

身体動作に基づく仮想競走のリアルタイム訓練 支援システム

A Real-time System Supporting Virtual Competitive Training for Runners based on Body Motion

後藤田 中^{12*} 松浦 健二¹ 平野 卓二¹ 田中 俊夫¹ 矢野 米雄¹

Naka Gotoda^{12*}, Kenji Matsuura¹, Takuji Hirano¹, Toshio Tanaka¹ and Yoneo Yano¹

¹徳島大学

¹The University of Tokushima

²日本学術振興会特別研究員

²JSPS Research Fellow

Abstract: This paper proposes a real-time system that supports the virtual competition environment of personal training for runners. The objective of the support is to improve the running performance about their average pace through a sense of competition. In particular, the sense is promoted by a virtual competitor based on their own motions of several specific body areas during exercise. We developed such a wearable system with plural wireless-sensor devices which combinations are possible according to observed body areas. In this scenario, runners wear these devices including 3D accelerometer on their arm and waist in training. The system provides the awareness information of relative positions between a runner and a competitor through a head-mount display. This virtual relationship of positions is produced by the difference of the waist acceleration between last and current training. Additionally, the system informs a runner change of arm swing which is the one of key points of running form with sound awareness. We focus on the virtual competitor in order to raise performance through improvements of running form.

1. はじめに

近年、人々の健康意識は高まり、個人で手軽にできる運動に注目が集まっている。特に、ランニングは、時間・場所を選ばず、多くの人が身近に捉えている。このようなランニングにおける個人トレーニングに対し、トレーナーの遠隔指導システム[1]やオンラインコミュニティサイトによる支援[2]のように、実在の他者を通じた支援だけでなく、仮想的に他者の存在を意識させるデバイス装置やWebシステムによる支援も提案されている[3][4][5][6]。

このうち、リアルタイムに仮想の競走相手(以下：仮想ランナー)を設定するデバイスとしては、Garmin社のフィットネス用GPS機器(ForeRunner 405等)に組み込まれているVirtual Partner[7]等がある。これは、時間や距離情報に基づく目標のペースを数値

的に設定し、GPSで取得されるランナーの位置情報に基づく速度との比較を行う。つまり、一定ペースで走る仮想ランナーとの競走環境を実現することができる。これらは、ランニングの一般的なパフォーマンスである、一定距離に対する到達時間、つまり平均ペースを指標とし、仮想ランナーと並走、もしくは、打ち勝つことを目的にしている。このため、ペースに対するランニングフォームを十分に獲得しているランナーにとっては、ペース走やレースシーンにおいて、有用な支援機器として活用されている。

しかし、これらの機器は、パフォーマンスとしてのペースのみを主体的に意識したものである。このため、フォームが未熟なランナーに対しては、過度にペースを維持することや、打ち勝つことのみ意識を与える可能性がある。そのような意識は、フォームを崩すだけでなく、スポーツ障害につながりかねない。特に、ランニング愛好家は、その傾向が強く、長時間にわたりペースを維持しようとする忍耐が、故障を生む潜在要素になる可能性がある[8]。

現在、運動生理学の面からは、知識とそれに合致した練習方法の実践“スキル・ランニング”が重視さ

*連絡先：徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部

〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1

E-mail: gotoda@is.tokushima-u.ac.jp

れつつあり[9], パフォーマンスだけでなく, その過程にフォームを意識した支援機器が求められている。

そこで著者らは, このような背景の下で, 体の特定の動きに連動して, 仮想ランナーを生成することを検討した。従来のペースではなく, フォーム変化に基づく仮想ランナーとの競走環境を実現し, 同時にフォームに対する訓練も支援する。

具体的には, ランナーの身体に複数のワイヤレス加速度センサを装着させる。本研究では, まず, 腰部分の加速度を取得することで, 過去の自己を仮想ランナーとして生成する。その上で, システムは, 仮想ランナーとの相対的な位置情報を帽子に取り付けた小型ディスプレイの出力を通じて知らせる。また, このように仮想の競走相手を意識させながら, 身体各部位のフォームに連動する腕振の振幅に関する訓練を支援する。その変化に応じて, イヤホンの音を通じたアウェアネス支援を行う。これにより, 初学者的ランナーに対し, 仮想競走下でのフォームの改善を通じて, パフォーマンス向上を支援することを本研究の目的とする。

