

## 呼吸とリズムを合わせる音楽呈示の可能性 呼吸とフレーズの位相関係の違いの効果

佐藤 尚<sup>†1</sup> 大須賀 美恵子<sup>†2</sup> 守谷 健弘<sup>†1</sup>

音楽呈示において呼吸情報を活用するデバイスの開発をめざし、呼吸情報に基づいて呈示する音楽パラメータを変える研究を行っている。呼吸指示によって呼吸をある程度誘導しつつ、その呼吸に合わせた再生速度で音楽を呈示することで、新たな音楽体験の創造を目指している。本発表では全体の概念の紹介とともに、呼吸を指示によって統制しつつ、その呼吸位相とフレーズ位相の差を変えた場合に聴取感覚に変化が生じるかを簡易的に検討した結果を紹介する。

### Presentation of musical rhythm synchronized with respiration.

#### - Effect of phase difference between respiration and phrases -

TAKASHI G SATO,<sup>†1</sup> MIEKO OHSUGA<sup>†2</sup>  
and TAKEHIRO MORIYA<sup>†1</sup>

This paper introduce a novel concept that musical parameters are modulated by respiration (breath) in music presentation. In our presentation device, respiration is guided by respiration instructing stimulation which can be followed with less effort, and tempo of music is changed to match the respiration. We have shown that synchronized presentation of music with respiration result in higher subjective evaluation than desynchronized presentation. In this presentation, we discussed about change in impression caused by shifting the phase between respiration and music. Some result of pirot experiments are shown.

<sup>†1</sup> NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
NTT Communication Science Labs.

<sup>†2</sup> 大阪工業大学大学院工学研究科

### 1. はじめに

音楽と呼吸は深い関係を持つことが知られている<sup>2),3)</sup>。呼吸変化は受動的に音楽を聴くだけでも生じ、特に音楽経験者では安静時からの呼吸周期の変化が大きいことが知られている<sup>1)</sup>。演奏者と聴取者、または演奏者間でも呼吸の相互引き込みがみられるという報告もある<sup>7),10)</sup>。最近の著者らの研究では、その呼吸の引き込まれ方に個人特性があること、また繰り返し同一音楽を聴くことによって呼吸の位相が揃う確率が高くなることが示唆されている<sup>6)</sup>。これらの研究から、音楽呈示において呼吸情報を積極的に活用する効果や意義が高いことが推測される。しかしながら、呼吸情報を効果的に音楽呈示に活用する方法は知られておらず、またその因果関係も不明な点が多い。

そこで、我々は音楽鑑賞において呼吸情報を積極的に活用する音楽呈示を研究している。音楽的なタイミングに呼吸のタイミングが引き込まれることから、逆に呼吸タイミングに合わせて音楽呈示のタイミングを変化させる、または呼吸タイミングを音楽的タイミングに誘導することによって、相互誘導的な状態を作り出し、新たな音楽体験を実現するインタフェースの開発を目指している。そのためには音楽タイミングと呼吸タイミングの一致や不一致をコントロールできる装置が必要となるが、我々はこれを図1に示すように、体性感覚を用いた呼吸指示、呼吸状態に基づく再生速度制御で実現しようとしている。

詳しくは後述する上記の装置を用いることで、呼吸周期と音楽再生速度の条件をある程度コントロールしながら呼吸と音楽の関係を検証することが可能である。現在までの実験で、単純な繰り返しのドラム音列を呈示する場合、ドラム音列の1フレーズの長さを統制された呼吸周期に合わせた場合と変えた場合で印象が異なることが主観評価結果から示された。本発表では新たに、両者の位相関係（フレーズの開始に吸気の始まり、呼気の始まりが一致するのか）に着目した場合の基礎的な検討結果を報告する。

### 2. 装置概要

本研究で用いる実験装置についてその概要を述べる。

#### 2.1 ファントムセンセーションを用いた呼吸誘導装置

本研究では、呼吸統制や調息のように、強く意識して呼吸を変容させるのではなく、逆に呼吸を入力としてこれに同期してシステムを動かすのでもなく、その中間的な位置づけとし

