

リズム複雑度に応じ困惑するエージェントの表情とリズム同調動作停止の影響

Agent's Facial Expressions and Momentary Pause of Body-Synchronized Movements by Rhythm Complexity

石田 真子^{1*} 竹村 響¹ 西野 歩真¹ 米澤 朋子¹
Mako Ishida¹ Hibiki Takemura¹ Ayuma Nishino¹ Tomoko Yonezawa¹

¹ 関西大学大学院総合情報学研究科

¹ Graduate School of Informatics, Kansai University

Abstract: 本研究では、エージェントとの音楽共聴体験によって人間同士のような共感の伴う音楽体験を再現することを目指している。これまで、音楽の流れに対する期待からの逸脱に興奮し、リズムの繰り返しに快感を感じるように設計したエージェントが、ユーザとの音楽共聴体験において没入感や楽しさ、興奮をもたらし、エージェントのリズムの感じ方をユーザに共感させる効果を持つことを確認してきた。本稿では、快感や興奮だけでなく、突然の複雑なリズムの変化に対してリズムのノリに一瞬ブレーキがかかり微弱に困惑するような内部状態を持つエージェントを提案しその表情変化と身体動作を実装した上で評価を行った。

1 はじめに

音楽を聴くとき、人はメロディのパターンから後続する音を予測して期待を膨らませ、その期待からの逸脱によって感情を動かすことで、感動する [1]。このことはメロディに限らず、リズムの周期パターンによっても引き起こされ [2]、さらにはハーモニーの周期パターンによっても引き起こされる [3]。そこで我々は、音楽の流れに対する期待からの逸脱に感動を引き起こす、人間の音楽感情喚起のメカニズムをエージェントの心のモデルに適用することで、人間同士の音楽共聴体験のような共感の伴う体験の再現が可能になると考えた。

音楽コミュニケーションにおける他者との共感の喚起はシュッツの音楽理論における「内的時間」の共有に基づいて行われる [4, 5]。内的時間とは個人が持つ主観レベルの意識的な時間の流れと定義される。音楽聴取や演奏シーンでは、内的時間は徐々に楽曲のリズムに同調していく。このことは Dynamic Attending Theory によると、リズムの繰り返し聴取は人間の脳の時間分解能を、絶対的時間を持つ拍に意識集中させるためとされる [6, 7]。徐々にリズムに同調した内的時間は身体リズムや呼吸リズムを引き込むため [8]、音楽聴取時の内的クロックがリズムとの身体同調動作や息遣いなどのマルチモーダルな動きをもたらしていると思われる。

この一連のメカニズムを他者と共有することで音楽コミュニケーションは成立すると考えられる。

本研究では、リズムの拍に合わせた手拍子と頷きによるリズム同調動作で内的時間を表現するエージェントとのリズム共聴によって音楽コミュニケーションを再現する。そして、内的時間共有に最も関連すると考えられるリズムの周期性への期待とその逸脱による音楽感情喚起に着眼してエージェントの心のモデルを探る。我々はこれまで、エージェントの音楽を感じる心を表すことが生む共感性に関し、リズムを感じる心 [9] と和音を感じる心 [10] を実装し効果を確認してきた。特にリズムを感じる心には「期待からの逸脱に対する興奮」と「リズムの繰り返しに対する快感」が存在するという既存研究に基づき、これらの感情を表出するエージェントについて実験評価した結果、共聴体験に対して没入感や楽しさ、興奮を与えるとともにエージェントの感じ方に共感させる効果が見られた。

しかしながら、期待からの逸脱や繰り返しはその量が多いほど心的効果が高いとは限らない。本来、リズムの快感は音楽の流れの予測のしにくさ [11, 12, 13] が適度である場合に最も快いと感じるとされている。したがって、リズムが複雑すぎる場合は不安や困惑を引き起こすと仮説を設定し、複雑すぎるリズムのノリに対する不安や困惑をエージェントが表現するよう実装した。例えば、複雑なリズムに対してリズムにノれるポイントを見失い、次のリズムに期待して想像する間に脳の処理が停止することによって、感情に弱い不安

*連絡先：関西大学
〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1
E-mail: k753488@kansai-u.ac.jp

や困惑が生まれることが想定される。そこで、困惑感情を「音楽認知処理における迷いや思考の停止、それに伴う不安感情」と定義し、リズムのノリにブレーキをかけるような微弱な困惑感情やそれに伴う困惑身体動作表現を提示するエージェントを提案し、その実験評価を行う。これにより、期待からの逸脱の許容量を超えることに対する困惑感情の表現が、ユーザの困惑を軽減したり安心させたりする効果を生み、複雑なリズムに対しても興味を持って楽しめる状態へ誘導することを目指す。

2 関連研究

本章では、人間の心モデルを模倣することによって音楽的動情表出を行うエージェントを作成するため、人間の音楽認知モデルと音楽リズム知覚モデルについて言及する。さらには、メディアを介したエージェントの感情表出効果が人間にどのような影響をもたらしてきたかについて述べる。

2.1 音楽認知モデル

人間の脳は感覚器官から入力される刺激に受動的に反応するだけでなく能動的にも反応している。能動的な反応におけるメカニズムとしては、次に入力される刺激を予測する内的モデルを構成し、それによる予測と入力された感覚信号のずれ（予測誤差）の計算に基づいて、知覚を能動的に創発していると考えられている（以下、予測的符号化）[14, 15, 16]。これは音楽聴取においても同様に働いていると考えられており、Narmourは音楽の予測的符号化に対して暗意実現モデルを提唱している[1]。人間は音楽において現在の進行から将来何が起きるかを無意識のうちに予測（暗意）し、音楽を単に受動的に聴くのではなくその予測（暗意）に基づいて将来の進行を期待するとしている。期待通りの場合は「解決」として処理（実現）される一方で、予測が否定されたり、保留されたりすると「未解決」な状態となり、いずれの場合も聞き手に様々な情動が生じる。特に、未解決感は音楽に対する快感度を高める一因であることが示されている[22]。

しかし音楽のもたらす快感は、音楽が聴き手の期待から逸脱すればするほど高まるわけではない。その変化には音楽刺激の複雑さが深く関係しており、音楽刺激が中程度の複雑さの時にもっとも快く感じる（最適複雑性モデル）[12]とされる。これまでの音楽心理学においては、音楽に伴う快感は繰り返し聴取による影響を強く受けるという考えが基軸となってきた[17, 18, 19, 20, 21]が、上述を踏まえると、音楽刺激の複雑さも考慮する必要があることがわかる。