2. 仮想競走の訓練支援要件

2.1 仮想競走の検討

走行中, 徐々に現れる自身のランニングフォームの変化に対し, 常に注目しながら走行を継続することは難しい。特に, 初学者的ランナーにおいては, より一層困難である。さらに, 競走の中での長時間運動では, 意識が散漫になる可能性が高い。ゆえに, 改善を要するフォームに対する指摘が, 適切なタイミングで実現できるリアルタイム支援環境が重要と言える。このため, フォームの改善を意識した仮想競走の訓練支援実現は, 以下のプロセスに整理できる。

- (1) ランニングフォームのセンシング
- (2) フォーム状態に基づく仮想ランナーの生成
- (3) 視聴覚への働きかけ

まず, (1)のセンシングについて, 体の周期的な動きを阻害しにくいデバイスが必要となる。つまり, 小型かつ軽量な特徴が求められる。また, ランナーのスキルに応じて, 複数の特定部位を組み合わせで観測できることが望ましい。これによって, 様々な市民から構成されるランナーのフォームに対し, 個人適応しやすくなる。

次に, (2)の仮想ランナーの生成について, 本研究では, パフォーマンスを発揮する上で, (機能的)イーブン型と呼ばれる, 全体としては, ほぼ一定のペースに基づく中での競走を前提に検討する[10]。こ

の競走は, エリートランナーに見られる, 順位を考慮した高度なペースコントロールによる戦略的な駆け引きとは異なる。あくまで時間的な記録更新の目標を達成するために, 平均ペースの底上げを支援する競走である。これは, 本研究で対象とするランナーが, 特定のペースに対する適切なフォームの獲得過程にあると想定するからである。ゆえに, これらランナーに対しては, 単純な時間的競走にとらわれることなく, 目標とするパフォーマンスに対応するフォーム安定の意識支援が重要である。次節で述べるフォームの動きと仮想ランナーの相対位置関係を結びつける。

最後に(3)におけるタイミングについて, 変化に対するアウェアネスの即時性が求められるが, 概して, フォームの変化はなだらかであり, 瞬間的なフィードバックまでは, 必要としない。また, 競走相手との位置関係を過度に意識させることは, フォームへの意識を削ぐ可能性がある。このため, ある一定間隔での視聴覚への働きかけを検討する。また, 視聴覚への伝達については, フォームを維持できる状態で伝達できることが好ましい。さらに, 競走の演出や, フォーム改善の指摘は, 運動中のランナーが正確に認識できるよう, 情報量(種類)を絞る必要もある。

2.2 支援対象とするフォームの検討

腕の振りに関して, 特に初心者, 走行中の疲労等により, 下腕の振りが, 前後運動から左右方向へと傾向する事が知られている[9]。初期においても完全に前後になっている振り方は不自然とされるが[11], 初心者は左右方向の振りが徐々に大きくなる。また, これとは逆に上腕の前後方向の振りが小さくなる現象が確認される。この上腕の振りの減少に準じて, 脚のカウンターアクションは鈍くなり, ストライドは狭くなる。結果として, ペースダウンを生む結果となる。腕の動きとペースは密接な関係を持つ。

図1は, 上腕に加速度センサを装着した際に観測される加速度の変化を示したグラフである。腕振りは, 多くのランナーにおいて, 周期的に変化する。これまで, 著者らによって, 波形の周期変化に着目したペース安定支援が実現された[12]が, 一定のペースが確保された集団走の中での訓練を前提とした支援であった。本研究では, 単独走における腕の変化の特徴を考慮し, 加速度の大きさに基づく腕の振幅の変化に注目する。これを計測し, 変化量が一定値を超えた場合には, 腕の運動変化を知らせる。

