

過去の走行を再現するように光る LED テープを利用した 短距離走練習方法

満仲望¹ 土田修平¹ 寺田 努¹ 塚本昌彦¹ 柳沢 豊²

概要: スポーツの練習場面において, 練習相手との競争はモチベーションやパフォーマンスの向上に繋がる。しかし 1 人で練習する場合や, 練習相手が自身の運動能力と釣り合わない場合では, 適切な練習相手がいる場合に比べて練習の効果が落ちる可能性がある。適切な練習相手が存在すれば, 練習相手が目標となり練習に対するモチベーションを維持しやすく, 練習相手に勝とうとする競争心によりパフォーマンスも高まると考えられる。そこで本研究では短距離走の練習に着目し, ランナーの過去の走行データに基づいて LED テープを流れるように光らせることにより過去の走行を再現し, それとランナーを競争させる練習方法を提案する。光を練習相手に見立てることで, ランナーの練習に対するモチベーション及びパフォーマンスの向上が期待できる。短距離走練習時のモチベーション及びパフォーマンスの向上に効果的な LED テープの光らせ方を調査するために, 従来手法である LED テープを光らせないときの走行タイムと, 提案手法である LED テープを光らせるときの走行タイムを比較する評価実験を行った。また実験後, 被験者には走行に関するアンケートを行い, 評価実験の結果と合わせて考察を行った。実験の結果, LED テープを光らせなかったときの走行タイムと LED テープを光らせたときの走行タイムに有意差はみられなかった。ただし, 走行時のモチベーションに関するアンケート結果では有意差がみられたため, LED テープを光らせるときの練習では練習に対するモチベーションの向上に繋がったと考えられる。

1. はじめに

スポーツの練習場面において, 練習相手との競争はモチベーションやパフォーマンスの向上に繋がる。岸野ら [1] はユーザの走行情報をサーバに共有することにより, 同じ場所にいないユーザ同士で競争できる仮想マラソンシステムを提案している。このシステムにより過去の自分自身の記録と競争できる。評価実験では自分自身, 友人, 他人を競争相手とするグループと競争しないグループに分け, 3km のコースを歩行した場合のタイム差と運動促進効果の関係性を調査した。友人や他人を競争相手とする場合には競争しない場合に比べて, 統計的に有意傾向を示すタイム差が観測され, 運動促進効果が示唆された。

これらのことから, 練習時に練習相手が存在するとモチベーションが向上し, パフォーマンスの向上に繋がる可能性があると考えられる。しかし, 練習時に必ず練習相手が存在するとは限らない。また, 仮に練習相手がいたとしても自分の運動能力に釣り合わない場合がある。この場合, 適切な練習相手がいる場合に比べて練習に対するモチベーションは低下し, パフォーマンスも低下する可能性がある。

短距離走の練習において, 適切な練習相手が存在すれば練習相手に勝とうとする競争心により, ランナーのモチベーションとパフォーマンスが高まると考えられる。そこで本研究では, ランナーの過去の走行データを LED テープの光を用いて再現し, それとランナーを競争させることで, ランナーのモチベーションを上げ, パフォーマンスを高める練習方法を提案する。この手法では, ランナーが過去の自分の走行タイムに基づいて提示される光をリアルタイムで見ながら走れるので, 過去の自分の走行と仮想的に競争できる。LED テープを使用しない従来の練習方法と比較して練習相手となる光が存在するため, 練習に対するモチベーション及びパフォーマンスの向上が期待できる。また, LED テープを光らせる速さは容易に変更できるため, 短距離走におけるランナーの走行タイムに応じて, LED テープが光る速さを容易に変更できる。さらに LED テープの設置場所を考慮することで, ユーザの走行の邪魔にならないという利点がある。

2. 関連研究

2.1 モチベーションの向上とパフォーマンスの向上の関係
山崎ら [2] はバドミントン選手に対してモチベーションビデオ [3] を試合開始 1 時間前に見せることで選手のモチ