本研究では、音楽の複雑さが最適水準から大幅に飛躍した際、困惑や不安を感じ、繰り返し聴取により感情が落ち着いていくと仮説を立て、この情動メカニズムをエージェントの心に形成することで自分と感性の似た他者との音楽共聴体験の再現を目指す。

2.2 音楽リズム知覚モデル

人間はリズムの周期性に対しても期待や予測を行い、その逸脱に情動を変化させる。人間はリズムを聴くと心の内で一定の間隔で時を刻む（内的時間を刻む）内的クロックを発生させ[23, 24]、内的時間を拍節アクセントを手がかりにリズムに当てはめることでリズムを認知する[25]。さらに、リズムの繰り返し聴取によって内的時間は徐々にリズムに同調していく。これは、人間の注意が動的に変化し、拍のように周期性を持つ場合には拍のタイミングで注意の時間分解能が高まっていくとされる Dynamic Attending Theory の影響を受けるためとされる[6]。また、他者との音楽共聴シーンでは、自身の内的時間は他者の内的時間とも同調する。これは、引き込み同調と呼ばれる現象の影響を受けるためである[26]。他者との音楽リズムを介した同調関係は心拍、呼吸、脳波、血圧から身体動作にまで影響を与える。つまり、音楽コミュニケーション時の相互に波長を合わせる関係はリズムの上に成り立つ。

本研究では、エージェントとリズムを介して相互に波長を合わせる状況をシミュレーションすることによって内的時間の共有の再現を目指し、複雑度の高いリズムに対する困惑や不安を表情やリズム同調動作の一時的な停止によって表現する。これにより、理解できないリズム音楽に対してエージェントがユーザと共に困惑している様子表現し、エージェントの共感によってユーザに不快感を与えることなく聴取体験を楽しませることを目指す。

2.3 メディアが励起するエージェントの感情表出効果

ユーザ-エージェント間でのコミュニケーション体験においては、ユーザとエージェントが同じメディアを共に体験することが、エージェントの示す感情に対するユーザ感情を大きく動かす。例えば、吉田らは感情を表出するロボットと一緒に映像メディアを体験することで、ユーザがロボットと積極的に対話を行わなくとも、ユーザの心的効果を増幅させたりロボットとの関係構築を促進できる可能性について述べた[28]。また、Tochigiらのぬいぐるみ型ロボットとのインタラクティブなゲームメディアの体験においては、ユーザと共にゲームをするロボットの動きの活発度を変化させ

ることで、ロボット個々の性格をユーザに感じさせる可能性を示唆した [27].

このような人工的な存在に心を感じる人間の機能と、メディア体験を共有することによる効果についてはこれまでも示されてきた。しかし、メディアが励起する感情のモデル化や、それによるエージェントの表現の実装、および評価については研究例が少ない。本研究では音楽メディアの共有体験に自身の情動を動かすエージェントを、音楽知覚における理論をベースに実装した。

エージェントの感情表出と音楽メディアを組み合わせることは、エージェントとの体験によるユーザ感情を増幅させるだけでなく、エージェントの存在をリアルに感じさせることに繋がる。例えば、音声対話エージェントの感情表出の強化にBGMを用い、そのテンポと調性を変化させることは、エージェントの意図する感情をユーザに正確に伝え、エージェントの人間らしさを感じさせる効果が示唆されている [29]。これに対し本研究では、音楽メディアの共有体験をメインとした、エージェントの音楽的内部状態やユーザの音楽的感情の強化を目指す。

3 システム

3.1 システム概要

この節では後述する5章の実験で用いたリズムに対する困惑感情表出エージェントシステムを簡潔に説明する。提案システムは16ビートのリズムマシンと他者を模したエージェントの視覚表現部分により構成される。リズムマシン操作部ではユーザ自身の入力に基づくリズムをもとに、リズムマシンからの拍出力を得て、ユーザがリズム聴取すると同時にそのリズムデータおよび拍子データがエージェント内部計算部に送られる。エージェント内部計算部では、事前に得られたリズム情報からの拍や拍子のタイミング、強弱を予測して保持している。リズムマシンから送られるリズムデータの拍と予測した拍との違いを積算し、前小節のギャップ積算値と現小節のギャップ積算値を比較することによって、快感パラメータを動かす。この快感パラメータはギャップ積算値だけではなく、ギャップ積算値とリズム複雑度の両方によって決まる。また、リズム複雑度はエージェントの困惑表情強度や困惑時の身体動作の大きさを決定する。これら困惑表情や困惑身体動作の表出タイミングはリズムの拍子データから決定し、リズム刺激から一拍(1000ms)遅らせて提示する。これは、覚醒度の低い表情において瞬間的表情変化が速すぎると表情の認知が困難となるためである。先行研究において、覚醒度の高い表情は200ms以内の提示

で認知可能だが、覚醒度の低い表情は530msの以内の提示では認知しにくいことが示されている [30]。本研究で扱う困惑表情はリズムに対する快感情をベースとするため、表情強度が微弱であることから、1000ms後の提示とした。

システムで使用する各パラメータ間の関係を図1に示す。

3.2 リズム生成部

エージェントの音楽的感情生成の元となるリズム刺激を生成するためPureData Vanilla¹を用いてリズムマシンを実装した。生成リズムについては簡単なリズムから複雑なリズムを幅広く生成することが可能で、ドラムの基本的なビートの一つである16ビートを採用した。16ビートは4拍子のリズムパターン的一种で、1拍あたりに4ビート含まれる。そのため、1小節に含まれる音符数が16音と多く、1拍を表拍と裏拍にわけた2ビートずつのリズム感覚を掴むことが一般的である。この16ビートリズムに対して、強拍にはバスドラム、中強拍にはシンバルハイハット、弱拍にはスネアドラムを音源として使用した。

