

# 聴覚フィードバックを用いたランニング練習支援システム

A study on running assist system using auditory feedback

吉岡 杏奈<sup>1</sup> 藤波 努<sup>2</sup>

Anna Yoshioka<sup>1</sup> and Tsutomu Fujinami<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 先端科学技術専攻

<sup>1</sup> Graduated School of Advanced Science and Technology, Department of Advanced Science and Technology, Japan Advanced Institute of Science and Technology,

<sup>2</sup> 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学系 ヒューマンライフデザイン領域

<sup>2</sup> Human Life Design Area, School of Knowledge Science,  
Japan Advanced Institute of Science and Technology

**Abstract:** In this research, we employ a small sensor and a small computer to develop a practice assistance system that supports athletes to exercise running through auditory feedback. This paper describes what different audio feedbacks inform runners of their performance to help them to acquire ideal running motion.

## 1. 序論

一般的に、スポーツの現場では常に指導者の指導を受けながら練習を行うことが難しいため、個人練習を行う機会が多い。しかし、個人練習では自分自身の動きを見ながら行うことは難しく、仮に動きを見ることができたとしてもその良し悪しを判断して自分自身で動きを修正することは難しいため、練習の効率が下がってしまう恐れがある。

このような状況を受けて近年、モーションキャプチャシステムや Kinect といった情報技術を用いて初心者の個人練習を支援し練習の効率を向上させる「練習支援システム」に関する研究が数多く行われている[1-4]。これは、練習者の動作を三次元的に取得し、その動作と手本となる動作との差異を、練習者自身を模したコンピュータグラフィックスや音といった情報に可視化・可聴化しフィードバックすることで、練習者自身に動作を知覚させるものである。このようなシステムを使用することで、練習者は指導者の指導を受けられない環境においても効率良く練習を行うことが可能となる。これらのシステムでは、取得する情報の正確さやデータの欠損の少なさを考慮して、モーションキャプチャシステムを使用することが多いが、実用性を考えると高価なモーションキャプチャシステムの導入が難しいという問題がある。

そこで本研究では、練習支援システムの実用性を意識し、音楽のスピードや音程・音圧などを変化さ

せることで走行スピードや足の動きを知覚させる聴覚フィードバックと小型センサを用いた練習支援システムを開発し、その有用性を評価する。

## 2 関連研究

ここでは、関連する練習支援システムについて取り上げる。

### 2.1 視覚フィードバックを用いたシステム

ここで取り上げるシステムは、色の変化や理想動作との比較映像などの視覚情報をフィードバックすることで練習者に動作を知覚させるものである。

Chan らの研究[1]では、ダンスの振付動作における手本動作と練習者の関節位置を比較し、その差異を色の違いとして提示することで振付動作の習得を支援している。モーションキャプチャシステムにより取得した関節データを元に練習者の人体モデルを構築し、手本動作通りの動作ができた場合はモデルの色を黄色に、そうでない場合は赤色に着色することで、練習者に手本動作との違いを知覚させている。

Qi らの研究[2]では、ボートのローイング動作における熟練者の大腿直筋の筋活動量に対する練習者の筋活動量の割合を色に変換し、ディスプレイに表示した実映像上の大腿直筋の位置に重畳させて提示している。練習者の筋活動量が熟練者よりも小さい場合は青色で、熟練者と同等の活動量に近づくにつれて赤色へと変化させて重畳表示し、練習者に自身の筋活動量を知覚させている。

## 2.2 聴覚フィードバックを用いたシステム

ここで取り上げるシステムは、動作を音の高さやなどの聴覚情報としてフィードバックすることで練習者に動作を知覚させるものである。

Murofushi らの研究[3]では、実際に 9 軸のモーションセンサを開発し、開発したセンサを用いてシステムを構築している。具体的には、ハンマー投げのターン動作に対して、ハンマーに取り付けたセンサを用いて取得したデータを元に回転の角速度情報を音の高低に変換し可聴化するシステムを構築している。

奥川らの研究[4]では、聴覚フィードバックを使用して自転車のケイデンス維持を支援するシステムを提案している。このシステムでは、180bpm のテンポで流すクラシック音楽(Canon)と自身のペダリングテンポのフィードバック音が一致するようにペダルを漕ぐことで一定のペースを保つことができる。

