

## 音楽の引き込み効果を用いた歩行ペース誘導アプリの検討

### Consideration of Walking Support Application Based on Music Entrainment Effect

大坪 敦<sup>†</sup>      諏訪 博彦<sup>†</sup>      荒川 豊<sup>†</sup>      安本 慶一<sup>†</sup>  
 Atsushi Otsubo   Hirohiko Suwa   Yutaka Arakawa   Keiichi Yasumoto

#### 1. はじめに

近年、ウォーキングは高血圧、糖尿病のような運動不足に起因する生活習慣病の予防・改善対策として注目されている。他方で世界的にスマートフォン端末の普及が進んでおり、これらの端末を用いたウォーキングサポートシステムの必要性、需要が高まっている。先行研究として我々は、心拍数予測に基づくウォーキング支援システム [1] を開発している。本システムにより、歩行者の条件に合わせた歩行ルートと歩行ペースを提示する事を実現している。しかしながら歩行ペースを制御する手段は実装されていない。

歩行ペースを制御する手段として、画面や音声によって早く(遅く)歩いてくださいと指示をする方法が考えられるが、正確な歩行ペースを伝えることは難しい。また、画面による指示が歩きスマホに繋がるという問題もある。そこで本研究では、音楽のリズムに人が無意識に合わせてしまう引き込み効果を用いて自然にかつ正確に目標歩行ペースに誘導する手法を提案する。

引き込み効果を用いた歩行支援システムは、既に複数研究・開発がなされている。渡邊らは、靴に振動センサを内蔵し、その振動の引き込み効果によって歩行ペースを制御する手法を提案している [2]。しかしながらこの手法では、特別なデバイスが必要となる。また、Oliver らは、目標とする歩行ペースにあうリズムの楽曲を視聴させることで歩行ペースを誘導する手法を提案している [3]。しかしながら、この手法では、様々なリズムの楽曲を用意しなければならないという問題がある。

そこで我々は、誰もが容易に利用可能で、単一(または少数)の楽曲のみを用いて歩行ペースを誘導する手法について検討した。具体的には、誰もが利用できるスマートフォン上でシステムを実装し、音楽の再生速度を変更することによって限られた楽曲数で歩行ペースの誘導を可能とするアプリケーションを開発した。提案手法の効果を検証するために歩行誘導実験を実施した結果、1 分間あたりの歩数 (BPM) を最小で 93、最大で 120 の範囲まで誘導することに成功した。

#### 2. 関連研究

本章では、ウォーキング支援システムに関する研究および引き込み効果を用いた運動支援システムについて述べる。

##### 2.1 ウォーキング支援システム

ウォーキング支援システムの一つとして、スマートフォンアプリケーションである RunKeeper[4] がある。このアプリケーションでは、心拍計とスマートフォンを Bluetooth で接続することで連携し、スマートフォンに心拍数を表示する。そのため、心拍数が高くなりすぎた場合は、歩行速度を落とし、心拍数を下げることができる。しかし、このシステムでは、心拍計を装着していない場合は心拍数を確認する事はできず、心拍計を装着している場合でも、現在の心拍数は表示されるが未来の心拍数を予測できない。そのため、心拍数が高くなりすぎた場合は、その後に速度を落とすという事後的な対応しかとる事ができない。

これに対して、我々は、スマートフォンを使った心拍数予測に基づくウォーキング支援システムを開発している [1]。これにより、歩行ペース、道路の勾配や利用者の情報(身長、体重、運動習慣等)から歩行中の心拍数を推定し、制限時間、目標消費カロリー、最大心拍数などの条件に合った歩行経路や歩行ペースを提示することを可能としている。しかしながら利用者に正確な歩行ペースを伝えるインターフェースの実装が課題であった。そこで、本研究では音楽の引き込み効果に着目する。

##### 2.2 引き込み効果を用いた運動支援システム

筆者の一人である大坪は、ランニングやウォーキング時に常に心地よいと感じるペースで音楽を再生するアプリケーションを開発している [5]。人間は、音楽のリズムに合わせて走ったり、歩いたりすると心地よいと感じることが指摘されている。これは、リズムを入力として加え、その入力に対して人間が無意識的に合わせてしまう引き込みと呼ばれる現象を利用している [6]。歩行や走行のリズムに心拍のリズムが同期する CLS(Cardiac-Locomotor Synchronization) という現象が発生すると、活動筋への最大血流量の増加や心臓後負荷の軽減などの効果が期待できるとされている [7]。しかしながら、このアプリケーションでは、楽曲のリズムを歩行ペースに合わせているため、運動強度を制御することを目的とした歩行支援はできない。