音楽要素のうちテンポと調性が最も音楽の印象に影響を与える [31]。BGM自動作曲システムにおいても情動を動かす要因にテンポがある可能性が示された [32]。音楽テンポの知覚には、380ms–880msの範囲の自発テンポ [33] と500ms–700ms程度の嗜好テンポ [34, 35, 36] (ちょうど良い速さと感じられるテンポ) が関与し、嗜好テンポは心拍数や呼吸数が影響すると仮定されている [34]。そこで本実装におけるリズムマシンは、多くの人が好みやすいテンポとして自発テンポと嗜好テンポを考慮した、60BPM: Beats Per Minuteを前提として設計し、表拍の打拍間隔が500msとなるようにした。

本リズムマシンは4章で述べる予備実験および5章で述べる実験で使用した。

3.3 エージェントの音楽感情生成部

エージェントの音楽感情生成ではRussellの感情円環モデル [37] に基づき、困惑度および困惑表情強度の感情パラメータを準備し、リズムの複雑度に応じて困惑したり、馴化により落ち着く様子をシミュレーションした。システムに使用したリズムの複雑度については、次章4.5節の実験刺激と体験で詳細に説明する。

困惑度は4章の予備実験におけるリズムの困惑の印象に対する質問項目(Q2, Q3, Q5)で得られた値の平均値によって求める。そして、エージェントの困惑感情はリズム複雑度と困惑度の関係式に準拠する困惑

¹<https://puredatajapan.info>

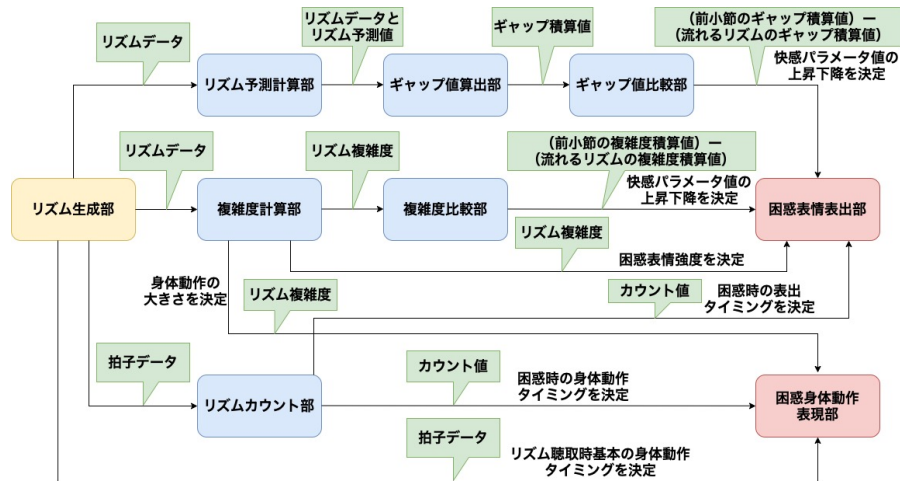


図 1: パラメータ関係図

表情強度によって表現する。リズムの複雑度は 4 拍子の一般的拍強度（強，弱，中，弱）を基準に，どれだけ違いがあるかを拍強度に点数付けを行うことで算出し，本研究では 8 種のリズムを対象としてリズム複雑度を設定した。4 節で述べるリズム複雑度と困惑度の関係性における予備実験の結果から，後述するリズム複雑度 (x) と困惑度 (y) は $y = 1.8853x + 10.078$ の関係性にあることが示された。本エージェントの困惑表情強度は上記の数式を用いて算出する。

エージェントの困惑は流れるリズムが期待の許容量を大幅に超えた際に提示する。そのため，予備実験での結果において対象リズムのうち著しく困惑度が上昇したリズムの複雑度に基づいて設定した閾値を基準に，リズムの拍強度の予測と実際の拍強度とのギャップの大きさを判断して困惑表情を提示した。また，前小節の予測ギャップよりも現小節の予測ギャップが大きいこと，前小節のリズム複雑度よりも小節のリズム複雑度が大きいことを条件として困惑表情を提示するようにした。

人間は楽曲に合わせて手拍子を打つ際や体を動かす際，拍に対応した動作がなされていることが多い [2]。そのため，エージェントには拍に合わせてリズム同調動作を行わせた。さらに，エージェントの困惑時は，同調動作にブレーキをかけるような微弱な動き（以降，この動きを困惑身体動作表現とする）にすることで困惑感情を表現することとした。

3.4 エージェント外観部

エージェントの外観部は Processing²で作成し，Open Sound Control 通信³を用いてリズムマシンからのリズムデータと連携させた。エージェントの外観は 2 次元の顔パーツと身体パーツから成り，表現は，1) 困惑に対応した表情 (図 2B)，2) 内的時間が発生させる身体テンポの表現 (図 3)，で構成される。

エージェントの困惑の表出は，眉を下げる，瞼を緊張させる，瞳の位置，瞳の大きさ，唇両端を下げる，顎をあげる，唇を固く閉じる，に作用する (図 2)。これは，Facial Action Coding System [38] を参考にしたものである。エージェントの内部計算部で得られた困惑パラメータにより上記を制御した。Facial Action Coding System における Action Unit での顔パーツの操作がエージェントの表情表出における自然さをもたらすとされている [39]。そのため，本エージェントの感情パラメータと操作される顔パーツを Action Unit に対応させて表示した。表情表出の変化速度による表情認知では，速度によって認知される感情の種類や強度が異なり，覚醒度の高い表情ほど比較的速く表情変遷しても認知が容易であるのに対し，覚醒度の低い表情の認知は困難とされる [40, 41, 30]。そのため，困惑表情は刺激提示から 1 拍後に提示し，繰り返して聴取の影響を受けることによる感情の馴化を表現するため徐々に困惑感情が減衰していくように操作した。また，本擬人化エージェントは顔の作りを単純な見た目にするすることで，不気味の谷に陥ることを防ぎ，リズム聴取体験の面白さや体験への集中を阻害しないようにした。