¹ 神戸大学大学院工学研究科

² エムプラス株式会社

ベーション向上を試み、パフォーマンス改善に繋がるかどうかを調査した結果、ビデオを見てから試合に臨んだ選手の方がビデオを見ずに試合に臨んだ選手よりモチベーション及びパフォーマンスが向上する傾向がみられた。モチベーションビデオとはセルフモデリング理論 [4] に基づいて作成され、過去の試合映像から選手自身が良いと感じるプレイを集めたビデオである。福家ら [5] はピアノ演奏の練習において、学習者のモチベーションを維持させるために、ミス許容度を導入した。ミス許容度が最も高いモードでは、どの鍵を押しても常に正しい音出力される。評価実験を行った結果、学習者は従来手法と比較してモチベーションを維持し、技術を向上させた。

このようにモチベーションの向上とパフォーマンスの向上は関係が深い。したがって、短距離走の練習においても練習中のモチベーションを向上させればパフォーマンスの向上に繋がると考えられる。

2.2 仮想環境を利用した運動促進

2.2.1 陸上競技以外での仮想環境を利用した運動促進

トレッドミルで走ったり、エクササイズバイクでサイクリングをしたりするような屋内で繰り返し行うエクササイズは退屈で長続きしないケースが多い。そこで Nunes ら [6] はトレッドミルを用い、スクリーンに映し出された仮想環境において、仮想の競争相手と競争できるアプリケーションを提案している。評価実験の結果、1人で走るモードのときより競争モードのときの方がユーザは強いモチベーションを得ることにより、パフォーマンスが向上した。Hoffmann ら [7] は、2000m のローイングにおいて仮想現実を使用することがパフォーマンスに与える影響を調査した。仮想現実使用、非使用で参加者をグループ分けした評価実験では、仮想現実を使用したグループにおいてパフォーマンスの向上がみられた。また Murray ら [8] は、60 人の被験者を仮想現実無しのグループ、仮想環境内で単独または別の個人と経験するグループの 3 グループに分けて、有酸素運動のパフォーマンス、動機づけの違いを調査した。運動の内容は、エルゴメータを用いた自己ペースのローイングを 9 分間行うことである。実験の結果、2つの仮想現実グループは仮想現実無しのグループと比べて、パフォーマンス及びモチベーションの向上がみられた。特に同じ仮想現実環境でも、仮想チームメイトを含めることで、よりパフォーマンスの向上がみられた。

このように、仮想環境内ではモチベーションやパフォーマンスの向上に効果があるとされている。よって本研究で、短距離走におけるランナーが過去の走行データに基づいて提示される LED テープの光と競争することにより、モチベーション及びパフォーマンスが向上するのではないかと考えられる。