運動強度を制御することを目的に引き込み効果を活用している研究として、渡邊らは、靴型インターフェースによる歩行ナビゲーションシステムを開発している。このシステムでは、靴型デバイスを用いて足の甲に振動を発生し、この振動のペースを変化させることによって歩行ペースの誘導を試みている。実験の結果、一定の誘導が可能であることを明らかにしている [2]。

奥川らは、聴覚情報による引き込み効果を利用したペダリングトレーニングシステムの設計と実装を行っている。このシステムでは、音楽を使って半無意識的にペダリングを誘導することで、サイクルスポーツ初心者のペダリングスキルの上達を支援するシステムの提案し、一定の誘導が可能であることを明らかにしている [8]。

音楽の引き込み効果を利用した研究として、Oliver らは、ランニング・ウォーキングにおいて目標の心拍数への達成を音楽でサポートするシステムを開発している [3]。このシステムは、音楽が終了する 10 秒前に心拍数と目標に応じて最適な BPM の曲を選び次の曲とするシステムである。しかしながら楽曲自体を変更するために誘導が遅れることや、異なる BPM の楽曲を事前に用意しておく必要がある。

このように引き込み効果を使って運動ペースの調整が可能であることが明らかになっている。しかしながら、特別なデバイスが必要であったり、歩行時には不向きな視覚情報が必要であったりするなど、ウォーキング時に手軽に利用できる方法ではない。音楽の引き込み効果を利用した Oliver らの手法は、複数の楽曲を用意する必要があり、また、楽曲によるペース誘導であるため、その楽曲が終わるまで誘導ペースを変更できないという問題がある。そこで我々は、誰もが利用できるスマートフォン上でシステムを構築し、音楽の再生速度を変更することによって限られた楽曲の数で歩行ペースの誘導を可能とする

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology

アプリケーションを提案する。

### 3. 音楽による歩行ペース誘導アプリの提案

本章では、音楽による歩行ペース誘導アプリについて提案する。

#### 3.1 提案手法の概要

提案手法は、同期と誘導の2つのプロセスで構成される。引き込み効果は、音楽リズムと身体リズムが近い時に引き起こされやすい。そこではじめから音楽による歩行ペース誘導処理を行うのではなく、歩数ベースと同一のBPMで音楽を再生して歩行ペースと音楽ペースの同期を促す(図1)。次に、同期が完了次第、音楽の再生速度を変化させて歩行ペースの誘導を行う(図2)。



図1: 歩行ペースと音楽ペースの同期



図2: 音楽による歩行ペースの誘導

#### 3.2 歩行ペースと音楽ペースの同期

同期プロセスでは、はじめに歩行BPM(図3 Step1)を検出する。歩行BPMは、1分間あたりの歩数を表している。スマートフォン(iOS)には歩数を取得することができるライブラリが提供されているが、リアルタイムでの検出には対応していない。そのため加速度センサの値を使ってリアルタイムに歩数を取得する。

加速度は、X、Y、Z軸方向で取り出されるため、スマートフォンの傾きに基づいて垂直方向の加速度成分のみを取り出しこれが一定の閾値を超えた時に1歩と認識する。この時の時刻を保存し、10歩分の経過時間から歩行BPMを算出する。この歩行BPMの算出は、1歩を認識する毎に行う。

また、10歩分の歩行BPMの変化の平均が1.5BPMを下回っていれば安定して歩行していると判定し次のステップへ進

む(図3 Step2)。変化の平均が1.5BPMを上回っている場合は、歩行が安定していないと判断し、歩行が安定するまでこのステップを継続する。

次に歩行BPMと同一のBPMとなるよう音楽の再生速度を調節する。音楽BPMは、1分間に感じるビート(拍)の数である。楽曲はそれぞれ一定のBPMを持っているものが多く、再生速度を調節することによりこのBPMを調節することができる。楽曲本来のBPMは楽曲の選曲時に解析する。求める手順としては楽曲データをフレーム単位(一定時間)で区切り、フレーム毎の音量を求め、隣り合うフレーム間の音量の増加量を求める。増加量の時間変化を周波数成分解析することによってBPMを求めることができる。