また, 加速度センサによるランナーのペースの推定には, FootPOD[13]のように, 足の部位で行う方法

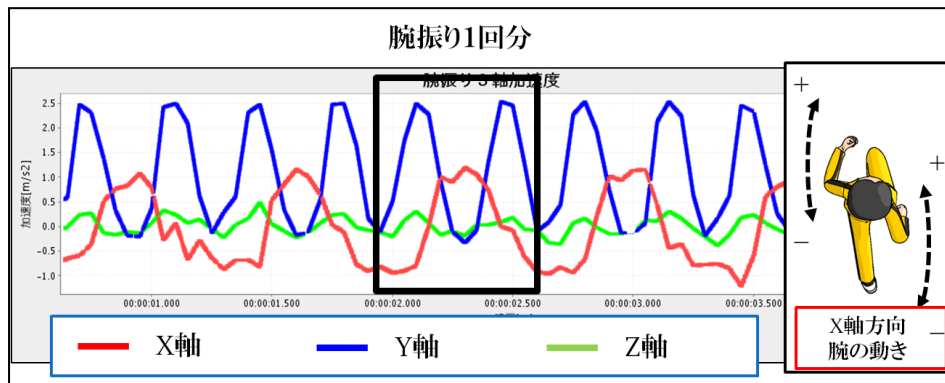


図 1：腕振りによる上腕の加速度変化（各軸は図 2 に基づく）

もあるが、事前に、細かなキャリブレーションを必要とするため、本研究では、より汎用的な、腰部分で加速度を取得する方法を採用する。

3. システム開発

3.1 ハードウェア設計

前節の議論に基づき、本研究の仮想競走訓練の支援を行うシステムを構築した。ワイヤレスセンサデバイスには、オラクル社(旧：Sun マイクロシステムズ社) 製の SunSPOT を用いる(図 2)。これは、温度・照度等の複数のセンサを内蔵し、このうち、本研究では主に 3 軸加速度センサを使用する。また、IEEE802.15.4 のワイヤレスメッシュ規格を持ち、デバイス自体にデータを蓄積するだけでなく、SunSPOT 間でのデータ通信が可能である。さらに、外部接続用の I/O コネクタを持ち、本研究での視聴覚に対するウェアネス支援の機能も本コネクタから拡張している。このように、小型かつ軽量であり、複数の SunSPOT を組み合わせて用いることで、複数箇所に対する同期的なモニタリングとフィードバックが実現可能である。なお、センサのサンプリングは、腕振りの波形認識に十分な 20Hz で観測を行う。本システムでは、前節の議論に基づき、加速度の計測を目的とした SunSPOT を図 3 のように、腕と腰の前方に装着する。

ウェアネス支援機器として、帽子に取り付けられた超小型ディスプレイ(図 4)とオーディオイヤホンを活用する。図 5 のように頭部に装着された超小型の有機 EL ディスプレイ により、任意の画像や文字などの視覚情報をランナーに提示でき、同様に、音声信号によって聴覚情報を提供できる。本研究では、SunSPOT のメモリ上に事前にプリセットされた

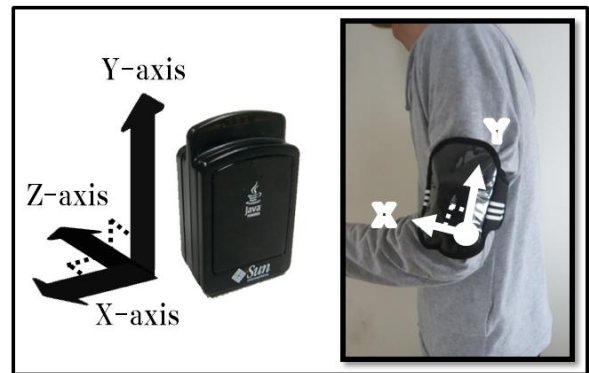


図 2：SunSPOT における加速度の 3 軸と装着例。



図 3：上腕と腰部分のワイヤレスセンサデバイス。

視覚、音リソースを提供することによって支援を行う。このうち仮想ランナーとの位置関係は、図 6 に示すように、異なる画像アニメーションを切り替え

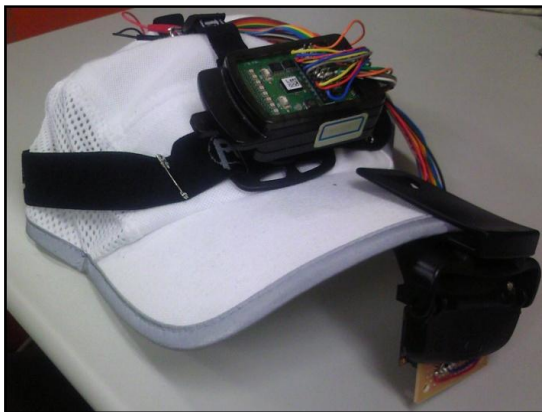


図 4: 超小型ディスプレイと情報出力用 SunSPOT.