2.2.2 陸上競技における仮想環境を利用した運動促進

陸上競技において、仮想的に他者の意識をさせるデバイスや Web システムによる支援を行う研究は数多く存在する。中西ら [9] は、運動促進のため神戸マラソンを仮想的に体験できる Android アプリケーションを提案している。このアプリケーションでは、神戸マラソンで記録された 17769 人の走行データを導入することにより、大規模な競争機能が実現された。評価実験の結果、大規模競争機能は 1 対 1 の競争に比べてより強い運動促進効果が得られた。このようなスマートフォンのアプリケーションを使った仮想競争では、マップ上のコース状況や競争状況を確認するときにスマートフォンを見る必要がある。これは走行時に運動の妨げになるだけでなく、室外で使用するにより通行人と衝突する危険が伴う。そこで岡野ら [10] は、スマートグラスを用いたバーチャルマラソンシステムを提案している。スマートグラスの場合画面を注視することにより、周りが見えなくなる危険が減る。比較実験の結果、仮想的に競争する場面において俯瞰視点よりランナー視点の方が優れている結果が得られた。Pilloni [11] は、ユーザが設定したペースで走行する仮想パーソナルトレーナーと競争ができるモバイルアプリを提案している。このアプリケーションを用いることにより、ユーザは運動の意欲を維持できる。後藤田ら [12] は身体に複数のワイヤレス加速度センサを装着し、動作データを取得することにより、過去の自分と競走を試みるシステムを提案している。このシステムでは、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を構築している。頭部に取り付けたイヤホンや小型ディスプレイによって、仮想の競走相手を意識させながら訓練を支援する。評価実験の結果、パフォーマンスの向上がみられた。Mueller ら [13] はジョギングパートナーが必ずしも同じ地域に住んでいるとは限らないという状況の中で、空間化されたオーディオを使用することにより、遠く離れた地域にいるユーザと仮想的に一緒にジョギングをするシステムを提案し、ジョギングのモチベーション向上を実現した。後藤田ら [14] は GPS を用いて、同じコースを非同期で提供するユーザ間での仮想的な競争シミュレーションシステムを提案した。このシステムにより、オンラインのコミュニティ空間での集団訓練環境が再現される。評価実験の結果、オンラインコミュニティ空間での競争的な訓練環境の提供により、実世界におけるジョギングトレーニングでのタイム短縮につながった。Biemans ら [15] は携帯電話とウェブアプリケーションで構成された仮想コーチを利用し、ランニングの目標達成支援を行った。鈴木ら [16] は、立体音響や GPS により取得したユーザの位置情報を使用することにより、仮想ランナーと交流できるシステムを提案し、運動目標達成に対するモチベーションを向上させるためにリアルタイムで支援を行った。

走行ペースを変えながら走る長距離走ではディスプレイ

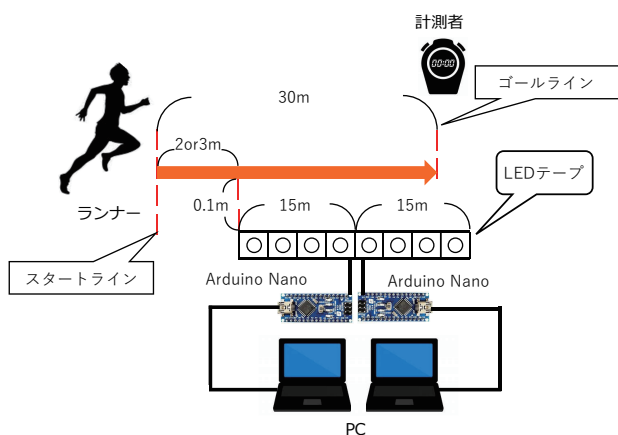


図 1: システム構成

表示を見たり、ウェアラブルデバイスをつけたりすることは、被験者の走行に支障が出にくいと考えられるが、全力で走る短距離走においては、ディスプレイ表示を見る余裕があまりない。そこで本研究ではLEDテープを走行ラインに沿って配置することにより、短距離走において、より自然な状態で運動を促進できる。

3. 提案システム

提案システムの構成を図1に示す。30mの短距離走において、スタートラインの前方2mまたは3m、右手側0.1mの地点からゴールに向けて、5mのLEDテープ[17]を6本配置する。LEDテープ1本当たり、LEDが150個配置されている。スタート位置の前方にLEDテープを配置するのは、LEDテープが自然にランナーの視界に入るようにするためである。マイコン(Arduino Nano[18])1個あたりで制御できるLEDの個数には限界があるため、マイコンは2個使用する。1つのマイコンに対して3本のLEDテープを接続し、マイコン同士をシリアル通信させることで30mのLEDテープを制御する。走行タイム計測者の合図と同時にPCのエンターキー押すことにより、LEDテープが流れるように光りだす。LEDテープは一定速度でスタート位置からゴール位置に向かって光が流れる。その流れる速さは可変であり、ランナーの走行タイムに応じて変更する。

