

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：33937

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K02769

研究課題名（和文）音楽聴取時における演奏者-聴取者間の相互作用の解析：拍への同期度による検討

研究課題名（英文）Analysis of interaction between a performer and the audience: Effects of auditory feedback on the synchronization

研究代表者

水野 伸子（Mizuno, Nobuko）

愛知東邦大学・教育学部・教授

研究者番号：30440556

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、演奏者と聴衆の間の相互作用を音楽聴取時に付加した手拍子と演奏の拍時点との同期度から検討した。演奏者と聴衆の間の聴覚情報が双方向に伝達される条件と演奏配信のみの一方条件の間で比較をした。その結果、双方向条件の方が一方条件より演奏の拍時点と手拍子の同期度が高く、相手の過去の情報を利用し互いに調整し合う様子が認められ、同期に対する聴覚フィードバックの優位性が示された。音響情報の双方向性は演奏者と聴衆相互にフィードバック制御する関係性をもたらすことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義の1点目は、聴覚フィードバックという演奏と聴衆の相互作用を生じさせる要因から科学的に証明した点にある。2点目は演奏と手拍子の拍時点を音響解析から推定したことにある。MIDIで取得できない楽器など多様な演奏場面へ拡張可能となる。3点目は演奏と聴衆の相互作用を、聴取中の経時的変化から分析し、動的な様相を捉えられたことにある。このほかに、演奏者と聴衆の相互作用は演奏や鑑賞の質に影響し、本研究の成果は演奏場面や音楽教育へ汎用できる点に社会的意義が認められる。

研究成果の概要（英文）：The contrast between the unidirectional and bidirectional flow of the auditory information was tested in the yoked-control design. The participants of both groups were required to clap their hands in time to the same piano performance. While the pianist received the feedback sounds of the hand clapping of the bidirectional group, the pianist did not receive those of the unidirectional group. The onset time of each beat was estimated by a signal processing to the digital recordings of the piano sounds and those of clap sounds. The result revealed higher synchronization indices for the bidirectional condition than for the unidirectional condition. The cross-correlations made an analysis of inter-beat interval of each the performance and hand clapping. The result revealed that the performer and the audience for the bidirectional condition tried to match by mutually using the beat of the past beats.

研究分野：音楽心理学、音楽教育学

キーワード：同期 聴覚フィードバック 演奏者と聴衆 手拍子 相互相関

1. 研究開始当初の背景

生演奏と録音演奏との差異について先行研究では演奏者と聴衆との相互作用にあると見出し (Hargreaves, et al., 2005), 同期や同調の観点から検討されてきた (山本・藤井・三宅, 2004 ; Nakra & BuSha). 録音演奏では, 音響信号は演奏者から聴衆へ一方に伝達されるのみで出力側へのフィードバックはない. 生演奏環境下では, 出力された信号は相手の制御された信号となって元の出力者へフィードバックされ, 出力者自身の運動の制御も可能とする. 演奏者と聴衆との相互作用は相手からのフィードバックが関与していると考えられた.

2. 研究の目的

本研究は, 演奏者と聴衆の間の相互作用を音楽聴取時に付加した手拍子と演奏の拍時点との同期度から検討した. 演奏者と聴衆の間の聴覚情報が双方向に伝達される条件と演奏配信のみの一方向条件という聴覚フィードバックを条件統制した 2 群間で, 演奏の拍時点と演奏に合わせて叩かれた手拍子との同期度を比較して検討した. 仮説として, 双方向条件の方が一方向条件より演奏者と聴衆の同期度が高くなり, 相互に他者の出力に適応する行動を取ることが予想された.

3. 研究の方法

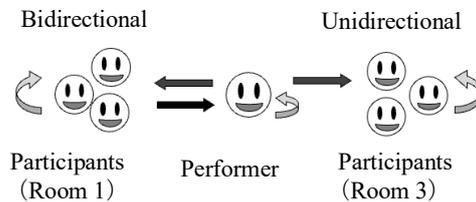
実験に参加した者は合計 68 名であった ($M = 19.79$ 歳, $SD = 0.28$, 男性 25 名, 女性 43 名). 同一の内容の実験を 2 回行い, それぞれ異なる参加者で実施した. 楽器を習った経験から専門的な音楽のトレーニングは認められず, リズム感覚に対して一般的な集団であるとみなすことができる.