音楽の再生速度を調節する場合、通常は音の高さまで変わってしまうが、これを防ぐためにタイムストレッチと呼ばれる音の高さを保ったまま再生速度を変化させる処理を行う。これはメディア処理ライブラリであるSuperPowered[9]を用いて行う。音楽BPMを変化させて再生(図3 Step3,4)することで、歩行BPMと音楽BPMの同期を図る。

#### 3.3 音楽による歩行ペースの誘導

歩行BPMと音楽BPMが同期され次第、音楽による誘導プロセスを開始する。図4のフローチャートに示す通り音楽BPMを5秒ごとに+1(または-1)し、誘導開始時の音楽BPMから+30(または-30)されるまで繰り返す。

なお、今回は実験のため単純な誘導にとどめているが、歩行支援システムにおいては提示される経路の傾斜と目標の運動強度に応じた歩行速度に誘導する。

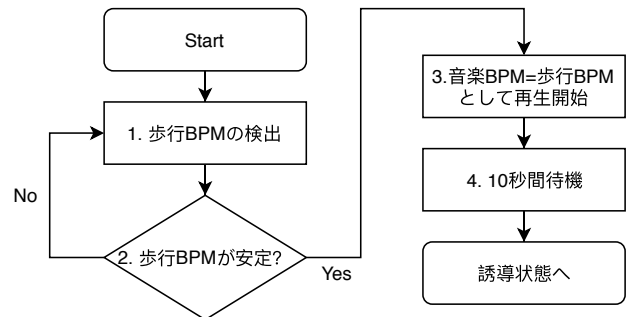


図3: 同期処理のプロセス

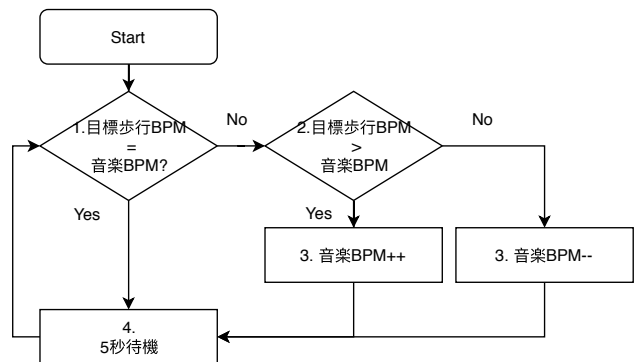


図4: 誘導処理のプロセス

## 4. 歩行ペース誘導アプリの実装

本章では、歩行ペース誘導アプリの実装について述べる。

### 4.1 対象機種と実装方法

本システムは、iOS アプリとして実装を行なった。実装は、Swift 言語 [10] を用い、楽曲の再生にはオープンソースのライブラリである SuporPowerd[9] を用いた。本ライブラリを用いることによって、音の高さを維持したまま再生速度だけを変化するタイムストレッチ処理を iOS 標準の音楽再生ライブラリに比べて音質を損なわず実施できる。

### 4.2 機能と使い方

開発したアプリのスクリーンショットを図 5 に示す。画面上部には、現在のプロセスの状態（同期中 or 誘導中）が示されている。その下部には、左側に歩行者の歩行 BPM、中央に再生中の楽曲の音楽 BPM、右側に誘導目標の BPM が提示されている。歩行 BPM の下部には、10 歩分の BPM 変化の平均値が示されており、これにより歩行ペースが安定しているか判断できる。

利用者は、はじめに、1) 早いペースか遅いペースへ誘導するかを選択する。次に、2) 使用する音楽を選ぶ。音楽は、スマートフォンに保存されているものであればすべて再生可能となっている。その後、3) スマートフォンを保持したまま歩行を開始する。

アプリは、歩行が安定したことを判定すると、その時の歩行 BPM と同一の BPM で音楽の再生が開始する。一定時間経過後ゆっくりと音楽 BPM を目標の BPM に向けて変化させて誘導を開始する。

