

BeatSync: Rhythm Value に基づく 歩行ペース誘導アプリケーションの開発と評価

大坪 敦^{1,a)} 諏訪 博彦^{1,b)} 荒川 豊^{1,c)} 安本 慶一^{1,d)}

概要: ウォーキングは高血圧や糖尿病などの生活習慣病の予防・改善対策として注目されている。しかし、歩行の負荷が高すぎると継続が難しく、低すぎると効果が期待できない。従って、歩行ペース支援システムの重要性は高い。筆者らは音楽を利用して、自然にかつ正確に目的の歩行ペースに誘導することを目指してスマートフォン上で動作する歩行支援アプリケーションを開発している。本稿では音楽に含まれる周期的なビートがリズムの合わせやすさを決定する要因だと考え、これを指標化することを目的とする。指標化の妥当性を検証するために、被験者 6 人による歩行誘導実験を実施した結果、提案した指標の妥当性が確認された。デモンストレーションでは、BeatSync と呼ばれるアプリケーションを用いて音楽による歩行ペース誘導の体験を提供する。

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。先行研究として前中らは、心拍数予測に基づくウォーキング支援システム [1][2] を開発している。本システムにより、歩行者が設定した心拍数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、歩行ペースを数値で指定しても自分で調整することが難しいという課題が残されていた。

そこで我々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と呼ばれる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している [3]。この提案システムでは、単一の楽曲の再生速度を変化させることによって、1 分間あたりの歩数を無意識に 93 歩~120 歩 (時速約 3.9km~5.0km) の間で変化させることに成功している。

このシステムでは被験者にビートが明確である単一の音楽を聴かせていたため歩行ペースをリズムに合わせやす

かったが、被験者のプレイリストを使うためには、ビートが明確で合わせやすい曲とそうでない曲があるため、これを考慮しなければならなかった。

そこで本稿では音楽に含まれる周期的なビートの強弱が、リズムの合わせやすさを決定する重要な要因だと考え指標化を行う。また、指標化した値が異なる複数の音楽を用いて評価実験を実施し指標化の妥当性を検証する。

2. 従来研究

本章では、本稿を執筆するに至った過程となるウォーキング支援システムに関して述べる。

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。

これに対し前中らは、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][2]。これにより、歩行ペース、道路の勾配や利用者の情報(身

¹ 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology

a) otsubo.atsushi.nv4@is.naist.jp

b) h-suwa@is.naist.jp

c) ara@is.naist.jp

d) yasumoto@is.naist.jp

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。

2.2 音楽を用いたウォーキングペース支援システム

利用者に正確な歩行ペースを伝えるために、我々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 [5] と呼ばれる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している [3]。この手法を用いた実験では、単一の楽曲の再生速度を変化させることによって、1分間あたりの歩数を93歩～120歩(時速約3.9km～5.0km)の間で変化させることに成功している。

しかしながら、この実験では被験者にビートが明確である単一の音楽を視聴させていたため歩行ペースをリズムに合わせてやすかったと考えられる。実環境においては、被験者が好きな曲を利用することが好ましいが、世の中のあらゆる音楽は、ビートが明確で合わせやすい曲とは限らないため、これを考慮しなければならない。本稿では音楽に含まれる周期的なビートの強弱、つまりリズムの明確さが、リズムの合わせやすさを決定する重要な要因だと考え、その指標化を行う。指標化することができれば、プレイリストの中から、歩行ペース制御に適した曲を選出することができるようになる。そのため、指標化した音楽のうち、リズムの明確さが異なる音楽を用いて評価実験を実施し、指標化の妥当性を検証する。

3. 提案手法

本章では、音楽のリズムの明確さの指標化および Beat-Sync アプリへの実装について述べる。

3.1 指標化

音楽のリズムは周期的な音量の大小(ビートの強弱)からなり、これが明確な楽曲ほど、リズムに合わせて歩きやすいと考えられる。このリズムの明確さを0～100までで指標化し、RhythmValue(RV)と呼ぶこととする。RVが100に近いほどリズムが明確であり、0に近いほど明確でないことを示す。

指標化の手順を Step1～6 に示す。提案手法でははじめに、楽曲の BPM ごとの音量成分を求める(Step1～3)。Step1では、計算量を少なくするために楽曲データの波形を一定フレーム(今回は512フレーム、約0.01秒)ごとに区切る。Step2では、隣り合うフレーム間の音量の増加量を求め、Step3では、この増加量の時間変化で周波数成分解析することによって BPM ごとの音量成分を求める。