Figure 1(b)は実験環境の概略図である. 3 室を準備し, 参加者集団を半数ずつ Room 1, 3 の 2 部屋に分け, 演奏者は Room 2 で電子ピアノ演奏を行った. 演奏された音響信号は演奏者のヘッドフォンおよび Room 1, 3 のスピーカーへ送られた. 参加者はリアルタイムに配信された演奏を聞きながら手拍子を行い, Room 1 の手拍子音のみ演奏者のヘッドフォンへフィードバックした. つまり, Figure 1(a)で表したように, 演奏者と Room 1 の参加者の音は双方向に伝わり (双方向条件), Room 3 は演奏配信のみの一方向で手拍子音の演奏者へのフィードバックはない (一方向条件). 演奏および手拍子のデータは DAW ソフトを用いてパソコンに記録した. 映像は実験の開始と終了を伝える合図に使用した. 使用した音楽は計 3 曲 (W1, 2, 3) で, W1 はシュトラウス I 世作曲《ラデツキー行進曲》(2/2 拍子, 40 小節), W2 はモーツァルト作曲《きらきら星変奏曲ハ長調 (主題)》(2/4 拍子, 24 小節), W3 は三木たかし作曲《アンパンマンのマーチ》(4/4 拍子, 20 小節)であった.

独立変数は双方向条件と一方向条件の 2 つの聴覚フィードバック条件であり, 実験は双方向条件と一方向条件を入れ替えた計 2 セッションを 3 曲それぞれに実施した. 同様の実験を別の参加者で 1 回実施した. したがって, 実験デザインは 2 (双方向・一方向条件) × 3 (曲数) × 2 (実験数) である.

解析に用いた特徴量はピアノ演奏と手拍子の拍時点の差分と演奏と手拍子それぞれの拍間隔 (IOI: the inter onset interval) である. 前者は曲による BPM の違いを考慮して正規化した誤差 (NE: Normalized error) を用いた

(a) Auditory feedback.



(b) Diagram of the experimental environment.

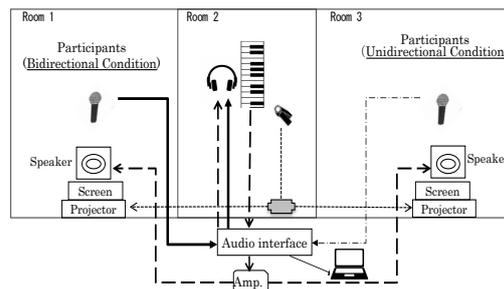


Figure 1. Envelope, output waveform of LPF (low pass filter), its derivative wave and local peak, based on a waveform of piano signal.

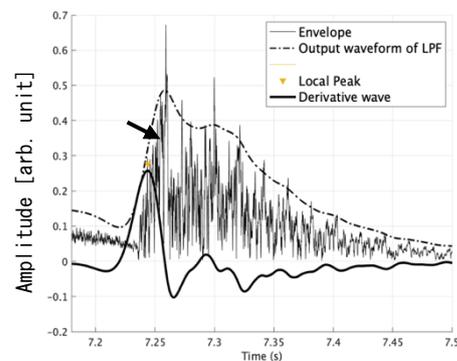


Figure 2. Onset time detection process of piano signal. Envelope, output waveform of LPF (low pass filter), its derivative wave and local peak, based on a waveform of piano signal.

