験協力者はほとんどいなかったことが示された。また、Q5「タンバリンにリズムを乱された」の評価についても、いずれも評価値の平均は 4.0 を下回っているが、全体では条件間に有意差と中程度の効果量が認められ、Aqua Tambourine の方が歌唱者のリズムを乱していないことが示された。Q5 に関し、さらに音楽経験の有無の影響について見ると、音楽経験なし群についてのみ有意差と大程度の効果量が認められている。これは、音楽経験がある者の場合は自分でリズムを維持する能力が高いのに対し、音楽経験がない者の場合は自力でリズムを維持することが難しく、他者のリズムの影響を受けやすいことによるものと推察される。この点について、Q2「うまく歌えたか」の結果は興味深い。Q2 では、全体および音楽経験なし群では有意差がないのに対し、音楽経験あり群では有意差と大程度の効果量が認められる。つまり音楽経験あり群では、通常のタンバリンの場合に、邪魔されたと感じてはいない (Q4 の評価値の平均は 4.0 以下) にもかかわらず、あまりうまく歌えなかったという印象を持っていることになる。これは、自分の歌唱としては自力でリズムを維持して問題なく歌えたものの、演奏全体としてはタンバリンのリズムの乱れによってあまり良いできではなかったと感じていることによるものではないかと推察される。一方 Aqua Tambourine の場合はタンバリン演奏のリズムに乱れがなく全体のできとしても問題がなかったことにより、評価が高くなったものと思われる。

歌唱者のリズムを乱したかどうかに関し、タンバリン奏者の視点から見た場合の結果は、表 4 のタンバリン奏者用アンケートの Q9「自分の伴奏が歌唱者の邪魔になっていたか」の結果に見ることができる。Q9 については、全体では有意差と中程度の効果量が、音楽経験あり群では有意差

と大程度の効果量が、音楽経験なし群では有意傾向と中程度の効果量が認められており、特に音楽経験あり群において自分の通常のタンバリンでの演奏に対して厳しい評価となっている。また通常のタンバリンでは評価の平均値がすべて 4.0 を上回っているのに対し、Aqua Tambourine では評価値がすべて 3.0 を下回っており非常に低い結果となっている。このように、タンバリン奏者の立場からは、Aqua Tambourine の方が歌唱者の邪魔をしていないという印象が強いことが示されている。

アンケートの自由記述やインタビューでは「通常のタンバリンは盛り上がるが、歌い手にとってはリズムがとりづらく歌いにくかった」、「Aqua Tambourine は振っているときにリズムを頼りにできそうだった」などの意見が得られた。以上の結果から、Aqua Tambourine は通常のタンバリンよりも歌唱者のリズムを乱さない楽器になっていたといえ、仮説 1 は支持された。

5.3.2 仮説 2: Aqua Tambourine は気軽に演奏できるか

表 4 に示すタンバリン奏者用アンケートの Q10「緊張したか」について、全体では有意差と中程度の効果量が、また音楽経験なし群では有意差と大程度の効果量が見られ、いずれについても Aqua Tambourine の方が緊張しなかったことが明らかになった。ただし、音楽経験あり群については有意差が認められなかった。また 5.3.1 項で示したように、Q9「自分の伴奏が歌唱者の邪魔になっていた」についても Aqua Tambourine の方が有意に好ましい評価を得る結果となった。表 5 の Q4 の結果に示したように、歌唱者にとっても Aqua Tambourine の方が有意に邪魔ではないという評価になっていた。このように、タンバリン奏者自身の印象でも歌唱者の印象でも Aqua Tambourine は歌唱の邪魔になっておらず、その結果として緊張の度合いが特に音楽経験なし群において低くなっていたものと思われる。アンケートの自由記述やインタビューでは、「知らない曲はタンバリン (両方) で邪魔してないか不安だった」、「通常のタンバリンでは曲の冒頭でリズムを崩してしまって歌唱者に影響を与えてしまった」、「周りの人への影響を考えたら Aqua Tambourine の方が安心感があった」などの回答が得られた。これらの記述からリズム補正機能があることによって、歌唱者を邪魔することを気にせずに演奏できていたということが考えられる。ゆえに、仮説 2 の「Aqua Tambourine は気軽に演奏できるか」という点については、基本的に支持されたといえる。