## 3. 提案手法

### 3.1 概要

本研究において検証の対象とする動作は、特別な技術を要さない点と特別な機器を要することなく実施可能な点からランニングを採用する。

図 1 に本研究で構築するシステム構成案を示す。システムは 3 つの要素で構成される。

- 1) 使用者の動作の取得
- 2) 聴覚フィードバックの生成
- 3) イヤホン等を使用した聴覚フィードバックの提示

これらをリアルタイムで繰り返すことで継続してフィードバックを提示することが可能となる。

今回、練習者の動作を取得する装置として、ST マイクロエレクトロニクス社の STEVAL-WeSU1 を用いる。STEVAL-WeSU1 の外観を図 2 に、スペックを表 1 に示す。

### 3.2 生成する聴覚フィードバック

今回は、普段聴いている J-POP やクラシックといった音楽に対して音変化させることで動作を可聴化する。これは、奥川らの研究[4]において、聴覚フィードバックをする際にメトロノームのような無機質な音をフィードバックするよりもクラシックなどの音楽を用いたフィードバックのほうが練習者の集中力を妨げない傾向が示されていたため採用した。

具体的に、次のような音変化を想定している。

- 1) 音楽のトランスポーズ(移調・転調)：足の着き方が理想的でない場合に音楽をトランスポー

ズすることで動作を知覚させる

- 2) 左右の音圧変化：左右の着地バランスが乱れているときに音源自体の音圧を変化させることで動作を知覚させる

(具体例) 左足の着地が強い時は左側の音圧を下げ右側に意識を向かせる

- 3) 音楽のテンポ変化：走行スピードがふらついている場合にテンポを変化させることで動作を知覚させる

(具体例) 走行スピードが徐々に早くなってしまっている場合は音楽のテンポを下げ落ちて着かせる

## 4. 音変化聞き取りに関する事前実験

実際にシステムを開発するにあたり、事前実験を実施した。本実験は、3.2 であげた聴覚フィードバックの聞き取りの可否と、聴覚フィードバック自体が動作に及ぼす影響の検証を目的に実施した。

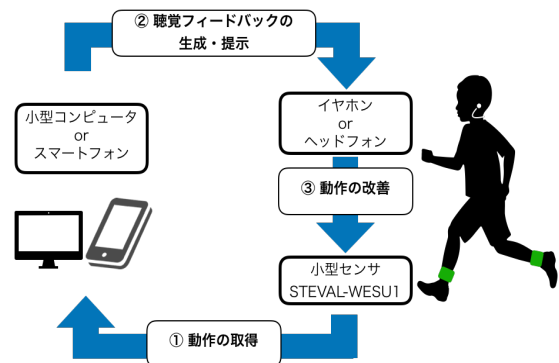


図 1. システム構成図



図 2. STEVAL-WeSU1 外観

表 1. STEVAL-WeSU1 スペック [5]

項目	仕様
搭載センサ	加速度、ジャイロ、地磁気、気圧
通信	Bluetooth4.1 USB2.0
電池	リチウム・イオン・ポリマ二次電池(100mA)
外形寸法[mm]	約40 × 38 × 10
質量[g]	約10

## 4.1 使用器具

本実験で使用した器具を表2に示す。本実験では、練習者の動作取得機材としてSTEVAL-WesulではなくWiiバランスボードを用いた。これは、現時点でSTEVAL-WeSU1複数台と同時通信可能なシステムが構築できていないため、STEVAL-WeSU1を用いても両足のデータを取得できないことと、単に重心データを取得することができれば検証を行うことが可能であると判断したためである。

## 4.2 被験者情報

本実験の被験者は成年男性4名、成年女性1名の計5名である。被験者の情報を表3に示す。なお、表3における音楽経験とは音楽教室への通学による楽器演奏技術の習得経験を指す。

## 4.3 実験方法

今回の予備実験では、フィードバックする音源として歩行スピードと同程度のテンポである100 bpmのBeat音をハイミッドタムとシンバルの音を組み合わせで作成した。作成したBeat音に対し次の6種類の音変化を適用し、聞き取りの可否を調査した。なお、Beat音作成、音変化の編集にはGarage Band[6]を使用し、各音変化はBeat音再生開始から30秒後に現れるよう編集した。