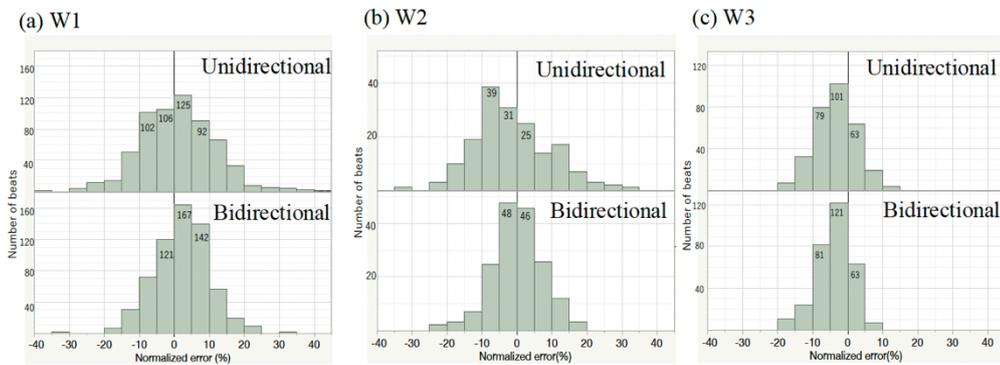


Figure 3. Distribution of normalized errors between the onset time of the piano performance and handclaps.

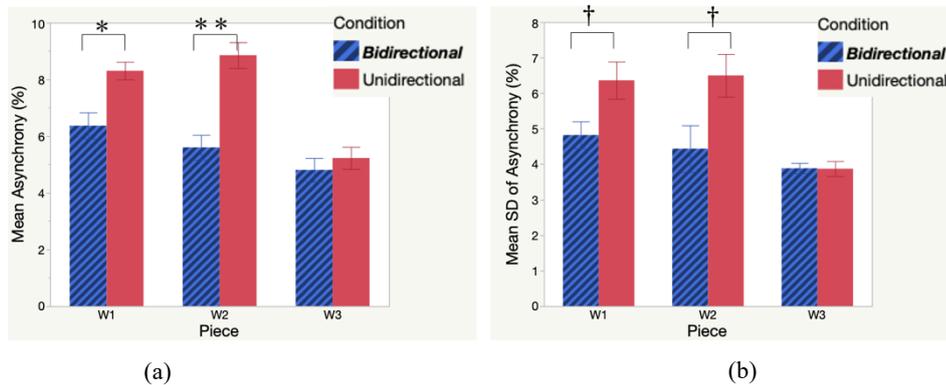


Figure 4. Mean asynchronies (a) and mean standard deviation of the Asynchronies (b) in percentage, shown by pieces and auditory feedback as the factors. The Asynchronies indicate root square of normalized error. Error bars denote the standard error of the means. The contrasts between the bidirectional and unidirectional conditions with the asterisks reached the significant level ($p < .01(**)$, $p < .05(*)$); those with the dagger (\dagger) tended to be significant ($p < .1$).

4. 研究成果

(1) 音響データから拍時点の推定

本実験の参加者は聞こえた音響情報を手がかりに反応する。分析対象は演奏の拍時点と手拍子の非同期性であることから、二つの拍時点は同一の方法で推定することが妥当であると考え、音響解析から拍時点推定した。処理は MATLAB R2020b で行った。1 拍のピアノ音に対する拍時点推定のプロセスは次のようになる。Figure 2 はヒルベルト変換後の包絡線 (細線), カットオフ周波数 20 Hz によるゼロ位相ローパスフィルタ出力波形 (一点鎖線), 時間微分波形 (太線) を任意単位で比較表示した。横軸は時間, 縦軸は振幅である。人が音を知覚するタイミングは音が立ち上がった時, つまり急激に音量が増した時であると仮定される。したがって, 音量急増時を検出するために, ローパスフィルタ出力波形を時間微分しその微分波形が最大になる時点, つまり微分係数の最大値点の横軸の時刻を演奏の拍時点とみなした。手拍子の拍時点もピアノ音と同じパラメータで推定した