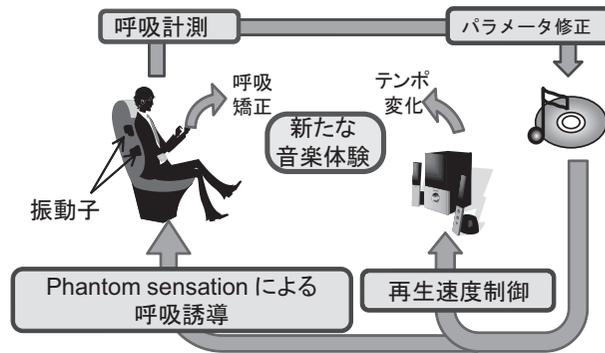


図 1 呼吸と音楽の相互誘導を目指す音楽提示

Fig. 1 Music interface using interactions between tempo and respiration.

て、強く意識しなくても呼吸が合ってしまうという状態を作り出すことを目標とした呼吸誘導装置を用いている。例えば文献<sup>9)</sup>は使用者の呼吸を入力とする「癒し」のシステムであるが、立体映像、音、風、椅子の動きがすべて使用者の呼吸に同期して動き、使用者が自分の呼吸の波に乗っているような感覚を与えるものである。しかしながら、ローリングや椅子の動きなど機械的な刺激の生成は大掛かりになるため、本研究ではより簡便な装置によって呼吸を誘導できるよう、ファントムセンセーションを利用して、背中を上下する体性感覚刺激を与えて呼吸誘導を行っている。

我々の呼吸誘導装置は以下のような特徴を持っている。

- 使用者の着座姿勢の変化による影響を低減するため、装着可能な刺激装置である。
- 既存研究に倣いスピーカ型振動子を用いるため、振動数のコントロールが簡単である。
- 連続的な移動感覚を与えるためにファントムセンセーションを利用している（ファントムセンセーションとは、触振動刺激を 2 点に同時に提示すると、2 点間の中間の 1 点のみに刺激が知覚される現象で、情報伝達やゲームにも利用されている<sup>4)</sup>。）

PC で作成した振動波形（音）を、デジタル・ステレオ・アンプ（RSDA-202, 株式会社ラステーム・システムズ）で増幅して、直径 5 cm のフルレンジスピーカ（NSW2-326-8A, AuraSound）に出力する。スピーカを呼吸ピックアップ装着用ベストの背中上下 2 箇所にマジックテープを用いて取り付ける（図 1）。用いたベストは呼吸計測用のもので、脇がマジックテープになっていて、体にフィットするよう調整できる。

全身振動における急性の症状が起こりやすい周波数は、共振の起こる数 Hz から 40Hz 以

下に集中しており、感知閾値、負の影響が生じる限界強度とともに、周波数が高くなるほど上昇する。一方、周波数を上げると可聴域にはいり、聴覚刺激にもなってしまう。そこで、負の影響が小さく、触覚としては感知されやすく、聴覚として感知されにくい帯域として 50 Hz ~ 70 Hz の振動を用いることにした。

予備検討結果<sup>5)</sup> から、振動刺激を腰から肩の方向に提示した際に吸気方向を合わせるようにした。吸気時のみに誘導刺激を与えるため、過度の呼吸統制感を与えないと期待される。呼吸教示装置による吸気刺激の提示時間は 1 シーンシーケンスの持続時間が呼吸周期の 40% 程度とし、またファントムセンセーションの刺激は中間位置での感覚量が低下しないよう、振幅を持ち上げている。

## 2.2 呼吸情報処理及び音楽提示

呼吸ピックアップセンサ（TR-751T, 日本光電）を実験参加者に装着することで呼吸をモニタリングしている。センサの出力は増幅したのちに USB 接続データ収集デバイス（USB-6210, National Instruments）を介して PC へ入力されている。オンライン的に呼吸の状態（吸気、呼気）を検出するため、呼吸波形はヒルベルト変換により求めた解析信号を用いて位相を計算している。数百 ms 以内の時間遅れで呼吸状態を検出している。音楽提示は MIDI 制御で行っており、本実験では 1 フレーズ 4 秒のドラム音列を利用している。実験参加者に取り付けた呼吸バンドから呼吸情報を計測しながら、呼吸周期と 1 フレーズの長さが一致するように再生速度を変更して再生を行うことができる。