図 5: 超小型ディスプレイの装着例.

ることによって表現する.

3.2 モニタリングのフィードバック設計

本研究では、複数のトレーニングの中で、前回の



図 6: 仮想ランナーとの競走情報の提示例.

トレーニングを上回るような底上げをランナーに意識させる. このため、前回のトレーニングに計測される加速度によって、支援発動の基準値を設ける. まず、腰の 3 軸加速度センサによって計測されるランナーの加速度(図 7)によって、現在のペースを求める. 具体的には、15 秒間区間における前方進行方向の加速度(Z 軸)の積分値(サンプリング数: 300 データの和)を比較要素値とする. また、前回のトレーニング時における運動開始から終了までの同積分値の平均を比較基準値とする. その例を図 8 に示す. ここで、本研究では、一般的な競走の概念とは異なり、区間ごとのペース比較のみによって、仮想ランナーの位置関係を表現する. 本研究が、全体としてイーブンのペースでの訓練想定である前提と、走行中、継続的に競走を意識させる理由からである. つまり、比較基準値に対する要素値の大小関係によって、仮想ランナーとの前後関係(追い抜いた, 追い抜かれた)を表現する. この比較に基づく情報は、頭部の Sun SPOT に送信され、位置関係が代わるごとに、描画が更新される.

次に、ペースに関係を持つ腕の振り幅のモニタリングに対するフィードバックであるが、まずモニタリングについて、図 1 に示される腕の加速度のうち、前後方向の X 軸の成分に着目する. 腕 1 振りの同成分の波形は、1 波長の正弦波に似た形であり、極値を 2 つ持つ(極大値と極小値). 同一回の腕振りにお