メトロノームの音およびベートヴェンの運命の音量成分解析結果を図1、図2に示す。メトロノーム(図1)のよう

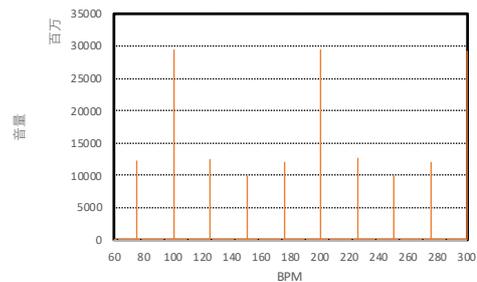


図1 メトロノームの BPM ごとの音量成分

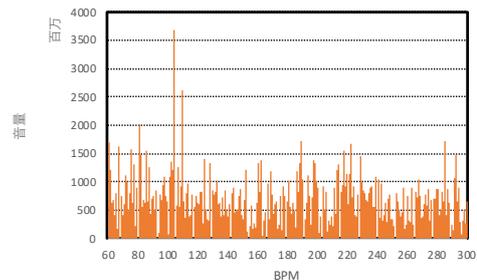


図2 ベートヴェン「運命」の BPM ごとの音量成分

なりリズムが明確な楽曲は、楽曲固有の BPM の音量成分が突出して大きくなり、これ以外の BPM の音量成分は0に近くなる。運命(図2)のようなリズムが明確でない楽曲は、楽曲固有の BPM 以外の音量成分も大きくなっている。つまり固有の BPM の音量成分以外の BPM の音量成分が0に近いとリズムが明確であり、固有の BPM の音量成分以外の BPM の音量成分が固有の BPM の音量成分に近いとリズムが明確でないと考えられることができる。

本研究では、この傾向を利用して、リズムの指標化を行う(Step4～6)。具体的には BPM60～300 までの音量成分の平均値を算出し、その値が小さいほどリズムが明確であり、その値が大きほどリズムが不明確とする。異なる音量の音楽を比較可能にするために、Step4で各 BPM の音量成分を最大で1となるように正規化する。Step5で音量成分の平均値を求め、Step6で式(1)を用いて0～100までの値で出力する。

- Step1: 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る
- Step2: 隣り合うフレーム間の音量の増加量を求める
- Step3: 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 ごとの音量成分を求める
- Step4: 各 BPM の音量成分を最大で1となるよう正規化する
- Step5: 正規化した各音量成分の平均(VOL_m)を求める
- Step6: 以下の式(1)を用いて0～100までの値で出力する

$$RV = (1 - VOL_m) * 100 \quad (1)$$

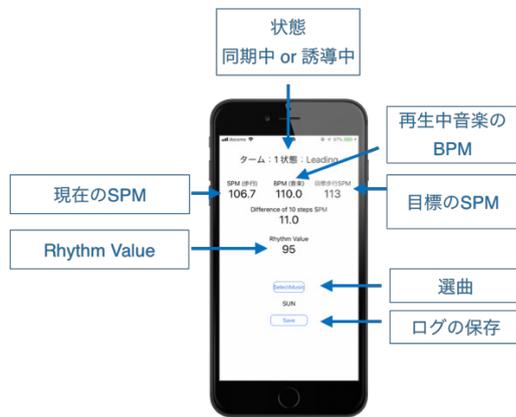


図 3 開発した検証用アプリケーション

表 1 使用した音楽

楽曲名	アーティスト名	BPM	RV
SUN	星野源	108	95
チェリー	スピッツ	97	92
運命	ベートヴェン	104	80

3.2 BeatSync アプリの実装と使い方

開発中の音楽を用いた歩行ペース誘導アプリケーションを BeatSync と呼んでいる。BeatSync では、2つの段階で歩行ペースを誘導する。はじめに音楽のペース (BPM: beats per minute) と歩行ペース (SPM: steps per minute) を同期し、引き込み効果を促す。次に音楽の再生速度をゆっくりと変化させることによって、目標とする歩行ペースに誘導する。BeatSync は誰もが簡単に利用できる様にするため、スマートフォンアプリとして開発しており、実装には Swift 言語 [6] を用いている。音楽を選択すると楽曲が解析され RV が画面に表示される (図 3)。この状態で歩行を開始すると歩行ペースの誘導を開始することができる。