4. 予備実験

4.1 実験内容

予備実験では、30mの短距離走を被験者に走ってもらうことにより、LEDテープの適切な配置場所を調査する。被験者は20代男性4人で、被験者A, B, C, Dとする。図2のようにLEDテープをスタート位置から2m前方に配置する。計測者のスタートの合図で、スタート位置の2m前方から赤色に光るLEDが10個(約35cm)と、3m前方から緑色に光るLED10個それぞれが同時に流れるように光

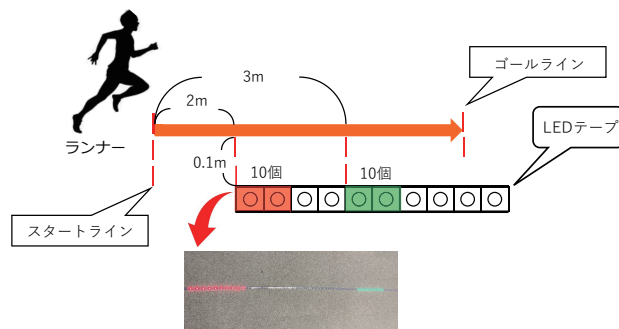


図 2: 予備実験の実験環境



図 3: 実験の様子

表 1: 走行回数ごとのLEDテープの有無

走行回数 [走目]	LEDテープの有無
1	無
2	有
3	無
4	有
5	無
6	無

る。また、実験の様子を図3に示す。予備実験ではLEDテープの有無が走行タイムの変化に与える影響を調査するために、被験者には表1の条件で走行してもらい、走行後にはアンケートを行った。LEDテープを光らせる順番は被験者のモチベーションに関わるため、被験者には知らせなかった。2走目及び4走目でのLEDテープの光が流れる速さは、1走目の被験者の走行タイムに基づいて、被験者の走る速さと同程度になるように設定する。アンケートでは、「走行時のモチベーションは高いと感じたか」について、「感じた」が5、「感じなかった」が1の5段階評価で回答してもらった。また、「赤色(2m前方)と緑色(3m前方)のどちらが自然に目に入ったか(見やすかったか)」についても回答してもらった。LEDテープを光らせない条件が5, 6走目で続いている理由は、LEDテープによる効果と関係なく、最後の1走ということでやる気が沸いて、