ただし、表 4 の Q1~Q3 および Q5、Q6 の演奏の容易さに関する評価では、Aqua Tambourine と通常のタンバリンの間には有意差は認められなかった。このことから、演奏の簡単さが Aqua Tambourine の気軽さをもたらしているという点については支持されなかった。アンケートの自由記述やインタビューでは、「通常のタンバリンはリズムをと

るのが難しかった」, 「うまくなくても Aqua Tambourineの方は補正してくれるから振りやすかった」という回答が複数得られた. 一方で, 「Aqua Tambourineは通常のタンバリンに比べて自在に音をだせない」, 「Aqua Tambourineは音を鳴らすのにコツが必要だと感じた」という回答も得られた. 特に音楽経験あり群において, Aqua Tambourineは自分が演奏しているのかどうか分からなくなるという意見がいくつか見られた. これらの否定的な意見は, Aqua Tambourineでは操作が直接発音に結びついていないことによる発音タイミングのずれがもたらす違和感によるものと思われる. この違和感は, 特に Aqua Tambourineを使わなくても通常のタンバリンで正確にリズムを刻める実験協力者にとって大きかったと思われ, これが評価に影響した可能性が考えられる.

5.3.3 仮説3: 操作自由度が低く自在な演奏ができない Aqua Tambourineでもタンバリン奏者はカラオケを楽しむことができたか

表4に示すタンバリン奏者用アンケートのQ4「演奏していて楽しかった」では全体と音楽経験なし群において有意差と中程度の効果量が認められ, Q8「場の雰囲気盛り上げることができた」では音楽経験あり群においてのみ有意傾向と中程度の効果量が認められ, すべての評価値が4.0以上であったものの, 通常のタンバリンの方が良好な評価を受けていることが示された. さらにQ7「リズムに乗って身振りを加えることができた」では全体で有意差と中程度の効果量が, また音楽経験あり群となし群ではともに有意傾向と中程度の効果量が認められ, 全体と音楽経験なし群において Aqua Tambourineを使った場合に評価値の平均が4.0を下回っていることから, Aqua Tambourineの方がリズムに乗った身振りを加えることがむしろ難しい傾向にあることが分かった. ただし, Q11「場に馴染むことができか」については有意差が認められず, 全般に Aqua Tambourineの方がわずかながら高く評価されている. つまり Aqua Tambourine条件では, 思いどおりにノリよく演奏することはできていないものの, 場の雰囲気には悪影響を及ぼしていないようにタンバリン奏者が感じていることが示唆された.

アンケートの自由記述やインタビューでは賛否両論の意見があった. Aqua Tambourineを肯定的にとらえた意見としては, 「リズムに注力せずに振っていてもリズムが正確に出るので振りまくれたから楽しかった」, 「Aqua Tambourineは何も考えずに触れる(軽いしリズムをとらなくてよいから)」などの意見が得られた. 一方, 否定的な意見としては, 「Aqua Tambourineはビートの種類が少なく, 自在に演奏ができない」, 「通常のタンバリンは振り方の制限がなく, 何でもできる感じがするから楽しい」などの意見が得られた. このように, 現状の Aqua Tambourineは操作自由度を大きく削減した結果, 歌唱を中心としたカ

ラオケの場を乱さない演奏が容易に実現可能となり, それが通常のタンバリンと同等の「場への馴染み」感をもたらしているようである. しかし一方で, 操作自由度がやや過剰に削減されており, それが身振りを含めたタンバリン演奏の楽しさを損なう原因になっている可能性がある. また, 全実験協力者は実験に先立つ事前練習で Aqua Tambourineの動作を経験しているため, Aqua Tambourineを操作することによって実際に演奏を(ある程度)コントロールできることを認識している. しかしながら, 「Aqua Tambourineは振っているタイミングと出力されるタイミングが違うから演奏しているのか分かりにくい」という意見もあり, 完全に自分で演奏を制御できているという感覚は十分には得られなかった可能性がある.