4. 評価実験

実験の目的は、音楽の RV の違いにより歩行ペースの合わせやすさに変化があるかを検証することである。ここでは使用する楽曲と、実験内容とその評価について述べる。

4.1 使用する楽曲

実験に使用する楽曲とその BPM, RV を表 1 に示す。楽曲の再生速度を大きく変化させると、視聴者は違和感を感じる [7] と報告されていることから、今回の実験では歩行ペースに近い 100BPM 前後の RV の異なる 3 つの曲を用意した。SUN, チェリーの 2 曲はベース音が含まれており、ベートヴェンの運命はベース音が含まれていない。

4.2 実験と評価

実験では、BeatSync アプリを用いて 20 代男女 6 名に

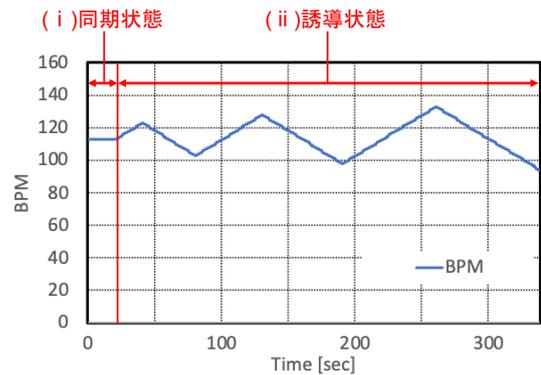


図 4 歩行ペース同期・誘導時の BPM の変化

RV の異なる 3 曲を視聴しながら歩行してもらう。被験者は 1 セットごとに約 6 分間の歩行を計 3 回 (3 曲分) 実施する。はじめに、SPM に BPM を同期して再生し、引き込み効果を促す。次に、音楽の BPM をゆっくりと (2 秒毎に 1BPM ずつ) 変化させ誘導する。最大変化幅を ± 10 , ± 15 , ± 20 と徐々に大きくすることによって歩行ペースをどの程度まで誘導できるかを検証する。歩行ペースの同期および誘導時の BPM の変化を図 4 に示す。

実験は、大学構内の平坦な場所で行った。また、実験の最後に、音楽に合わせた歩きやすさとその理由を問うアンケートを実施した。

5. 結果

本章では、評価実験の結果と今後の課題について述べる。

5.1 実験結果

実験の結果、個人差はあるが、楽曲の違いによって調節できる歩行ペースの範囲や正確さに違いが生じた。SUN, チェリーは、被験者 6 人中 4 人が、概ね音楽によって歩行ペースを誘導できた。この 2 曲はベース音が含まれており、周期的なビートの強弱が明確であるため音楽に合わせて歩行しやすかったのだと考えられる。誘導できたうちの 1 人である被験者 A の音楽のペースと歩行ペースの関係を図 5 に示す。残りの 2 名は、歩行速度の限界や音楽のリズムを把握できないことが要因となり、誘導できていない箇所があった。誘導ができていないうちの 1 人である被験者 B の音楽のペースと歩行ペースの関係を図 6 に示す。運命は、被験者 6 人全員で誘導できていない箇所が多くあった。ベース音のような一定のリズムを刻むものが存在しないことが理由として挙げられる。SUN, チェリーでは誘導できていた被験者 A の運命における音楽のペースと歩行ペースの関係を図 7 に示す。RV が 90 を超える SUN, チェリーに関しては概ね音楽による誘導ができ、RV が 80 の運命は誘導できていない箇所が目立ったことから、我々が提案した指標化は妥当であると考えられる。

表 2 音楽に合わせて歩きやすかった曲の順番 アンケート結果

1位	2位	3位	票数
SUN	チェリー	運命	5
チェリー	SUN	運命	1

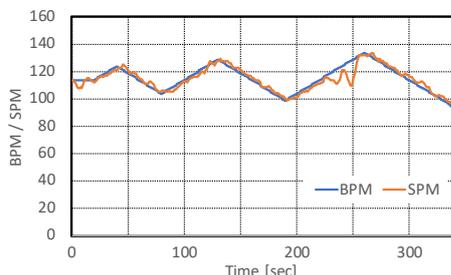


図 5 音楽によって歩行ペースを誘導できた例 (楽曲:SUN, 被験者:A)