また，エージェントの身体動作は，頷きと手拍子を用いた (図 3)。エージェントの首振りと手拍子のタイミ

²<https://processing.org>

³<https://opensoundcontrol.stanford.edu/>

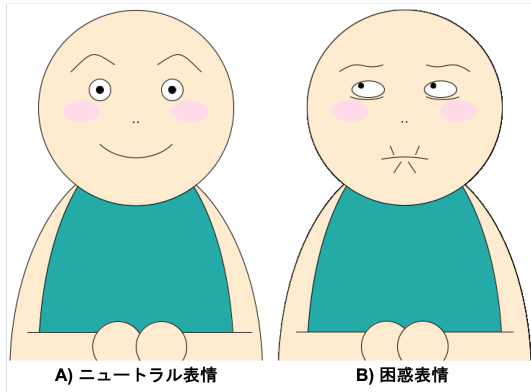


図 2: 困惑表情表出例

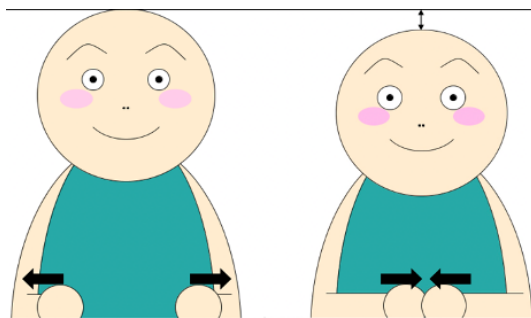


図 3: リズム同調動作

ングを、ここでは内的時間に対する身体テンポと呼び、内的時間 4 拍に対し 2 拍ごとに 1 回（16 ビート中に 2 回）のペースとした。手が開いた状態時に頭部位置が最も高く、手拍子時は頭部が低くなることで、身体テンポのタイミングで身体が音楽に同調的に動く様子を表現した。また、エージェントの困惑身体動作表現においては、複雑度の高いリズムが流れた際の身体動作を困惑していない場合の動作の大きさと比べて 2 拍分約 95%カットした微弱な動きとなるようにした。この時の困惑身体動作表出タイミングは、上記の困惑表情表出タイミングと同じである。

4 予備実験

4.1 実験目的

本実験は次章で扱うエージェントシステムの困惑表情とそれに伴う困惑身体動作表現の表出のため、対象リズムの選定や、それに伴うリズム複雑度の設定、またリズム複雑度に応じて表出する困惑度の指標を探ることを目的として行った。実験では、本章 4.5 節で取り上げる複雑度の異なる 8 種のリズムに対して、快感

度におけるリズムの最適複雑度とリズムの複雑度に対する困惑度を調査した。

4.2 実験仮説

音楽感情喚起において、期待の許容量を超えるほどの複雑なリズムに変化した場合は不安や困惑を引き起こすと考え、下記のように仮説を立てた。

仮説

身体でリズムを知覚できた（ノリを掴めた）時にリズムの快感は向上し、身体でリズムを知覚できない時に不安や困惑を感じる

4.3 実験条件

実験では、異なるリズムの複雑性（要因 A）に対して 8 つの水準を設け（A1–A8）、1 要因 8 条件の被験者内実験計画とした。

4.4 実験参加者

実験には 19 歳–24 歳（平均年齢 22.0、標準偏差 1.1）の日本語を母国語として基本的な PC 操作が可能な 24 名（男性 12 名、女性 12 名）が参加した。

4.5 実験刺激と体験

実験では 3.2 節で述べたリズムマシンで生成した複雑度の異なる 8 種のリズムを聴かせた。リズムパターンの認知の難易度は内的クロックにどれだけ適合するかによる [2]。つまり、弱拍や基本拍でない位置に音がないリズムパターンは内的クロックによく適合し、リズムの認知や記憶が簡単とされる。そこで、リズムの複雑度を決定するために、4 拍子の一般的拍強度（強、弱、中、弱）をリズムパターン 0 として拍強度に強拍を 3 点、中拍を 2 点、弱拍を 1 点、休拍を 0 点として点数づけを行い、その合計値をリズム複雑度とした。リズムパターン 1 からリズムパターン 7 にかけて順に複雑度が線形的に高まるように設定した（図 4）。リズム譜を図 5 に示す。

実験参加者は 8 条件のコンテンツを聴取するため、前に聴いたリズムに影響を受けることが余剰変数として実験結果に影響することが考えられる。そのため、まずメトロノーム音を提示した後、リズムパターンを提示するという流れをそれぞれ 8 種のリズムに対して行い、実験参加者に頷き動作を行わせながら聴取させた。

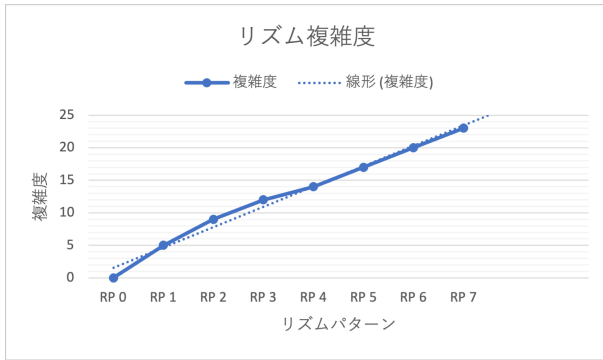


図 4: リズム複雑度

4.6 実験手順

本実験は Zoom を用いてオンラインで教示し、その後、GoogleForms の Web サイトを用いてリズムパターン刺激の聴取を行わせ、それに対する評価フォームを提示した。実験参加者は全員ノート PC とイヤホンを使用した。実験参加者は実験前に実験内容に同意した者のみだった。

実験参加者は 8 試行を順に取り組んだ。実験条件の提示順はラテン方各法に基づいてカウンタバランスを考慮して決定した。実験参加者がリズムを評価するために、各条件の体験後、質問項目に対して回答を求めた。

4.7 評価方法

以下に実験における評価項目を示す。リズム自体に対する印象 (Q1-Q3)、リズムの複雑さに対する印象 (Q4)、リズムのノリの捉え方 (Q5) に対する項目を設け、これに対して実験参加者の感覚的な印象を調査するため Visual Analogue Scale (VAS) 法に従い、0-99 点 (0: 全くそう思わない, 99: すごくそう思う) で回答させた。回答の際には p5.js⁴ で作成した自作のスライダーシステムを用いた。スライダーは操作中には点数を開示せず操作後に点数を開示する仕様にする事で実験参加者の体験における主観的な評価を可能とした。

評価項目	
Q1	リズムを心地よく聴けた
Q2	リズム聴取に混乱した
Q3	リズムに違和感があった
Q4	リズムは複雑だった
Q5	リズムに合わせて頷く動作の難しさに不快感を覚えた