よって, 仮説3については一般的に支持されたとはいえない結果となった. もう少し操作自由度を増やすとともに, 奏者が操作自由度をチューニングできるような機構を実現することによって, これらの問題は解決できるのではないかと考えられる.

5.3.4 仮説4: Aqua Tambourineは通常のタンバリンと同等の身振りでカラオケを盛り上げることができたか

場の盛り上がりに関する質問(表4のタンバリン奏者用アンケートのQ8, 表5の歌唱者用アンケートのQ3, および表6の聴き手用アンケートのQ1)では, いずれの条件および群でも評価値の平均が4.0を上回る結果となり, カラオケの場は盛り上がっていたようである. ただし, 表5の歌唱者用アンケートのQ3については, 全体では有意差と中程度の効果量が, また音楽経験なし群では有意差と大程度の効果量が認められ, また表4のタンバリン奏者用アンケートのQ8でも音楽経験あり群において有意傾向と中程度の効果量が認められ, いずれについても Aqua Tambourineの評価値の方が低い結果となっており, 全般に通常のタンバリンの方が盛り上がっていたようである. また, カラオケの楽しさに関する質問(表4のタンバリン奏者用アンケートのQ4, 表5の歌唱者用アンケートのQ1, Q6およびQ8, 表6の聴き手用アンケートのQ3)については, 表4のタンバリン奏者用アンケートのQ4において全体と音楽経験なし群で有意差と中程度の効果量が, また聴き手のQ3において有意差と中程度の効果量が認められているものの, いずれの評価結果でも評価値の平均が4.0を上回る結果となり, 実験協力者らはカラオケを楽しんでいたようである. これらの結果から, 通常のタンバリンの場合よりは若干劣る部分はあるものの, Aqua Tambourineの場合も通常のタンバリンとほぼ同等に場は盛り上がっていたと考えられる.

ただし, 表4のタンバリン奏者用アンケートのQ7「リズムに乗って身振りを加えることができた」で Aqua Tambourine条件で低い評価となっていることから, 両条件で同

等の身振りができたことをこの結果の要因とすることは難しいかもしれない。アンケートの自由記述やインタビューからは「Aqua Tambourine は振っているタイミングと出力されるタイミングが違うから演奏しているのか分かりにくい」、「通常のタンバリンはその人のノリが伝わってくる」などの意見があった。西堀ら [1] が指摘する演奏系の遅延による悪影響を回避するために、Aqua Tambourine ではカラオケ本体側の伴奏演奏とタンバリンの伴奏音のタイミングのずれをなくすようにシステムを設計した。しかしその結果、音のずれは生じないが、Aqua Tambourine を操作する動作と発音される音の間のタイミングにずれが生じた。この結果、歌唱に対する悪影響は期待どおりに回避できた（仮説 1）ものの、タンバリンを演奏する動作の見た目に強く影響されるタンバリン奏者のノリ感の方に違和感が生じた可能性が考えられよう。以上から、仮説 4 については部分的に支持されたといえる。

なお、タンバリンのフレームのみ（あるいは、Aqua Tambourine の演奏デバイスのみ）を使って、いっさいの楽音を発生せずに演奏しているかのような身振りだけをするパフォーマンスを行うことによって、カラオケの場を盛り上げることは可能であろう。いわゆるエア楽器のパフォーマンスなどもこれに相当する。しかしこの場合、当然タンバリン（フレーム）の操作者の行為は楽音にはいっさい影響せず、純粋に視覚的な影響しか与えないので、Aqua Tambourine や通常のタンバリンのような聴覚的な影響をとまなう場合とは異質な効果となる。