(2) 演奏の拍時点と手拍子の正規化誤差の比較

参加者は四分音符間隔の手拍子を 3 曲ともに行なった。人の感じる拍は音楽のリズムに合わせ階層的に変化し, 基本拍のテンポを整数倍したグルーピングや整数で割った分節化が行われる。四分音符レベルが参加者の感じる拍節であったと判断し, 3 曲とも四分音符レベルの手拍子を分析対象とした。Figure 3a,b,c は式 (1) で計算した正規化誤差の分布を曲ごとに表したものである。全 4 セッションを合わせたデータから曲ごとの大まかな傾向を把握した。演奏者と参加者間の聴覚情報の伝達が双方向の場合 (上図: Bidirectional) と演奏配信のみの一方向の場合 (下図: Unidirectional) とに分けて表示した。ヒストグラム横軸上の「0」が演奏拍時点であり, 正の符号値は手拍子が演奏拍時点より遅く叩かれたことを, 負の符号値は手拍子が演奏より早く叩かれたことを意味する。3 曲とも双方向条件の方が一方向条件より分散が小さく, 演奏の拍時点と手拍子の同期性が高いことが示された。W2 の一方向条件の手拍子は演奏とずれ早く叩く傾向にあることが示され, W3 は他の曲に比べ両条件ともに手拍子が演奏の拍時点に集中し, 同期性が高い傾向にあることが確認された。

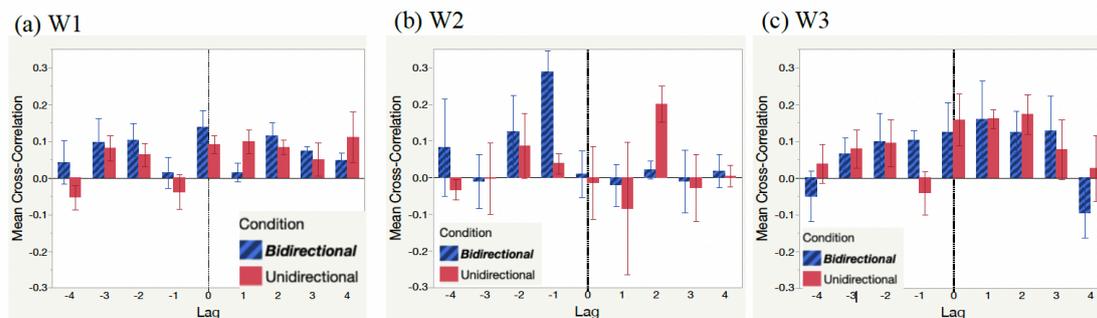


Figure 5. Mean cross-correlation coefficients of the interonset interval timing for handclaps and Piano performance beat by auditory feedback and lag direction. Error bars denote the standard error of the means.

次に演奏と手拍子の拍時点の正負の差分を全てずれと判断し、正規化誤差の二乗平方根から平均値の比較をした。セッションごとに算出した二乗平方根正規化誤差の平均値と標準偏差からなる一つの標本を作り、演奏の拍時点と手拍子の同期度と散布度を曲要因 (W1, W2, W3) と聴覚フィードバック要因 (双方向・一方向条件) の 2 元配置分散分析から検定した。Figure 4 は平均値 (a) と標準偏差 (b) の聴覚フィードバック要因による比較を曲ごとに表したものである。実験要因の効果を確認するために各指標について 3 (W1, W2, W3, 参加者内要因) × 2 (双方向条件 vs. 一方向条件, 参加者間要因) の分散分析の結果, 平均値と標準偏差の両指標とも各主効果は 1%水準で有意であり, 効果量 η^2 は全て大きかった (Piece: $F(2, 18) = 19.79, p < .0001, \eta^2 = .40(M), F(2, 18) = 8.55, p = .003, \eta^2 = .34(SD)$, Condition: $F(1, 18) = 30.28, p < .0001, \eta^2 = .30(M), F(1, 18) = 10.08, p = .005, \eta^2 = .20(SD)$). 交互作用は平均値が 5%水準で有意であり, 標準偏差は有意傾向, 効果量 η^2 はともに中程度であった (Mean: $F(2, 18) = 5.79, p = .011, \eta^2 = .12, SD: F(2, 18) = 2.73, p = .092, \eta^2 = .11$). 双方向と一方向条件の対比について曲ごとに t 検定 (両側検定) を行った結果, W1 と W2 において平均値では双方向条件が有意に小さく, 標準偏差では有意傾向があり, W3 はどちらも有意ではなかった (Figure 4).