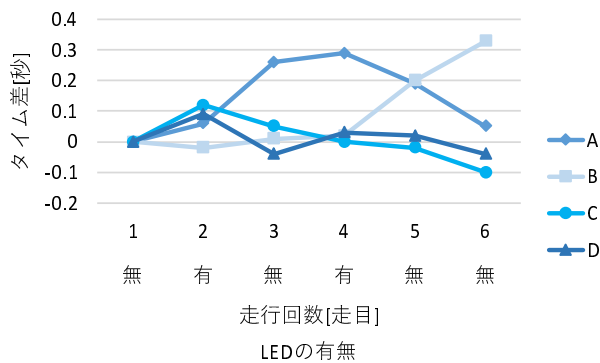


図 4: 各走行タイムと 1 走目のタイム差

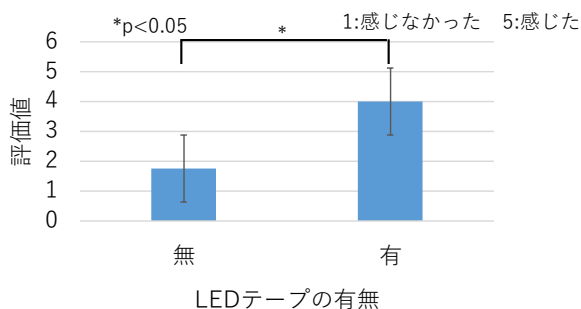


図 5: 「走行時のモチベーションは高いと感じたか」のアンケート結果

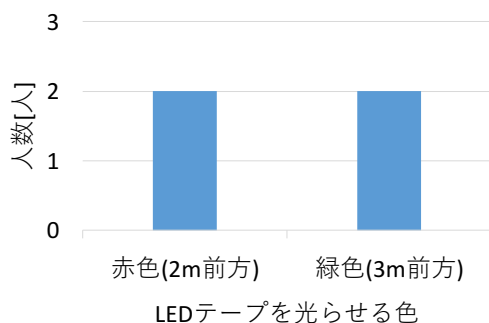


図 6: 「赤色と緑色のどちらが自然に目に入ったか」のアンケート結果

走行タイムが短くなるという仮説を検証するためである。

4.2 実験結果と考察

各走行タイムを 1 走目とのタイム差で表したものを図 4 に、「走行時のモチベーションは高いと感じたか」のアンケート結果を図 5 に、「赤色 (2m 前方) と緑色 (3m 前方) のどちらが自然に目に入ったか (見やすかったか)」のアンケート結果を図 6 に示す。走行タイムについて、LED テープを光らせた 2, 4 走目に走行タイムが短くなっている被験者は少なかった。しかし、LED テープを光らせた 2, 4 走目の直後の 3, 5 走目を参照すると走行タイムが短くなっている被験者が 2 人いた。また、被験者 B のように疲労による影響のせいか、あまり走行タイムが短くならない被験者もいた。

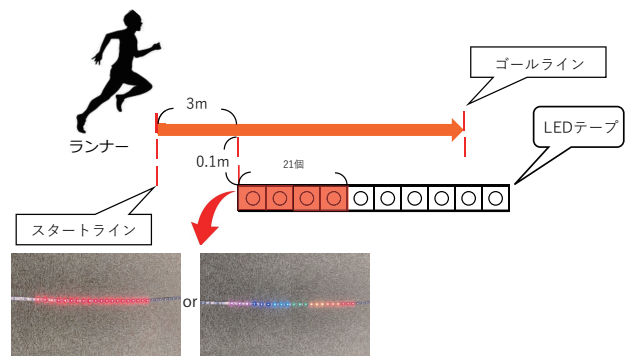


図 7: 実験環境

走行タイムに関しては良好な結果は得られなかったが、「走行時のモチベーションは高いと感じたか」のアンケート結果を被験者内一要因分散分析した結果、有意差がみられた ($F(1,3)=22.09, p<0.01$)。この結果より、被験者は LED テープを光らせたときに高いモチベーションで練習できたのではないかと考えられる。2m 先の LED と 3m 先の LED のどちらが見やすかったかについては、図 6 より有意差はみられなかった。今回は赤色が 2m 前方、緑色が 3m 前方という条件で LED テープを光らせていたが、今後は LED テープを、緑色が 2m 前方、赤色が 3m 前方で光らせるという条件で実験を行う必要がある。また 5 走目の走行タイムと 6 走目の走行タイムを比較すると、6 走目の走行タイムが短くなっている被験者が 3 人いるが、6 走目の走行タイムが 1 走目の走行タイムより短い被験者は 2 人であり、仮説の通りにはならなかった。

5. 実験

5.1 実験内容

本実験では 30m の短距離走において、提案システムを用いた際、従来手法より練習効果が出やすい LED テープの光らせ方を調べるために、LED テープの色と光が流れる速さを各 2 種類、計 4 種類を用意し走行タイムの変化を調査する。LED テープの点灯パターンを表 2 に示す。

1 走目は各被験者が 30m を走行するのにかかる走行タイムを計測するために、LED テープを光らせなかった。2 走目から 6 走目は、被験者ごとに点灯パターン「無し」から「虹速」を無作為に割り当てる。被験者ごとの LED テープの点灯パターンを表 3 に示す。LED テープは図 7 のように配置し、計測者のスタートの合図で、21 個 (約 70cm) の LED が流れるように光り出す。光らせる LED の個数が予備実験より増えている理由は、予備実験のアンケートにて、「光らせる LED の個数を少し増やすと、より見やすくなる」という意見があったからである。被験者は 20 代男性 8 人で A から H とし、実験後には走行に関するアンケートを行った。アンケートでは「速く走れた感じはしたか」、「走行時のモチベーションは高いと感じたか」について、「感じた」が 5、「感じなかった」が 1 の 5 段階評価で