## 3. 実 験

実験手順は基本的に以下の手順で行う。実験 A は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の審査に基づき大阪工業大学学長の承認を得て、また実験 B は NTT コミュニケーション科学基礎研究所の研究倫理委員会の承認を得た上で実験している。

実験参加者にベストを装着させ、脇のマジックテープを調整してベストを体に密着させた。上部振動子は第 4 頸椎から座面までの 26%、下部振動子は 58% の位置を基準として取り付ける。呼吸センサを取り付け、着座姿勢を取ってもらう。下部振動子の振幅を徐々に弱く、上部振動子の振幅を徐々に強くする刺激を与えることでファントムセンセーションを生じさせ、腰から背中にかけて連続的に振動源が動いているように錯覚させる。その振動源に合わせて息を吸うよう練習してもらう。

その後、実験参加者の呼吸周期を教示によって調節し、その呼吸周期に同期させたドラム音列と同期させないドラム音列を提示した場合を比較することで、ドラム音に対する聴取の

変化が生じるかどうかを、下記の節 3.1, 3.2 にて検討した。本実験における音楽と呼吸の同期とは、音楽のフレーズの始まりと呼吸の吸気開始が一致し、かつ両者の周期が等しい状態としている。

### 3.1 実験 A

実験 A では 2 条件を連続呈示して実験を行う。振動刺激の呼吸教示と同期した音楽を呈示する条件と呼吸教示の周期よりも短いフレーズの長さで音楽を呈示する条件（音楽速い）を比較する場合。呼吸教示と同期した音楽を呈示する条件と呼吸教示の周期よりも長いフレーズ時間で音楽を呈示する条件（音楽遅い）の場合を比較した。より具体的には呼吸検知開始後、3 呼吸目の吸気開始にほぼ一致するよう呼吸教示の振動が開始され、その後 2 周期目に前条件で音の呈示を開始し、60 s の間、音呈示と呼吸教示を行っている。音呈示の終了後 10 s の無音区間を挟んだのちに、後条件で音呈示を行っている。その後アンケート調査を行った。また、前後効果をみるために、前条件と後条件を入れ替えた実験も行っている。なお、被験者間で前後条件のどちらから始めるかはランダム化されている。

### 3.2 実験 B

先の報告により<sup>8)</sup> 呼吸周期とフレーズ周期の長さが主観評定に影響を与えることがわかったため、本実験では呼吸の位相とフレーズ位相が鑑賞に影響を与えるのかを評価することとした。そこで、節 3.1 における同期条件、すなわち音楽のフレーズの始まりと呼吸の吸気開始が一致し、かつ両者の周期が等しい状態に対して、音楽フレーズの始まりと呼吸の吸気開始が一致し、かつ両者の周期が等しい状態を反転同期条件として設定する。このとき下部から上部に移動する振動刺激に対して吸気を合わせることは同じであるため、刺激の終了（吸気の終了）後に音楽フレーズが始まる。呼吸周期に対して音楽が速い、遅いことは主観評定に大きな違いを生じなかったため<sup>8)</sup>、非同期条件として音楽が振動刺激によって教示する呼吸周期よりも遅い場合を設定し、速い場合は扱わなかった。同期条件を呈示したのちに非同期条件を呈示し、その後反転同期条件を呈示した。3 条件の違いを 7 段階の主観評定にて回答してもらった。主観評定は音楽との一体感や没入感、呼吸の合わせやすさの 2 項目を質問した。

## 4. 結果

### 4.1 実験 A

音楽と呼吸が同期している場合と、同期していない場合では、有意に一体感、没入感と呼吸の合わせやすさといった主観評定値に差があることを報告した<sup>8)</sup>。今回は吸気ピークの高さをさらに詳細に解析した。同期・非同期と提示順序の 2 要因の分散分析の結果、交互作用