以上の二乗平方根正規化誤差の平均値と標準偏差を基にした分析結果から, 演奏の拍時点と手拍子の同期度と散布度は, W1 と W2 において双方向条件の方が一方向条件より高く, W3 の差はほとんどなかったことが示された。

(3) 演奏と手拍子の拍周期 (IOI) による相互相関解析

聴覚フィードバックが双方向の条件では演奏者は手拍子音が聞こえることから, 手拍子に演奏を恣意的に合わせる可能性も客観的には排除できない。演奏者と参加者のリーダー / フォロワー役割を調べるために相互相関解析をした。相互相関解析は四分音符間隔間で行った。相関解析は片方の時系列を順次ずらしてもう一方との相関係数を算出し, その符号から演奏と手拍子のリーダー/フォロワー関係の傾向を調べるものである。正の Lag で正の相関がある場合は手拍子が先行する演奏の拍間隔を模倣していることを表し, Lag 0 に相関がある場合は演奏と手拍子がリアルタイムに同期し, 負の Lag で正の相関がある場合は演奏が先行する手拍子の拍間隔を模倣していることを表す。Lag の数値はフォロワーが何拍前のリーダーの拍を模倣しているのかを示す。Figure 5a,b,c に, 前後 4 拍までの相関解析結果を曲ごとに 4 セッションの平均値から表した。解析は MATLAB を使用した。

双方向条件では次のような傾向が示された。W1 では弱い正の相関が全体的に見られ, 相関係数は Lag 0 の時に最も大きく, Lag-1,1 を除き, 正負の値が進むにつれ次第に小さくなった。このパターンは演奏者と参加者が同時に進んだり, 互いに直前 2, 3 拍の情報を同程度に利用して追従したりした傾向にあったことを表している。W2 では Lag が負の符号値, 特に-1 で正の相関が見られ, 演奏者が 1 拍前の手拍子情報を利用して追従する傾向にあったことを表している。W3 では Lag が-3 から 3 に亘って弱い正の相関が見られ, 相関係数は lag の符号が正である方が大きかった。演奏者と参加者が互いに直前 3 拍までの情報を利用して追従し, その度合いは参加者の方が演奏者より高い傾向にあったことを表している。以上の結果から, 演奏者と参加者のリーダー/フォロワー役割は楽曲間で異なり, 演奏者側が一方的に参加者へ合わせた傾向は認められなかった。

一方, 一方向条件では 3 曲ともに相関係数は Lag が正の値の方が負の値より大きく, 参加者が演奏を追従している傾向にあったことが確認された。

(4) 考察

本研究で得られた成果は次のようになる。演奏の拍時点と手拍子の非同期性は, 双方向条件の方が一方向条件より小さかった。このような同期に対する聴覚フィードバックの優位性を先行研究 (Goebel & Palmer, 2009 ; Konvalinka, et al., 2010) では 2 重奏やタッピングの相手との 2 者

間で明らかにした。本研究は個人対個人の関係ではなく、演奏者の演奏に集団の聴衆が手拍子を合わせるという個人対集団の関係において、同期に対する聴覚フィードバックの優位性を示した。これが先行研究と異なる点である。

また、先行研究では双方向条件と一方向条件の実験を別々に実施しており、条件間の差は入力刺激である演奏（または相手のタッピング）の違いによる可能性も排除できない。本実験は双方向条件と一方向条件を同時に実施し、条件以外の状況をほぼ同一にコントロール（yoked control）したことから、条件間で差が生じた要因は双方向と一方向の条件にあると考えられた。音響情報の伝達が双方向と一方向の違いは単に音の経路の違いのみならず、Figure 6 の双方向条件に形成されたフィードバックループの有無にあると考えられた。双方向条件はこのループによりフィードバック制御を繰り返すことで演奏者と聴衆の同期は維持される。