図 5: 実験刺激で扱ったリズム

4.8 実験結果

実験により得られた各アンケート結果に対して繰り返しのある分散分析 (ANOVA) を有意水準 $\alpha = 0.05$ で実施した。図 6 に各アンケート項目の平均値およびその標準偏差を、表 1 に分散分析の結果を示す。まず、リズム自体に対する印象 (Q1-Q3) では、ともに有意差が示された。特に Q1 においては、多重比較より $A6, A7, A8 < A1, A2, A3, A4$ が確認できた。このことから、RP5 以上の複雑さと RP3 以下の複雑さでは、RP3 以下の複雑度を持つリズムの方が心地よく感じやすく、リズムの快感度に関して差が見られることがわかった。一方、Q2 では、多重比較より $A1, A2, A3, A4 < A6, A7, A8$, $A1, A2 < A5 < A8$ が確認され、リズムの複雑さに対する困惑はおおよそ RP7 にかけて上昇する傾向があることがわかった。また、Q3 のリズムの違和感については、多重比較より $A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 < A8$, $A1, A2, A3, A4 < A6, A7$, $A1 < A5$ が確認された。このことから、RP7 の複雑度が最も実験参加者に違和感を与えることがわかった。

次に、リズムの複雑さに対する印象 (Q4) においても有意差が見られた。多重比較より $A1 < A2, A3, A4 < A6, A7, A8$, $A1, A2, A3 < A5 < A8$ が確認され、リズムパターンの複雑度が高いほど実験参加者も複雑であると感じる傾向が示された。

最後に、リズムのノリの捉え方 (Q5) についても有意差が見られた。多重比較より、 $A1, A2, A3, A4, A5 < A7, A8$,

⁴<https://p5js.org>

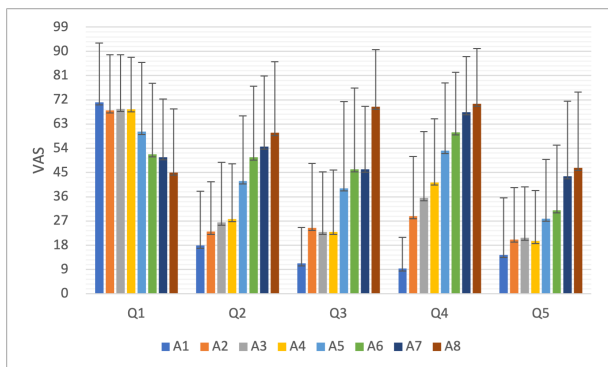


図 6: 予備実験における VAS の平均値と標準偏差

A6<A8 が確認され、リズムの複雑度が低い方が比較的にリズムに合わせた頷き動作が容易であることがわかった。

4.9 予備実験に対する考察

本実験では、複雑なリズムに対してリズムのノリの知覚が快感度と困惑度にどのような変化を与えるかを探った。実験の結果、リズムパターンの複雑度が低いほど快感を感じやすく、リズムパターンの複雑度が高いほど違和感や困惑を感じやすい傾向があることが示唆された。また、リズムの頷き動作は複雑度が高いほど実験参加者に不快感を与える可能性があった。これらのことから、リズムのノリの知覚が容易であるほど快感を覚えやすく、リズムのノリの知覚が困難な場合に不快感や困惑、違和感を与える可能性が示唆され、仮説が支持された。

さらに、複雑度が高いリズムほど、実験参加者はリズムを複雑だと感じる傾向にあったことから、4.5 節で述べるリズムの複雑度の定義手法は本実験において適切であったと考えられる。

5 実験

5.1 実験目的

本実験では、3 章で提案する複雑なリズムに応じて音楽のノリに対する不安や困惑を、1) 困惑表情表出、2) リズム同調動作の停止、の 2 点によって提示するエージェントがユーザの安心感やエージェントに対する共感性を高めるかについて検証する。

5.2 実験仮説

人間はリズムの期待の許容量を大幅に超えるほどの複雑さを持つリズムを聴取すると快感度が下がり、困

惑する傾向にあることが 4 章の実験において示唆された。そこで、リズムの複雑度に応じて不安や困惑といった内部状態を表出するエージェントとのリズム共聴がユーザの複雑なリズムに対する印象を変化させるのではないかと考え、提案システムに対し下記の仮説をたてた。

仮説

H1: エージェントの困惑表情遷移と困惑身体動作表現の両方によってリズムの複雑さが解消される

H2: エージェントの困惑表情遷移と困惑身体動作表現の両方によってユーザの困惑が軽減する

H3: エージェントの困惑表情遷移と困惑身体動作表現の両方によってユーザは安心感を得る

H4: エージェントの困惑表情遷移と困惑身体動作表現の両方によってユーザは複雑なリズムを理解することを諦めずに興味を持ってリズム聴取する

H5: エージェントの困惑表情遷移によってユーザはエージェントに共感する

5.3 実験条件

実験は困惑表情遷移 (要因 A, A1: あり, A2: なし) および困惑身体動作表現 (要因 B, B1: あり, B2: なし) の 2 要因 4 条件の被験者内実験計画とした。

5.4 実験参加者

実験には 19 歳-24 歳 (平均年齢 22.0 歳, 標準偏差 1.3) の日本語を母国語として基本的な PC 操作が可能な 24 名 (男性 12 名, 女性 12 名) が参加した。

5.5 エージェントの困惑度に応じた困惑表情強度の設定

4.8 節の困惑度測定指標 Q2, Q3, Q5 の実験結果では、各リズムパターンにおいて全て有意差が確認され、リズムパターンが複雑になるにつれ数値が上昇する傾向が見られた (図 7)。そこで、Q2, Q3, Q5 の評価平均値からエージェントの困惑度を定義することとした。リズム複雑度に応じたエージェントの困惑度は $y = 1.8853X + 10.078$ の線形近似をとる。この近似直線をエージェントの困惑表情強度として困惑表情の強さを決定した。