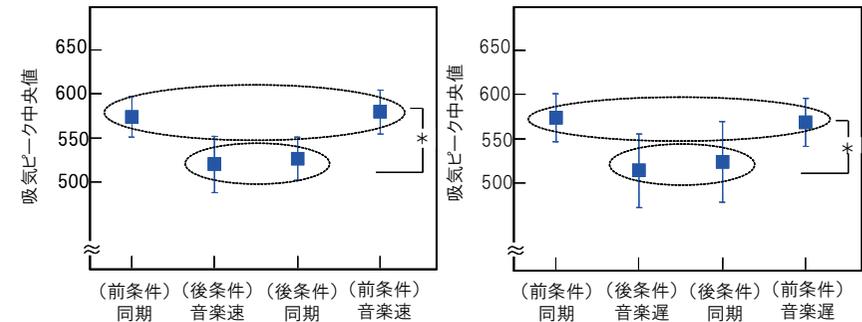


図 2 呈示順序と吸気ピークの中央値の関係。音楽が遅い場合、速い場合のいずれでも、前条件のほうが吸気ピークが大きく、後条件では小さくなっている。有意水準 5%。

Fig.2 Order of experiment, effects the peak amplitude of inspiration.

に有意差があった。結果を図 2 に示す。

### 4.2 実験 B

結果を図 3 に示す。繰り返しのある分散分析により、1%の有意水準で差があるとされた。本実験は未だ予備的な検討結果を行っている段階のため、データには NTT コミュニケーション科学研究所にて行われたオープンハウスにてデモ展示を行った際の簡易アンケート結果も用いている。

## 5. 考察

本研究は、呼吸を緩やかに誘導しつつその呼吸状態に合わせて音楽の再生速度を変更するという、我々の最終目的に対し、そもそも呼吸と音楽を合わせることに意味があるのかどうかを検証するための実験であった。先の報告では呼吸周期と音楽フレーズの長さが一致している場合と一致しない場合に、両者が一致しているときの方が一体感、没入感や呼吸の合わせやすさといった評価が高いことを示した。今回は呼吸波形そのものに何らかの影響があるのかを調べるため、吸気ピークの高さを同期と非同期の条件で比較した。

結果、音楽と呼吸の同期、非同期の条件と、前条件、後条件の間で交互作用がみられた。データを見る限りは前後条件の影響が大きく、我々が最も関心のある同期と非同期の条件の影響は相対的に小さい。前後条件の差が大きいくことに、ひとつ考えられる理由は実験参加者が呼吸教示に慣れたために必要以上に吸気をしなくなったことである。しかし、実験参加者には呼吸教示にある程度は慣れてもらった上で実験を行っているため、ここまで

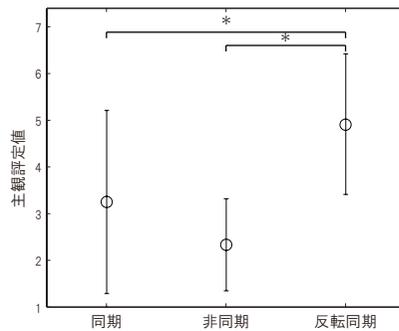


図3 呼吸と音楽が同期, 非同期, 反転同期した場合の「一体感, 没入感」に対する主観評定の違い. 繰り返しなし一要因分散分析の結果, 1%の水準で有意差があった. \*は下位検定での有意差を示す.

Fig.3 Comparisons of 7 level subjective evaluation about “A sense of unity”. Comparisons were made between Synchronous, asynchronous and opposite synchronous presentation of music under respiration instruction.