Figure 4 で示した演奏の拍時点と手拍子の非同期性の条件間の差は曲によって異なり、W1 と W2 は大きく W3 は有意ではなかった。演奏者が聞く参加者の手拍子のリズムは3曲ともに四分音符間隔であるが、参加者は曲ごとに異なる楽譜情報のリズムを受け取る。1拍を分割したリズムは次の拍時点予測する有力な手掛かりになる（Goebel & Palmer, 2009）。Figure 1(c) で表したそれぞれの実験曲に1拍を分割するリズムがどの程度含まれるのかを、該当拍数の総拍数に占める割合から調べた。W3 は77%と最も高く、次いでW1 の26%、W2 の6%であった。W3 は1拍を1/2 や1/4 に分割した短い音価の音が多数存在している。このような拍を単純分割する音の存在は周期性や規則性を見出しやすく、音楽のリズムと拍節とを構造的に把握する拍節的体制化を容易にし、演奏の次の拍時点の予測性を高めると期待された。したがって、W3 の一方向条件の非同期性が小さかったのは、他の曲以上に時間の構造化が容易で参加者が自律的な制御をしやすいと考えられた。一方、旋律が拍と同一リズムのため拍を分割するリズムをほとんど有しないW2 の一方向条件は、Figure 3(b) で表されたように、手拍子が演奏の拍時点から乖離して早く叩く傾向が認められた。その要因には、参加者はW2 において分割リズムがほとんどないため時間の構造化がなされにくく、次の拍時点の予測が困難であったことが考えられた。しかし、双方向条件ではFigure 5 に示されるように演奏者がフィードバックされる手拍子の間隔を模倣して両者の同期を継続させたと解釈できる。

以上のことから、本研究の結論として次のことが示唆された。演奏者と聴衆の間の聴覚情報が双方向に伝達される条件と演奏配信のみの一方向条件の間で比較をした結果、双方向条件の方が一方向条件より演奏の拍時点と手拍子の同期度が高く、相手の過去の情報を互いに利用し調整し合う様子が認められ、同期に対する聴覚フィードバックの優位性が示された。音響情報の双方向性は演奏者と参加者相互がフィードバック制御する関係性をもたらし、このフィードバックループが両者の同期を維持したり高めたりすることが示唆された。同期する行為によってもたらされるフィードバック制御する関係性は演奏者と聴衆の相互作用を促すと考えられた。

生演奏と録音演奏の差異が演奏者と聴衆の相互作用にあり、この相互作用を生じさせる要因の一つにフィードバック制御があるとする本研究の成果から、生演奏のライブが盛り上がるのもフィードバックループが関与する可能性が考えられた。この点についてや、参加者が集団であることはこのフィードバックループにどのような動的な影響を与えるのかといった点についてはまだ未解明であり、このような音楽を介したフィードバック制御の効果については今後追及していく課題である。

References

- Goebel, W., & Palmer, C. (2009). Synchronization of timing and motion among performing musicians. *Music Perception*, 26(5), 427-438.
- Hargreaves, D. J., MacDonald, R. & Miell, D. (2005). How do people communicate using music? *Musical communication*. Oxford University Press. 1-21.
- Konvalinka, I., Vuust, P., Roepstorff, A., & Frith, C. D. (2010). Follow you, follow me: continuous mutual prediction and adaptation in joint tapping. *Quarterly journal of experimental psychology*, 63(11), 2220-2230.
- Nakra, T. M. & BuSha, B.F. (2014). Synchronous sympathy at the symphony: Conductor and audience accord. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 32(2), 109-124.
- Phillips-Silver, J., Aktipis, C. A. & Bryant, G. A. (2010). The ecology of entrainment: Foundations of coordinated rhythmic movement. *Music Perception*, 28(1), 3-14.
- 山本知仁・藤井倫雅・三宅美博 (2004). 手拍子を付加した場合の演奏者－聴取者間相互作用の解析－, 計測自動制御学会論文集, 40(2), 207-209.