表 1: 予備実験の ANOVA の結果

	要因 A		
	F	p	多重比較
Q1: リズムを心地よく聴けた	7.455	<.001*	{A6, A7, A8}<{A1, A2, A3, A4}
Q2: リズム聴取に混乱した	15.672	<.001*	{A1, A2, A3, A4}<{A6, A7, A8} {A1, A2}<A5<A8
Q3: リズムに違和感があった	20.763	<.001*	{A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7}<A8<{A1, A2, A3, A4}<{A6, A7} A1<A5
Q4: リズムは複雑だった	32.026	<.001*	A1<{A2, A3, A4}<{A6, A7, A8} {A1, A2, A3}<A5<A8
Q5: リズムに合わせて頷く動作の難しさに不快感を覚えた	9.239	<.001*	{A1, A2, A3, A4, A5}<{A7, A8} A6<A8

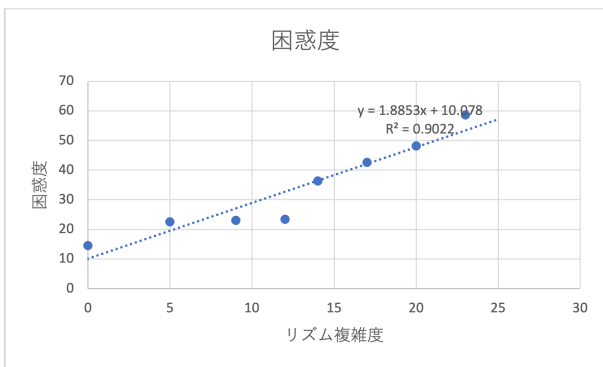


図 7: リズム複雑度と困惑度

5.6 実験刺激と体験

実験システムでは、4章の実験で扱った8種のリズムを対象とし、各4小節ずつ組み合わせ合計32小節(約60秒)のコンテンツを画面上に表示されるエージェントと共聴することとした。リズムパターン0-リズムパターン7までを組み合わせたコンテンツは、実験参加者ごとにランダムに入れ替えて提示することで、リズムパターンの聴取順序が結果に影響を与えないようにした。また、実験参加者がリズムへのノリを積極的につかめるようにするため、リズム共聴中はエージェントと共に頷くことによるリズム同調動作を行わせた。

5.7 実験手順

実験環境は4.6節と同様である。実験参加者は4試行を順に取り組んだ。実験条件の提示順はラテン方各法に基づいてカウンタバランスを考慮して決定した。実験参加者がエージェントとの共聴体験を評価するために、実験参加者に各条件の体験後、質問項目に対して回答を求めた。

5.8 評価方法

以下に実験における評価項目を示す。まず、前提として本提案エージェントの感情が実験参加者に困惑感情だと感じられるかを確認するため、Q1を設定した。そして、5.2節で述べた仮説H1に対するQ2, H2に対するQ3, H3に対するQ4, H4に対するQ5, H5に対するQ6, Q7の質問項目を設けた。これに対して4.7節で述べた方法と同様の方法で評価した。

評価項目	
Q1	画面のキャラクターは戸惑ったり困惑していた
Q2	リズムに乗ることは難しかった
Q3	リズムのノリを掴むことに戸惑った
Q4	恐れることなくリズムに乗ろうとすることができた
Q5	最後までリズムに興味を持っていられた
Q6	画面のキャラクターに共感した
Q7	画面のキャラクターはあなたに共感していた

5.9 実験結果

実験により得られた各アンケート結果に対して繰り返しのある分散分析(ANOVA)を有意水準 $\alpha = 0.05$ で実施した。図8に各アンケート項目の平均値およびその標準偏差を、表2に分散分析の結果を示す。

まず、前提としてAction Unitを参考に表現した本エージェントの顔表情や複雑なリズムに対して動作を一時停止する困惑身体動作表現が実験参加者にとって困惑感情であると感じられるかについて質問したQ1では、要因Aおよび要因B双方に有意差が見られ、全てA1>A2, B1>B2が確認できた。このことから、困惑表情遷移と困惑身体動作表現が共に、エージェント自身の感情を困惑感情として伝えることが可能であることが示された。また、要因Aと要因Bの間の交互作用に対する有意傾向が見られた。

次に、リズム自体に対する印象(Q2-Q5)では、全て要因Bにのみ有意差が見られた。Q2, Q3ではB1>B2が確認され、困惑身体動作表現がリズムに乗ることを

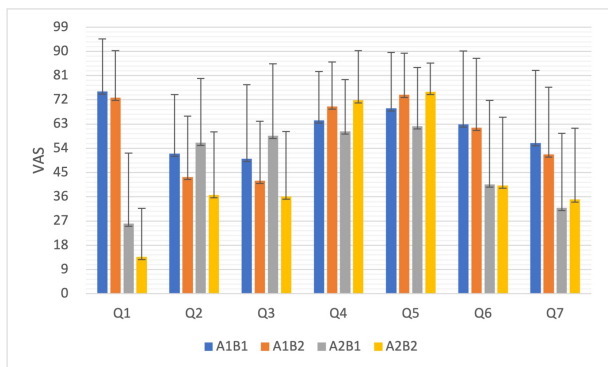


図 8: 実験における VAS の平均値と標準偏差

難しくさせたり、リズムのノリの掴み方に対し困惑を促すことが示された。一方、Q4, Q5 では $B1 < B2$ が確認され、困惑身体動作表現がなく、一定のペースでリズム同調動作を行うほうが不安なくリズムに乗れたり、リズムへの興味を失わせない効果を持つことが示された。

最後に Q6, Q7 のエージェントとの共感に対する項目では双方とも要因 A のみに有意差が確認され、どちらも $A1 > A2$ となった。このことから、困惑表情遷移がある方がエージェントに対して共感し、さらにエージェントからも共感されているように感じさせる効果が高めることが示された。

6 考察

本研究では、内的時間を刻みつつ突然の複雑なリズムに対して不安や困惑を表出するエージェントとのリズム共聴体験システムにより、人間同士の音楽体験に生ずる共感が誘発されるか、リズムに対する感じ方を変化させるかについて検証を行った結果、仮説は H5 のみ支持され、他は棄却された。

実験の結果、リズムの複雑度の大きさに応じて表出する困惑表情遷移と困惑身体動作表現は共に、エージェントが困惑しているようにユーザーに感じさせることが示唆された。このことから、本エージェントの困惑表情遷移と困惑身体動作表現は困惑感情表出の手法として妥当であったと考えられる。