顕著な差が出るとは考えにくい. 実験参加者が実験開始に対して意気込んだ影響が前条件で顕著に出ているとも考えられる. 考えられるもう一つの理由は誘導されている呼吸周期 (4.5 s) が実験参加者の普通の呼吸周期よりわずかに早いことである. この仮定が正しければ, わずかに早い呼吸周期に対してホメオスタシスを維持するために実験参加者が吸気量を減らすことで対応している過程が, 吸気ピークの低下として見られると説明できる. いずれの場合においても音の印象への影響は大きくないと思われるが, 今後は実験参加者の平均呼吸周期に音楽フレーズの長さを合わせる条件に変更することも考える必要がある.

呼吸周期と音のフレーズ長さを一致させた状況で, 両者の位相関係をずらす場合も検討した. その結果, 簡易的なアンケートの解析の限りではあるが, フレーズの開始と吸気の開始が合う場合 (同期) と, フレーズの開始と呼気の開始が合う場合 (反転同期) では異なる主観評価を得ることができた. 傾向としては反転同期の方が一体感や没入感が高いが, 同期条件の方が良いというコメントも得られており判然としていない. デモ展示のアンケートも含まれており, 実験としては呈示順序やデモの内容説明に伴うバイアスが乗っている可能性も否定できないため, 現段階では確定的なことは言えない. しかし, 音楽のタイミングと呼吸のタイミングの違いが印象を変えかつその合わせ方には人の好みがあるということは, 同じ音楽を繰り返し聴取していると人それぞれの呼吸パターンが現れるという我々の結果<sup>6)</sup>にも合致しているため, 呼吸と音楽の位相関係を調べることに意味はあると考えられる. 今

後は実験条件をさらにコントロールして検証していきたい.

## 6. 結 論

呼吸を誘導しつつ音楽の再生速度を呼吸に合わせるといふ我々の最終的な目標の効果を調べるために, 基礎的な検討を行っている. すでに, 呼吸と音楽の周期に関しては主観評価が異なることが分かっていたが, 現在の呼吸指示装置によって呼吸を誘導している状況では音楽の同期や非同期の違いが呼吸波形そのものに影響を与える可能性は低く, むしろ呼吸指示による影響の方が大きい可能性が高い. 呼吸と音楽の位相関係が音楽鑑賞において影響を与える可能性を調べた結果, 位相関係の違いが音楽鑑賞の印象をある程度変える可能性が示唆された.

## 参 考 文 献

- 1) L. Bernardi, C. Porta, P. Sleight: Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of musics in musicians and non-musicians: the importance of silence, *Heart*, Vol.92, pp.445–452 (2006).
- 2) L. Bernardi, etc.: Dynamic interactions between musical, cardiovascular, and cerebral rhythms in humans, *Circulation*, Vol.119, No.25, pp.3171–3180(2009).
- 3) F. Haas, S. Distenfeld, K. Axen: Effects of perceived musical rhythm on respiratory pattern. *J Appl Physiol*, Vol.61, No.3, pp.1185–1191(1986).
- 4) H. Kato, Y. Hashimoto, H. Kajimoto: Basic Properties of Phantom Sensation for Practical Haptic Applications. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.6191, pp. 271–278 (2010)
- 5) 大須賀 美恵子 等: ファントムセンセーションを利用した呼吸誘導. ヒューマンインタフェースシンポジウム, p.2517D (2011)
- 6) T. G. Sato, M. Ohsuga, T. Moriya: Increase in synchronization of respiration by repeatedly listening to the same piece of music. *IEEE ISICIT2010*, pp.pp.1035–1038(2010)
- 7) T. Yamamoto, N. Fujii, Y. Miyake: A musical communication between a player and a listener. *IEEE CIRA*, pp.330–335 (2003).
- 8) 佐藤 尚, 大須賀 美恵子, 守谷 健弘: 呼吸とリズムを合わせる音楽呈示の可能性. ヒューマンインタフェースシンポジウム, p.2514D (2011).
- 9) 青山泰史 等:呼吸を介した癒しシステム “The Mind Wav” の開発と評価. バイオフィードバック研究, Vol 31, pp.27–34,(2004).
- 10) 山本 知仁, 三宅 美博:共同演奏における演奏者間コミュニケーションの解析. 計測自動制御学会論文集, Vol40, pp.563–572,(2004).