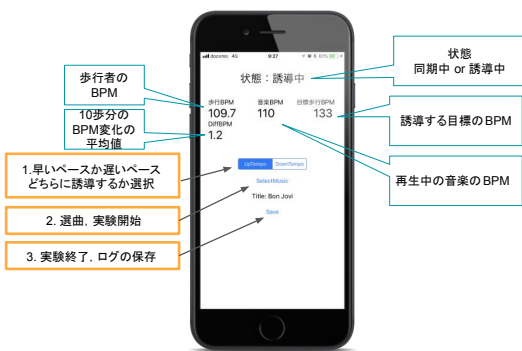


図 5: 開発した検証用アプリケーション

## 5. 評価実験

提案手法の効果を検証するために、20 代男性 1 名を被験者として実験を行った。実験目的は、音楽の引き込み効果を用いて誘導を行うことで、人の歩行ペースをどの程度まで誘導できるかを明らかにすることである。そのために、被験者の歩行 BPM を  $\pm 30$  の範囲で変化させ、その際の実際の歩行 BPM と音楽 BPM の差を比較する。

被験者は本システムを使いながら約 200 秒間歩行し、この際の音楽 BPM と歩行 BPM を記録する。実験は早いペースへの誘導と遅いペースへの誘導を 1 セットとし、このセットを 2 回行なった。実験は、大学構内の平坦な場所にて行い、歩行途中における停止、階段の上り下りなどによる歩行ペースの変動は考慮していない。楽曲はビートがあり、一般的な歩行ペースに近い BPM109 の楽曲 Because We Can(Artist:Bon Jovi) を使用した。

## 6. 結果と今後の課題

本章では、評価実験の結果と今後の課題について述べる。

### 6.1 評価結果

図 6~9 は、実験時の歩行 BPM と音楽 BPM の変化を表している。図 6, 7 は 1 セット目、図 8, 9 は 2 セット目の結果である。これらの結果から、提案手法で示した通り、はじめに歩行 BPM と音楽 BPM が同期された後、音楽 BPM の変化に合わせて歩行 BPM が推移していることがわかる。

実験 1-1 (図 6) においては BPM103 からスタートし、BPM118 付近で違和感が強くなり自然体では音楽に合わせてられなくなり、自身の本来の歩行 BPM に戻っている。その他の結果も同様に、実験 1-2 (図 7) においては BPM103 から 93, 実験 2-1 (図 8) においては BPM105 から 120, 実験 2-2 (図 9) においては BPM108 から 98 に誘導できることが確認できた。

今回の実験から、歩行ペースと音楽のペースを同期した後、音楽の再生速度を変化させ誘導することにより、リアルタイムにかつ自然な歩行ペース誘導ができる事を確認した。自然体で誘導できる BPM の幅は今回の実験では最小で 93, 最大 120 であり、歩行ペースの誘導としては十分な範囲であると考えられる。

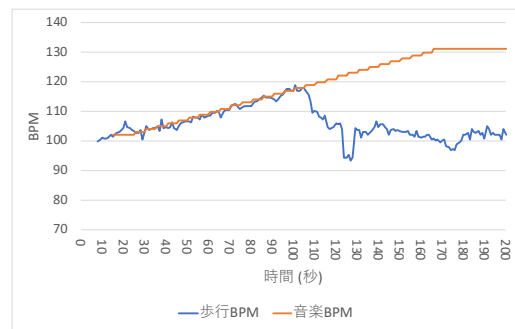


図 6: 早いペースへの誘導 (実験 1-1)

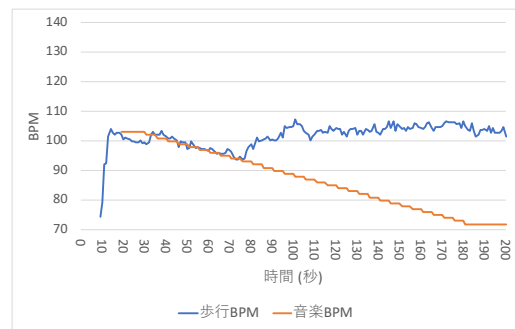


図 7: 遅いペースへの誘導 (実験 1-2)

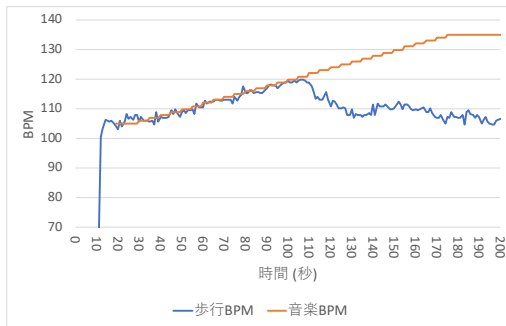


図 8: 早いペースへの誘導 (実験 2-1)