一方、エージェントの困惑身体動作表現はリズムの複雑さやそれに対する困惑を解消するのではなく助長し、安心感を与えたりリズムに対する興味を維持させたりする効果は見られなかったが、困惑身体動作表現がない場合には、安心感やリズムへの興味を維持する傾向があった。これに対し、エージェントの困惑表情遷移は、ユーザーがエージェントに共感し、エージェン

トからも共感される感覚が得られる可能性が示された。このように仮説 H5 は支持された。

本検証において、提案するエージェントはリズムの複雑さに対する困惑の軽減、安心感、リズムへの興味において効果を示さなかった。その原因として、困惑を共有し強化した可能性や、エージェントの困惑映像がリズム知覚を崩した可能性が考えられる。映像が音楽に与える影響として、映像の付加が背景音楽の音質の違いをわかりにくくさせたり [42]、音のエコーが検出しにくくなる [43] など、聴覚に対する抑制的効果が見られる。これらより、本システムは二次元エージェントを映像提示した視覚刺激とリズムマシンによる聴覚刺激から成るため、視覚優位となった可能性がある。このことから、エージェントの内的時間表現とリズムの不一致がユーザーの困惑をさらに引き立てたことが考えられる。

また、ユーザーの困惑感情に対する提案エージェントとの共感が、困惑を和らげる効果を持たなかったことについて、複雑なリズムが引き起こすことができる困惑感情が弱いためであると考えられる。例えば、悲しみのような感情にはネガティブな感情を表現する音楽を提示することによって覚醒度を下げ、快の方向に感情を和らげる効果があるとされ、強い悲しみであればあるほど悲しみが低下する傾向にあるが、弱い悲しみの時は効果を及ぼさない [44]。本研究では、リズム音楽を扱うため聴取者のペースの快感度が高い体験に対して、突然の複雑なリズムに一瞬ブレーキがかかり微弱に困惑するような表情変化と身体動作を提示した。リズム音楽がもたらす困惑感情が微弱であったために、リズムの複雑さや困惑を和らげず、安心感をもたらさなかったのではないかと考える。

本検証の予備実験では、リズムの印象について複雑さ以外の観点から分析していないため、複雑なリズムが困惑をもたらす傾向は確認できたが、その他どのような感情に複雑さが影響するかについては定かではない。今後の研究の展望として、リズムの複雑さに応じて引き起こされる感情が他にあるのかを探り、その感情もエージェントに提示させることでより感情の豊かな音楽共聴体験を再現することを目指す。

7 おわりに

本研究では、音楽を感じる心を持つエージェントとの共聴体験を検討する中で、特にリズムの予測と実際のギャップに基づく興奮や、リズムパターンの繰り返しによる快感を含む内部状態をエージェントの表情に表した。それと同時に、リズムに同期する内的時間をエージェントのリズム同調動作（手拍子と頷き）によって表現してきた。本稿では、エージェントが複雑なリズム

表 2: 実験の ANOVA の結果

	A		B		AB		交互作用
	F	p	F	p	F	p	
Q1: 画面のキャラクターは戸惑ったり困惑していた	98.428	<.001*	5.352	.030*	3.389	.079+	なし
Q2: リズムに乗ることは難しかった	0.171	.683	9.370	.006*	1.648	.212	なし
Q3: リズムのノリを掴むことに戸惑った	0.145	.707	10.465	.004*	2.823	.107	なし
Q4: 恐れることなくリズムに乗ろうとすることができた	0.122	.730	9.674	.005*	1.606	.218	なし
Q5: 最後までリズムに興味を持っていられた	1.029	.321	4.853	.038*	1.916	.180	なし
Q6: 画面のキャラクターに共感した	10.223	.004*	0.053	.821	0.008	.930	なし
Q7: 画面のキャラクターはあなたに共感していた	8.419	.008*	0.028	.869	1.153	.294	なし

ムに対して、困惑表情やリズム同調動作停止による困惑身体動作を表現することでユーザに共感や安心感を与えたり、複雑すぎるリズムに対しても不快感を与えにくくするかについて検証した。その結果、困惑身体動作表現がリズムによる困惑を解消しないことや、困惑表情遷移がユーザのエージェントに対する共感を誘発するだけでなくエージェントからユーザへの共感も感じさせる効果が示唆された。

今後は、本提案システムとこれまでのリズムに対する快感や興奮を表現するエージェントシステム [9] とを統合することを検討している。これにより、ユーザにとって本エージェントが共に音楽を楽しむ存在としてより共感的な体験を可能とすることを目指す。

謝辞

本研究の一部は、科研費 21K11968, 19K12090, 18K19812, および、22K19792 の助成、2022 年度関西大学若手研究者育成経費において、研究課題「エージェントを用いた共感的音楽体験共有の価値創造に関する研究」として助成を受けた。

参考文献

- [1] Narmour, Eugene: Beyond Schenkerism: The need for alternatives in music analysis; Journal of Aesthetics and Art Criticism, Vol.36, No.4,(1978).
- [2] 大串健吾, 桑野園子, 難波精一郎 他: 音楽知覚認知ハンドブック-音楽の不思議の解明に挑む科学-; 北大路書房, (2020).
- [3] 林原理恵, 尾田政臣: 和音進行の複雑さが快感情に及ぼす影響 (視聴覚技術, ヒューマンインターフェース); 映像情報メディア学会技術報告, pp.5-8, Vol.33, No.17,(2009).
- [4] Schütz, Alfred: Making music together:A study in social relationship, Social reserch, pp.76-97,(1951).
- [5] 渡部光, 那須壽, 西原和久訳: アルフレッド・シュッツ著作集第 3 巻社会理論の研究, マルジュ社, pp.221-244,(1991).
- [6] Jones, Mari Riess and Boltz, Marilyn: Dynamic attending and responses to time., Psychological review, p.459,Vol.96,No.3(1989).
- [7] Large, Edward W and Jones, Mari Riess: The dynamics of attending: How people track time-varying events., Psychological review, p.119,Vol.106,No.1(1999).
- [8] 渡辺富夫, 大久保雅史 他: コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価, 情報処理学会論文誌, pp.1225-1231,Vol.39,No.5(1998).
- [9] 石田真子, 竹村響, 米澤朋子: リズム聴取におけるエージェントの内部状態表出によるユーザの共聴体験への影響, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), pp.1-6,Vol.2022,No.11(2022).
- [10] 竹村響, 石田真子, 米澤朋子: 和音が励起するエージェントの感情に基づく表情提示の音楽聴取感覚への影響, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), pp.1-6,Vol.2022,No.12(2022).
- [11] 谷口高士: 音は心の中で音楽になる音楽心理学への招待, 北大路書房, (2000).
- [12] Berlyne,D.E.: Aesthetics and Psychology, Appleton-Century-Crofts, (1971).
- [13] 榎原彩子: 音楽の繰り返し聴取が快感情に及ぼす影響 リズムパターンの冗長性とハーモニーの典型性, 教育心理学研究, pp.92-101,Vol.44,No.1(1996).