- 1) テンポアップ 100 bpm to 105 bpm
- 2) テンポアップ 100 bpm to 110 bpm
- 3) テンポダウン 100 bpm to 95 bpm
- 4) テンポダウン 100 bpm to 90 bpm
- 5) 右側音圧減少(左側のみ聞こえる状態)
- 6) 左側音圧減少(右側のみ聞こえる状態)

被験者には音変化の種類として「テンポが上がる」「テンポが下がる」「左側のみ聞こえる」「右側のみ聞こえる」の4種類が存在することを伝え、テンポ変化の程度は伝えていない。

実験は、初めに被験者の左腕に装着した心拍計を用いて座位安静時の心拍数を計測した後ヘッドホンを装着し、4(テンポダウン)、2(テンポアップ)、6(左側音圧減少)、1(テンポアップ)、5(右側音圧減少)、3(テンポダウン)の順で動作計測を行った。被験者にはヘッドホンから聞こえてくるBeat音にあわせてWiiバランスボード上で足踏みをするよう指示し、使用されている音変化が判断できた場合は口頭で音変化の種類を解答するよう伝えた。

なお、各音変化の計測間は1分以上かつ被験者の心拍数が座位安静時の心拍数におちつくまで休息を取った。

図3に実験の様子を示す。Wiiバランスボードは

壁から1.5m離して配置した。また、被験者に与える視覚情報を統一するため、被験者の正面の壁に床から1.5mの高さに注視点を配置し、被験者には計測中は注視点に視線を固定するよう指示した。

## 5. 結果と考察

表4に、各被験者が音変化の認識にかかった時間(sec)を示す。表4中の「-」印は認識することができなかったことを示す。表4より、テンポが上がる音変化はその他の音変化に比べて認識率が低くなる傾向が見られる。そこで各計測開始5秒後からの30歩(前半)と計測終了5秒前から遡った30歩(後半)を抽出し、それぞれの区間における足踏みのテンポの平均値を比較した。結果を表5に示す。表5より、すべての被験者において提示したBeat音のテンポに足踏みのテンポが一致していることがわかる。よって音変化におけるテンポの変化は、仮に認識できな

表2. 使用器具一覧

名称	個数	備考
Wiiバランスボード	1個	動作取得用
GPD Win	1台	データ記録用
ビデオカメラ	1台	映像データ録画用
Panasonic ヘッドホン (RP-HTX80B-R)	1個	聴覚フィードバック提示用
POLAR 心拍計 (OH1)	1個	心拍数計測用 (左腕に装着)

表3. 被験者情報一覧

No.	性別	年齢	出身国	音楽経験
1	F	24	日本	なし
2	M	27	中国	なし
3	F	23	日本	なし
4	F	24	中国	なし
5	F	30	中国	なし

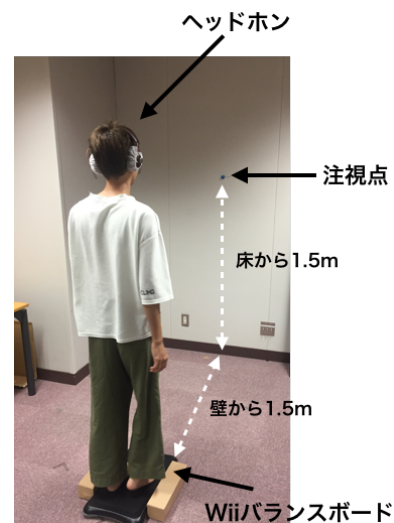


図3. 実験の様子

かったとしても動作に変化を及ぼす可能性が示唆された。この傾向から、走行中の音楽のテンポ変化は走行スピードに影響を及ぼす可能性があると考えられる。

なお、現時点で音圧変化による動作への影響は数値的には明らかにできていないが、被験者から「音が鳴っている方向に体を持っていかれる感覚を感じた」という感想があった。これは左右の着地バランスの乱れの修正に効果が期待されるため、この「感覚」は何であるか数値的な影響を検証し明らかにする必要がある。