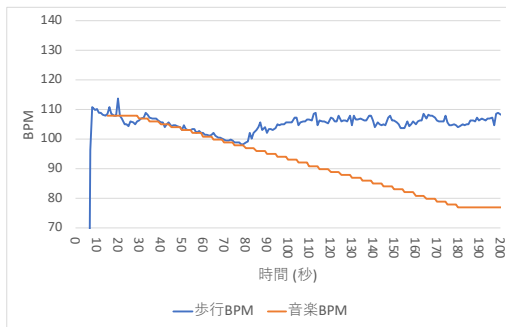


図 9: 遅いペースへの誘導 (実験 2-2)

## 6.2 今後の課題

今回は、実験計画の制約により被験者 1 名のみで実験を行った。しかしながら、音楽による引き込み効果には個人差があると考えられるため、複数人による効果検証が必要である。また、誘導に用いる音楽について、今回はビート (拍) がはっきりしており、歩行リズムに近い BPM の楽曲を選んだが、実際にアプリ化する場合、ユーザの持つスマートフォン内の楽曲を使用する必要があるため、どの音楽が誘導に最適か自動で選曲するような仕組みを合わせて開発する必要がある。最終的には既存研究である心拍数予測に基づくウォーキング支援システム [1] 等と組み合わせて利用者の運動強度や運動目標を考慮して歩行支援が可能なアプリ開発を目指す。

## 7. おわりに

自然なウォーキング支援を行うためのアプリ開発に向けて、音楽による歩行ペースの誘導手法を提案、効果を検証した。今回の実験では歩行ペースと音楽のペースを同期した後に音楽の再生速度を変化させて誘導することにより、リアルタイムにかつ自然な歩行ペース誘導ができることを確認した。自然体で誘導できる BPM の幅は最小で 93、最大 120 であり、歩行ペースの誘導としては十分な範囲であると考えられる。また、広く普及しているスマートフォン (iOS) 上で動作する様実装を行っているため一般への公開も容易である。今後としては、誘導に向く楽曲の自動選曲や多数の被験者による追実験、既存研究と組み合わせることによる総合的なウォーキング支援システムの開発を目指す。

## 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16H01721、および、JST さきがけ (16817861) の支援を受けて実施されたものである。

## 参考文献

- [1] Shogo Maenaka, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto, Heart Rate Prediction for Easy Waking Route Planning . SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration 2018.
- [2] 渡邊淳司, 安藤英由樹, 朝原佳昭, 杉本麻樹, 前田太郎, 靴型インタフェースによる歩行ナビゲーションシステムの研究. IPSJ journal 46(5), pp. 1354-1362, 2005.
- [3] Nuria Oliver, Flores-Mangas, MPTrain: a mobile, music and physiology-based personal trainer . Mobile-HCI '06 Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services pp. 21-28, 2006.
- [4] Runkeeper - Track your runs, walks and more with your iPhone or Android phone . <https://runkeeper.com/>, 2018-07-27 参照.
- [5] WavePlayer, 人の動きに合わせて音楽のリズムが変わる新しい音楽プレイヤー. <http://waveplayer.me/>, 2018-07-26 参照.
- [6] 長嶋 洋一, 音楽的ビートが映像的ビートの知覚に及ぼす引き込み効果. 芸術科学会論文誌, Vol.3, No.1, pp.108-148, 2004.
- [7] Bill Phillips, Yi Jin, Effect of Adaptive Paced Cardiolocomotor Synchronization During Running: A Preliminary Study . J Sports Sci Med. 12(3): pp. 381387. 2013.
- [8] 竹内真太, 西田裕介, 聴覚フィードバックを利用したペダリングトレーニングシステム. Rigakuryoho Kagaku 24(5), pp. 777-784, 2009.
- [9] Superpowerd, iOS, OSX and Android Audio SDK, Low Latency, Cross Platform, Free. . <https://superpowered.com/>, 2018-07-26 参照.
- [10] Swift. A powerful open language that lets everyone build amazing apps. . <https://www.apple.com/swift/>, 2018-07-27 参照.