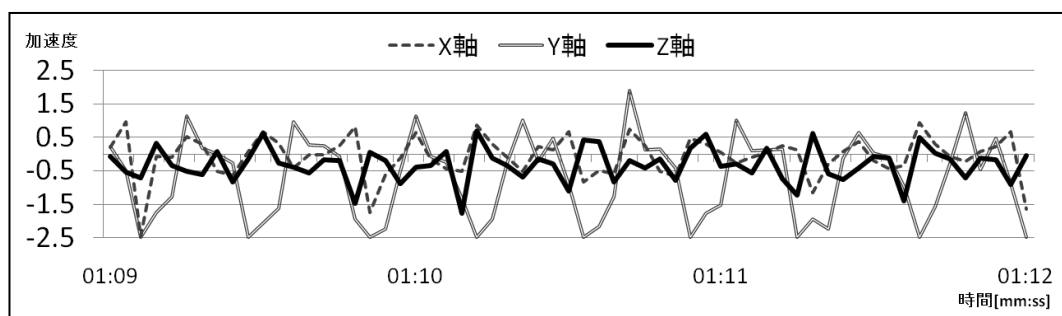


図 7: 腰の加速度センサからの比較要素値に基づく比較基準値の設定例

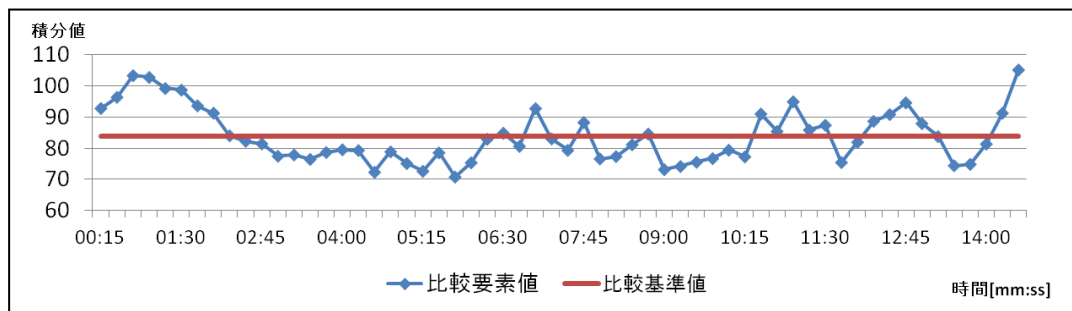


図 8：腰の加速度センサからの比較要素値と比較基準値の例

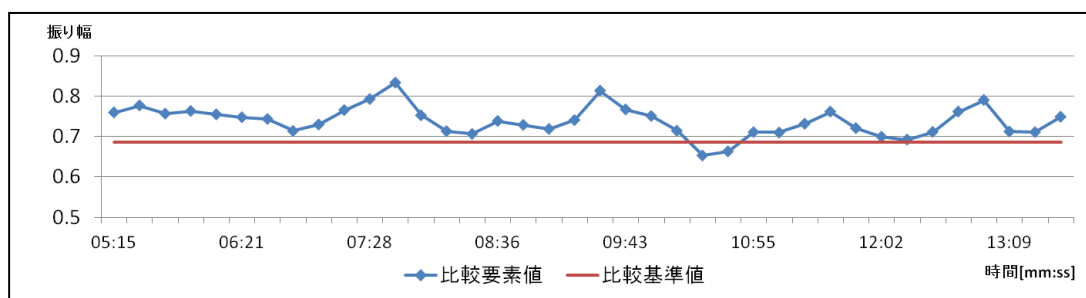


図 9：腕の加速度センサからの比較要素値に基づく比較基準値の例

ける加速度の極大値と極小値の差は、その腕振りの幅に対し相関を持つ。腕振りの幅は、主に運動後半での減少が見られるため、初期の約 2 分間における同差を基準とし、随時比較を行う。具体的には、運動中の時間経過に対する変化は一般的になだらかであるので、本システムでは、18 回分の腕振りの平均値に対する比較を用いて支援を行う。これは、個人差はあるが、およそ 10～14 秒間の動作に相当する。フィードバックについて、ペース変化に伴う、仮想ランナーの位置関係はディスプレイによって伝達するが、腕振りに関するアウェアネス支援は、イヤホンからの音声出力によって行う。ランナーに対し、比較値基準値に対する要素腕の振り幅の減少に応じ、約 2 秒程度腕振りを意識させる音を鳴らす。なお、本支援は、運動開始時のウォーミングアップにおける摂動変化を考慮し、運動開始から一定の時間経過後に発動する仕組みである。

4. 事前調査のための試走

本研究を進める上で、本システムと既に存在する支援方法で検証可能な機器を用いて、パフォーマンス

スに与える影響の比較を簡易的に行った。約 3km の起伏のないコースを設定し、ランニングの陸上経験のない 3 人のランナーに対して、3 種類の環境で試走を行ってもらった。仮想ランナーの存在しない腕時計のみを参照する環境、仮想ランナーとして Virtual Partner を使用する環境、本システムを使用する環境である。それぞれの環境において、試走間で

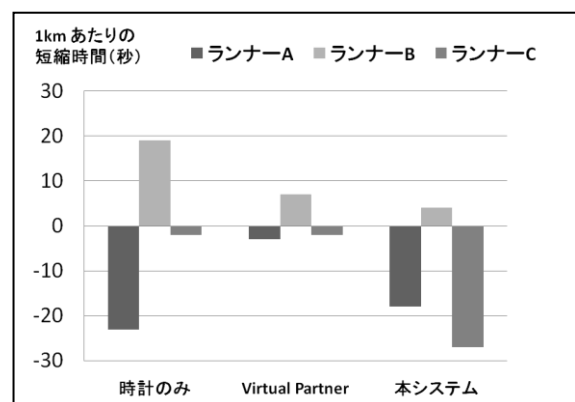


図 10: 各機器の 2 試行間のタイム変化(下方が短縮).