## 6. まとめ・今後の展望

本研究は練習支援システムの実用性に着目し、音楽のスピードや音程・音圧などを変化させることで走行スピードや足の動きを知覚させる聴覚フィードバックと小型センサを用いた練習支援システムの開発と有用性の評価を目的としている。今回は音楽変化の聞き取りの可否と音楽変化の動作への影響を検証した。

今回の検証では、Beat音のテンポの変化を聞き取ることができなくても、足踏みのテンポは自然とBeat音のテンポに一致する傾向が見られた。これにより、走行中の音楽のテンポ変化が走行スピードに影響を及ぼす可能性が示唆された。また、被験者の感想から音圧の変化が動作に何らかの影響を及ぼす可能性が示唆されたため、引き続き検証を行う。

今回の実験では、聴覚フィードバックの音変化を1種類ずつ適用して聞き取りの可否を調査したが、

表 4. 音変化認識にかかった時間(sec)

	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5
1. 100 to 105 bpm	18	-	-	15	20
2. 100 to 110 bpm	16	-	11	10	11
3. 100 to 95 bpm	21	14	10	8	2
4. 100 to 90 bpm	10	6	4	5	10
5. 右側音圧減少	4	4	4	3	4
6. 左側音圧減少	4	4	4	3	3

表 5. 各計測の足踏みテンポの比較

		被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5
1. 100 to 105 bpm	前半	100.7	101.0	101.1	101.6	100.9
	後半	105.9	105.8	106.5	105.3	105.2
2. 100 to 110 bpm	前半	101.8	101.2	101.0	100.6	100.7
	後半	111.8	111.3	111.4	110.2	110.7
3. 100 to 95 bpm	前半	100.3	100.1	102.0	100.9	100.3
	後半	96.4	95.4	98.3	95.0	95.5
4. 100 to 90 bpm	前半	102.6	99.9	101.2	101.2	101.1
	後半	89.8	90.6	90.8	90.9	91.2
5. 右側音圧減少	前半	100.9	100.5	102.4	101.0	100.9
	後半	100.4	100.2	101.2	100.3	100.0
6. 左側音圧減少	前半	100.6	100.6	102.2	100.9	101.4
	後半	102.8	100.5	101.2	100.3	100.4

実際の場面では複数の音変化が同時に現れる可能性があるため、複数の音変化がかかった状態での聞き取りの可否も検証する必要があると考える。

今回の実験は室内でその場に留まって行っており、周囲に危険が無いと判断したため、被験者には外界の環境音がほとんど聞こえないヘッドホンを装着してもらった状態で聴覚フィードバックを提示した。しかし実用化を考えると、通常のヘッドホンやイヤホンは外界の環境音まで遮断してしまうため、練習者を危険に晒してしまう可能性がある。今後は骨伝導イヤホンを使用することで外界の環境音が聞こえる状態で聴覚フィードバックを提示するよう設定し、環境音が聞こえる状態でもフィードバックの種類を聞き分けることができるか検証する必要があると考える。

今後は、今回の予備実験の結果をもとに実際のシステムを構築し、有用性を検証していく。

## 参考文献

- [1] Chan.J.C, Leung.H, Tang.J.K, and Komura.T, A Virtual Reality Dance Training System Using Motion Capture Technology, IEEE Transactions on Learning Technologies, Vol. 4, No.2, pp.187-195, 2010
- [2] Qi AN, 柳井香史朗, 中川純希, 温文, 山川博司, 山下淳, 浅間一, 実映像と筋活動の重量表示によるローイング動作教育システム, 日本機械学会論文集, vol. 82, No. 834, pp. 1-11, 2015
- [3] Murofushi.K, Sakurai.S, Umegaki.K, Kobayashi.K, Development of a System to Measure Radius of Curvature and Speed of Hammer Head during Turns in Hammer Throw, International Journal of Sport and Health Science, Vol. 3, pp. 116-128, 2005
- [4] 奥川遼, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦, 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, 日本ソフトウェア学会論文誌, Vol. 33, No. 1, pp. 41-51, 2016
- [5] コンピュータ・サイエンス&テクノロジー専門誌 Interface 2016年9月号, CQ 出版社
- [6] Mac のための Garage Band, <https://www.apple.com/jp/mac/garageband/>, (2018年9月20日閲覧)