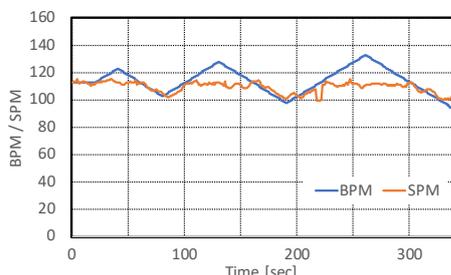


図 6 音楽によって歩行ペースを誘導できなかった例 (楽曲:SUN, 被験者:B)

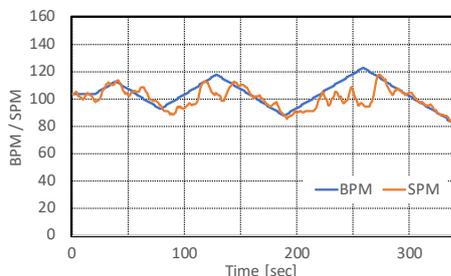


図 7 音楽によって歩行ペースを誘導できなかった例 (楽曲:運命, 被験者:A)

5.2 アンケート結果

概ね上記の実験結果と一致し、参加者全員が SUN とチェリーについては音楽に合わせて歩きやすいと回答し、運命については合わせにくいという回答であった。また、3曲のうち音楽に合わせて歩きやすかった曲の順番を問う回答は、表 2 に示す通りとなった。6人中5人の被験者が SUN・チェリー・運命の順番で音楽に合わせて歩きやすいと回答している。この結果は RV の大きさの順とも一致しており、アンケート結果からも提案した指標化は妥当であると考える。

5.3 今後の課題

今回は6名の被験者にて実験したが、音楽による誘導は

個人の体力やリズム感など個人差が現れる要素が大きいため、さらに多くの被験者で実験する必要があると考える。また、今回使用した音楽は BPM が歩行ペースに近い 100 前後のものをを用いたが、これ以外の BPM の楽曲では結果にどう影響するかを検証したい。最終目標として、既存研究と組み合わせた総合的なウォーキング支援システムの開発を目指しているが、そのためには歩行途中における信号による停止や階段の上り下りなどによる歩行ペースの変動も考慮する必要がある、今後の課題である。

6. おわりに

音楽を用いたウォーキング支援アプリ開発に向けて、音楽リズムの明確さを Rhythm Value (RV) として指標化した。RV が 90 を超える楽曲である SUN とチェリーは、被験者 6 人中 4 人は概ね歩行のペースを音楽のペースに追従させることができた。RV が 80 である運命は、全ての被験者で誘導できない箇所が多く見受けられた。また、実験後のアンケートにて被験者の 6 人中 5 人が、RV の高い順番である SUN・チェリー・運命の順番で音楽に合わせて歩きやすいと回答した。このことから提案した指標化は妥当であると考えられる。

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] Mayu Sumida, Teruhiro Mizumoto, and Keiichi Yasumoto. Estimating heart rate variation during walking with smartphone. In *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '13, pp. 245–254, 2013.
- [2] Shogo Maenaka, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, and Keiichi Yasumoto. Heart rate prediction for easy walking route planning. *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol. 11, No. 4, pp. 284–291, 2018.
- [3] 大坪 敦, 諏訪 博彦, 荒川 豊, 安本 慶一, 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. 情報処理学会関西支部, 2018.
- [4] Runkeeper - Track your runs, walks and more with your iPhone or Android phone . <https://runkeeper.com/>, 2018-07-27 参照.
- [5] Yoichi NAGASHIMA. Drawing - in effect on perception of beats in multimedia (2) -development of experiment system and measurement of latency-. *IPSJ SIG Notes*, Vol. 2003, No. 82, pp. 83–90, aug 2003.
- [6] Swift. A powerful open language that lets everyone build amazing apps., <https://www.apple.com/swift/>, 2018-11-30 参照.
- [7] Hiromi Ishizaki, Keiichiro Hoashi, and Yasuhiro Takishima. E-035 a study on measurement function of user comfortness according to song tempo change for dj mixing. 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 8, No. 2, pp. 335–336, aug 2009.