一定の期間を空けた上で、同じ環境を連続して2回ずつ行った。

試走の結果について、同一環境下における2回の試行に対し、1kmあたりの平均短縮時間の差を図10に示す。3人のランナーのうち、ランナーBは、それぞれの環境で、2回目の試行の方が全て遅くなる結果となったが、ランナーA、Cは、全て短縮できた。ランナーAについては、腕時計のみの環境が最も時間を短縮でき、本システムはそれに若干及ばなかった。ランナーB、Cは、本システムの支援が、時間短縮のパフォーマンス観点から最も良い結果が得られた。

ランナーBが、全ての環境において、2回目のタイムが遅くなった理由として、1回目の運動の疲労回復が、試行の間隔に対して十分でなかったと考えられる。また、ランナーAの腕時計のみの環境における2回目の試行は、強い追い風の中での影響があった。これらの事情を考慮した上で、本研究が提案する仮想ランナーとの競走環境における訓練支援システムが、有用に働いた可能性が示唆される。

5. むすび

本研究では、従来のペースのみを意識した仮想ランナーとは異なり、フォームの改善に意識をおいた仮想ランナーとの訓練環境の構築について述べた。仮想競走下でのフォームの改善を通じて、ランニングのパフォーマンス向上を支援する。本シナリオでは、腰と腕の二ヶ所を対象にワイヤレスセンサデバイスから加速度を取得する。これらの値から得られるランナーのペースと、腕の振り幅の変化に着目した。運動中、これらの変化に基づき、仮想ランナーとの位置関係やフォーム変化の指摘を頭部の小型ディスプレイとイヤホンによって、視覚と知覚情報によって伝達する。開発したシステムを用いた試走を少人数で簡易的に行い、その結果から、身体動作に基づく仮想競走のリアルタイム訓練システムがパフォーマンスへの影響に対して、良好な傾向が見られた。現在、具体的な効果を検証する目的で、評価実験を行っており、本システムの援用による効果をウェアネスの発動との関連性も含めて検証する予定である。なお、今後は、腕振り以外のフォームへの適用についても考えていきたい。

謝辞

本研究は、特別研究員科研費基盤(B) 22300291、若手(B)20700641、特別研究員奨励費 22.10013の補助を受けた。

参考文献：

- [1] Gotoda, N., Matsuura, K., Otsuka, S., et al.: "Remote Training-Support of Running Form for Runners with Wireless Sensor", Proceedings of ICCE2010, pp.417-421 (2010)
- [2] 後藤田中, 松浦健二, 金西計英, 矢野米雄: 運動ログを用いたランニングコミュニティ組織化支援, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.2, pp.19-29, (2008)
- [3] Mueller, F. F., O'Brien, S. and Thorogood, A.: Jogging over a distance: supporting a "jogging together" experience although being apart, Proc. of CHI07, pp.2579-2584 (2007)
- [4] 後藤田中, 松浦健二, 大塚真二, 鍋島豊晶, 金西計英, 矢野米雄: "仮想的に訓練集団を構成することによるジョギング支援サイト", 電子情報通信学会論文誌(D), Vol.J93-D, No.7, pp.1144-1153 (2010)
- [5] Biemans, M., Haaker, T. and Szwajcer, E.: "MyCoach: In Situ User Evaluation of a Virtual and Physical Coach for Running", The Engineering of Mixed Reality Systems, Springer, pp.381-397 (2010)
- [6] Yahoo!JAPAN, "LatLongLab presents The Mo-Race", <http://latlonglab.yahoo.co.jp/race/> (2010.12.10 参照)
- [7] GARMIN, Training Video, <http://www8.garmin.com/learningcenter/training/forerunner405/> (2010.12.10 参照)
- [8] 市川宣恭: "スポーツ医学〈1〉けがをふせぐ", 保育社 (1986)
- [9] 山際哲夫: "マラソン・ランニング Q&A", ミネルヴァ書房 (2002)
- [10] 山崎健: "ペースランニングの科学", たのしい体育・スポーツ, Vol.56, pp.13-17, (1995)
- [11] 山地啓司: "マラソンの科学", 大修館書店 (1993)
- [12] Gotoda, N., Matsuura, K., Hirano, T., et al.: Supporting real-time awareness for the community of runners, Int. J. of Knowledge and Web Intelligence, Vol.1, No.3-4, pp.289-303 (2010)
- [13] Suunto, "Foot POD", <http://www.suunto-japan.jp/products/list/sportscomputer/exercise/pod> (2010.12.10 参照)