6. おわりに

本論文では、カラオケをする際に楽器演奏に馴染みのない人でも、歌唱者を邪魔することなく適切な伴奏ができるような非歌唱者用伴奏楽器について、楽器容易化のアプローチに関する議論に基づき検討した。奏者がタンバリンを振る動作から得た振動周波数によって奏者が演奏しようとしているビートを推定し、歌唱中の楽曲に合わせた適切なタイミングで演奏音を出力する電子タンバリン“Aqua Tambourine”を提案・実装し、通常のタンバリンとの比較実験を行った。その結果、通常のタンバリンと比べて、Aqua Tambourine は適切なタイミングでビートを刻むことによって歌唱者のリズムを乱さずに伴奏ができていたことが確認された。また、歌唱者の邪魔をしないことによって特に音楽経験が乏しいタンバリン奏者の緊張が和らげられ、気軽に演奏できていた可能性も示唆された。カラオケを盛り上げることについては、通常のタンバリンよりもやや劣るものの十分に場を盛り上げるできていた。よって、Aqua Tambourine は楽器演奏に馴染みのない人でも歌唱者の邪魔をせず、気軽に伴奏ができる楽器だと考えられる。ただし、現状の Aqua Tambourine は操作自由度をやや過剰に削減しすぎているきらいがあり、奏者によ

ては楽しさが若干損なわれることが分かった。また、奏者の動作と発音タイミングのずれが、若干ノリ感に悪影響を及ぼしている可能性も示唆された。

実験協力者らの意見を見るに、おそらくちゃんとした伴奏をしようとした者にとってはやや使いにくく、適当にタンバリンを振りまくって楽しんでいた者にとっては使いやすいシステムになっていたことがうかがえる。そこで今後の展望として、単純な 4 ビート/8 ビート/16 ビートだけでなく、もう少し複雑なリズムでのタンバリン演奏にも対応できるようにして、ユーザの伴奏態度に応じてシステムの動作をチューニングできるように改良を進めたい。

謝辞 実験にご協力いただいた皆様に心から感謝いたします。本研究は JSPS 科研費 JP24K02976 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 西堀 佑, 多田幸生, 曾根卓朗: 遅延のある演奏系での遅延の認知に関する実験とその考察, 情報処理学会研究報告, Vol.2003-MUS-53, No.9, pp.37-42 (2003).
- [2] McDermott, J., Gifford, T., Bouwer, A. and Wagay, M.: Should Music Interaction Be Easy?, *Music and Human-Computer Interaction*, Hollands, S., Wilkie, K., Mulholland, P. and Seago, A. (Eds.), Chapter 2, pp.29-47, Springer London (2013).
- [3] 長嶋洋一: 「サイバー楽器」のシステムデザインについて, 情報処理学会第 60 回全国大会講演論文集, 2000(1), pp.59-60 (2000).
- [4] ヤマハ: EZ-EG, 入手先 (<https://www.yamaha.com/ja/about/experience/innovation-road/collection/detail/0051/>) (参照 2024-05-15).
- [5] 西ノ平志子, 松井博和, 大島千佳, 中山功一: ギター演奏支援装置 “F-Ready” の開発, 情報処理学会論文誌, Vol.63, No.2, pp.388-400 (2022).
- [6] ヤマハ: EZ-TP, 入手先 (<https://www.yamaha.com/ja/about/experience/innovation-road/collection/detail/0052/>) (参照 2024-05-15).
- [7] Nishimoto, K., Oshima, C. and Miyagawa, Y.: Why Always Versatile?: Dynamically Customizable Musical Instruments Facilitate Expressive Performances, *Proc. 3rd Int'l Conf. New Instruments for Musical Expression (NIME03)*, pp.164-169 (2003).
- [8] 大島千佳, 西本一志, 宮川洋平, 白崎隆史: 音楽表情を担う要素と音高の分割入力による容易な MIDI シーケンスデータ作成システム, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.7, pp.1778-1790 (2003).
- [9] 谷井章夫, 片寄晴弘: 音楽知識と技能を補うピアノ演奏システム “INSPIRATION”, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.256-259 (2002).
- [10] 石田克久, 北原鉄朗, 武田正之: N-gram による旋律の音楽的適否判定に基づいた即興演奏支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.7, pp.1548-1559 (2005).
- [11] 吉館 要, 深山 覚, 後藤真孝: 既存楽曲の再生に合わせた即興演奏の支援システム, 情報処理学会第 79 回全国大会講演論文集, 5L-04, pp.103-104 (2017).
- [12] 塚本昌彦: PocketMusician: 両手入力による携帯型コード演奏システム, 情報処理学会研究報告, 音楽情報科学, Vol.2001-MUS-040, No.3, pp.15-20 (2001).
- [13] 長嶋洋一: 音群技法による音楽作品のための演奏支援システム, 情報処理学会第 41 回全国大会講演論文集, 1N-4,