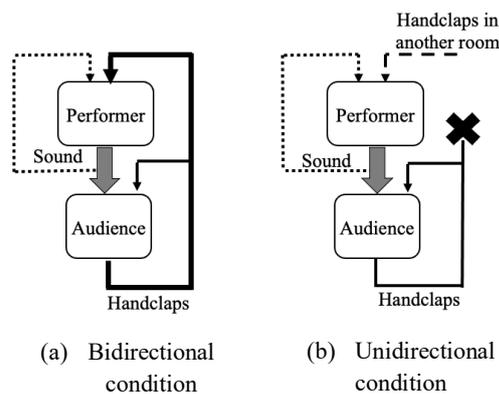


Figure 6. Control mechanism for entrainment between the performer and the audience with handclapping.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 水野 伸子, 津崎 実	4. 巻 2022-MUS-134 No.9
2. 論文標題 演奏者と「聴衆」間の聴覚フィードバックの有無による手拍子同期の比較	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告Vol.2022-MUS-134 No.9	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 水野 伸子, 津崎 実	4. 巻 28(1)
2. 論文標題 演奏者と「聴衆」間の聴覚情報の双方向性が同期に与える影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 音楽知覚認知研究	6. 最初と最後の頁 3-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 水野伸子, 津崎 実	4. 巻 秋季研究発表会
2. 論文標題 拍知覚における演奏者 - 聴取者間相互作用の解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本音楽知覚認知学会令和1年度秋季研究発表会資料	6. 最初と最後の頁 55-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 水野伸子・津崎実	4. 巻 49-2
2. 論文標題 幼児期における拍知覚の発達：同期度による検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 音楽教育学	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 水野 伸子, 津崎 実
2. 発表標題 演奏者と「聴衆」間の聴覚情報の双方向性が同期に与える影響
3. 学会等名 第32回音楽の科学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水野 伸子, 津崎 実
2. 発表標題 演奏者と「聴衆」間の聴覚フィードバックの有無による手拍子同期の比較
3. 学会等名 音学シンポジウム2022（第131回音楽情報科学研究会・第137回音声言語情報処理研究会共催研究会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水野 伸子, 津崎 実
2. 発表標題 演奏者と「聴衆」間の同期に曲による違いが生じる要因の検討
3. 学会等名 日本音楽教育学会第52回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水野 伸子, 津崎 実
2. 発表標題 音楽聴取時における演奏の拍と聴取者の手拍子による相互同調の分析
3. 学会等名 日本音楽教育学会第51回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野伸子, 津崎 実
2. 発表標題 音楽聴取時における演奏者-聴取者間の相互作用による同時性の解析
3. 学会等名 日本音楽教育学会第50回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野伸子, 津崎 実
2. 発表標題 拍知覚における演奏者 - 聴取者間相互作用の解析
3. 学会等名 日本音楽知覚認知学会令和1年度秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nobuko Mizuno, Minoru Tsuzaki
2. 発表標題 The Perception of the Musical Beat among Japanese Young Children: Aspects of the Degree of Synchrony
3. 学会等名 International Symposium on Performance Science, Melbourne Conservatorium of Music (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 水野伸子・石井玲子ほか	4. 発行年 2020年
2. 出版社 教育情報出版	5. 総ページ数 189
3. 書名 表現者を育てるための保育内容「音楽表現」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	津崎 実 (Tsuzaki Minoru) (60155356)	京都市立芸術大学・音楽学部・教授 (24301)	
研究分担者	福本 徹 (Fukumoto Toru) (70413903)	国立教育政策研究所・生涯学習政策研究部・総括研究官 (62601)	
研究分担者	安藤 久夫 (Ando Hisao) (90387457)	岐阜女子大学・公私立大学の部局等・教授 (33702)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	吉田 昌春 (Yoshida Masaharu)	岐阜大学・名誉教授	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関