- [14] Friston, Karl and Kilner, James and Harrison, Lee: A free energy principle for the brain, *Journal of physiology-Paris*, pp.70–87, Vol.100, No.1–3(2006).
- [15] Friston, Karl: The free-energy principle: a unified brain theory?, *Nature reviews neuroscience*, pp.127–138, Vol.11, No.2(2010).
- [16] 大平英樹: 予測的符号化・内受容感覚・感情, *エモーション・スタディーズ*, pp.2–12, Vol.3, No.1(2017).
- [17] Bradley, Ian L: Repetition as a factor in the development of musical preferences; *Journal of Research in Music Education*, pp.295–298, Vol.19, No.3,(1971).
- [18] Heingartner, Alex and Hall, Joan V: Affective consequences in adults and children of repeated exposure to auditory stimuli.; *Journal of Personality and Social Psychology*, p.719, Vol.29, No.6,(1974).
- [19] Krugman, Herbert E: Affective response to music as a function of familiarity.; *The Journal of Psychology*, pp.155–162, Vol.43, No.1,(1957).
- [20] Mull, Helen K: The effect of repetition upon the enjoyment of modern music; *Journal of personality and social psychology*, p.1, Vol.9, No.2p2,(1968).
- [21] Zajonc, Robert B: Attitudinal effects of mere exposure.; *Journal of personality and social psychology*, p.1, Vol.9, No.2p2,(1968).
- [22] 榑原彩子: 音楽において期待からの逸脱が情緒的反応に及ぼす影響, *教育心理学研究*, pp.254–263, Vol.41, No.3(1993).
- [23] Gibbon, John and Allan, Lorraine and others: Timing and time perception, (1984).
- [24] Treisman, Michel: Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the” internal clock”., *Psychological Monographs: General and Applied*, p.1, Vol.77, No.13(1963).
- [25] Povel, Dirk-Jan and Essens, Peter: Perception of temporal patterns, *Music perception*, pp.411–440, Vol.2, No.4(1985).
- [26] 吉田友敬, 山本佐代子, 武田昌一 他: 生体情報等への音楽リズムモデルの適用可能性, *情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS)*, pp.25–30, Vol.2003, No.127(2003-MUS-053),(2003).
- [27] Tochigi, Hiroko and Shinozawa, Kazuhiko and Hagita, Norihiro: User impressions of a stuffed doll robot’s facing direction in animation systems, *Proceedings of the 9th international conference on Multimodal interfaces*, pp.279–284(2007).
- [28] 吉田直人, 米澤朋子: コンテンツ鑑賞時ユーザに対するロボットの生理的働きかけによる感情増幅と親近感への影響, *HAI シンポジウム* (2017).
- [29] Takahashi, Tomomi and Tanaka, Kazuaki and Kobayashi, Kenichiro and Oka, Natsuki: Melodic Emotional Expression Increases Ease of Talking to Spoken Dialog Agents, *Proceedings of the 9th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp.84–92(2021).
- [30] 織田朝美, 向田茂, 加藤隆: 表情の瞬間的変化の認知, *認知心理学研究*, pp.1–11, Vol.3, No.1(2005).
- [31] Hevner, Kate: The affective character of the major and minor modes in music, *The American Journal of Psychology*, pp.103–118, Vol.47, No.1(1935).
- [32] 前田陽一郎, 富士田響, 亀井且右, クーパーエリック: 顔画像による情動認識に基づくBGM自動作曲システム, *知能と情報*, pp.975–986, Vol.32, No.6(2020).
- [33] Fraisse, Paul: Rhythm and tempo, *The psychology of music*, pp.149–180, Vol.1(1982).
- [34] 松田憲, 一川誠, 矢倉由果里: BGMの音楽的特徴が聴覚的時間評価に及ぼす影響, *日本感性工学会論文誌*, pp.493–498, Vol.12, No.4(2013).
- [35] Buchanan, Janice Chapin: An exploratory study of preschool children’s synchronization of a selected rhythmic activity with music set at their heart rates, *University of South Florida*(1998).
- [36] Temperley, N.M.: Personal tempo and subjective accentuation, *Journal of General Psychology*, pp.267–287, Vol.78(1963).
- [37] Russell, James A: A circumplex model of affect., *Journal of personality and social psychology*, pp.1161–1178, Vol.39, No.6(1980).

- [38] Ekman, Paul and Friesen, Wallace V: Facial action coding system, Journal of personality and social psychology, Consulting Psychologists Press(1980).
- [39] 増田隆 , 高橋時市郎: Facial Action Coding System に基づく表情アニメーションの制作, 画像電子学会研究会講演予稿 画像電子学会第 232 回研究会講演予稿, pp.31-34(2007).
- [40] 蒲池みゆき, 吉川左紀子, 赤松茂: 変化速度は表情認知に影響するか?: 動画刺激を用いた顔表情認知の時間特性の解明, 電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, pp.17-24,Vol.98,No.311(1998).
- [41] 大島康, 森大毅, 中村真: 表情の変化速度がアバターの感情表出の自然性に与える影響, HAI シンポジウム (2008).
- [42] 岩宮眞一郎: 視覚と聴覚の相互作用に及ぼす音響再生系の音質の影響-オーディオ信号に帯域制限を加えた場合, JAS journal, pp.29-35,Vol.33(1993).
- [43] 森本政之, 石井正光, 前川純一: エコー検知限に及ぼす視覚刺激の影響, 日本音響学会誌, pp.229-235,Vol.46,No.3(1990).
- [44] 松本じゅん子: 音楽の気分誘導効果に関する実証的研究 人はなぜ悲しい音楽を聴くのか, 教育心理学研究, pp.23-32,Vol.50,No.1(2002).