- pp.253–254 (1990).
- [14] 藤井博之, 奥野竜平, 金 寛, 赤澤堅造: タッチパネル援用電子楽器 Cymis における最適な五線譜サイズの検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2005-MUS-62, No.3, pp.13–18 (2005).
 - [15] 馬場哲晃, 菊川裕也, 申山久美子, 青木 允: 簡易な手書き譜面を利用した演奏システム Gocen の設計, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.4, pp.1327–1337 (2013).
 - [16] 寺田 努: 「新しい楽器」のデザインポリシーと研究事例, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-MUS-108, No.13, pp.1–6 (2015).
 - [17] 佐久間真理, 大串健吾: パーカッション演奏における演奏者の意図の伝達—視覚と聴覚の相互作用, 日本音響学会誌, Vol.50, No.8, pp.613–622 (1994).
 - [18] 片寄晴弘, 奥平啓太, 橋田光代: 演奏表情テンプレートを利用したピアノ演奏システム: sfp, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2728–2736 (2003).
 - [19] 栗原拓也, 横溝有希子, 竹腰美夏, 馬場哲晃, 北原鉄朗: スマートタンバリン: 音と光で場を盛り上げるカラオケ支援システム, 情報処理学会研究報告, Vol.2017-MUS-114, No.3, pp.1–5 (2017).
 - [20] 栗原拓也, 木下尚洋, 山口竜之介, 横溝有希子, 竹腰美夏, 馬場哲晃, 北原鉄朗: 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, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.5, pp.1073–1092 (2017).
 - [21] 山本晶子: 子どものためのタンバリン奏法研究—音色とリズムの組み合わせに着目して, 常葉大学短期大学部紀要, No.51, pp.61–71 (2020).
 - [22] スイッチサイエンス: M5Stickc Plus, 入手先 (<https://www.switch-science.com/products/6470>) (参照 2023-12-17).
 - [23] Unity Technologies: Unity のリアルタイム開発プラットフォーム | 2D/3D, VR/AR エンジン, 入手先 (<https://unity.com/ja>) (参照 2023-12-17).



堀江 歩

2022 年大島商船高等専門学校電子・情報工学専攻卒業。2024 年北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科博士前期課程修了。「カラオケ」をより良いものにするため、支援楽器研究に興味を持つ。現在は株式会社エクシ

ングに勤務。



西本 一志 (正会員)

1987 年京都大学大学院工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。同年松下電器産業(株)入社。1992 年(株)ATR 通信システム研究所研究員。1995 年(株)ATR 知能映像通信研究所客員研究員。1999 年より北陸先端科学技術大学院大学助教授, 2007 年より同教授。2000~2003 年科学技術振興事業団さきがけ研究 21 「情報と知」領域研究員兼任。1999 年度情報処理学会坂井記念特別賞, 1999 年度人工知能学会論文賞, ACM Multimedia 2004 Best Paper Award, 第 14 回ヒューマンインタフェース学会論文賞, 2023 年度情報処理学会論文賞ほか受賞。IEEE computer society, ACM, 人工知能学会, ヒューマンインタフェース学会, 感性工学会各会員。博士(工学)。創造活動支援, 妨害による知的活動支援, 不用知や誤情報の活用の研究に従事。本会フェロー。