表 2: LED テープの点灯パターン

点灯パターン	LED の色	LED テープの点灯時間
無し	無し	1 走目の走行タイム
赤	赤色	1 走目の走行タイム-約 0.2 秒
赤速	赤色	1 走目の走行タイム
虹	虹色	1 走目の走行タイム
虹速	虹色	1 走目の走行タイム-約 0.2 秒

表 3: 被験者ごとの LED テープの点灯パターン

被験者	1 走目	2 走目	3 走目	4 走目	5 走目	6 走目
A	無し	虹速	赤	赤速	無し	虹
B	無し	虹	無し	赤	虹速	赤速
C	無し	赤速	赤	虹	無し	虹
D	無し	赤	無し	虹	赤速	虹速
E	無し	赤	赤速	虹速	無し	虹
F	無し	赤速	虹速	虹	無し	赤
G	無し	虹	赤	無し	赤速	虹速
H	無し	虹	無し	赤速	赤	虹速

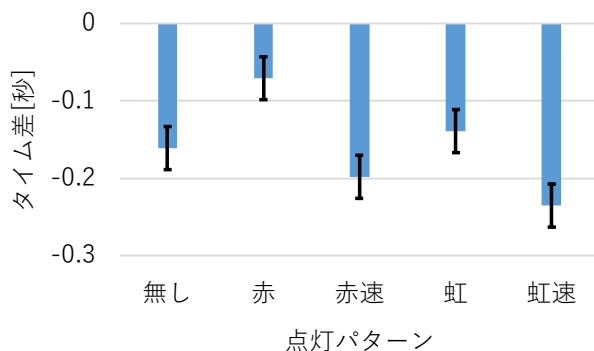


図 8: 各点灯パターンと 1 走目の走行タイム差の平均値

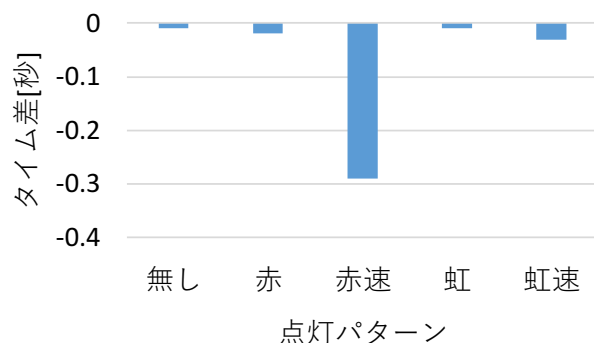


図 9: 被験者 B の各点灯パターンと 1 走目の走行タイム差

回答してもらった。

5.2 結果と考察

図 8 に各点灯パターンと 1 走目の走行タイム差の平均値

を示す。LED テープ点灯時の全ての走行タイムが、LED テープ非点灯時の走行タイムより上回っている被験者は、全体の約 33% であった。各被験者の 2 走目から 6 走目のそれぞれの走行タイムと 1 走目の走行タイムとの差を利用し、被験者内一要因分散分析した結果、LED テープの光る色、速さに有意差はみられなかった ($F(4,28)=0.91$)。LED テープの光る色による走行タイムの比較を行うために、パターン「虹速」の走行タイムとパターン「赤速」の走行タイム、及びパターン「虹」の走行タイムとパターン「赤」の走行タイムを比較する。パターン「虹速」の走行タイムがパターン「赤速」の走行タイムより短くなっている被験者は全体の約 89% であり、パターン「虹」の走行タイムがパターン「赤」の走行タイムより短くなっている被験者は全体の約 44% であった。また、LED テープの光る速さによる走行タイムの比較を行うために、パターン「赤速」の走行タイムとパターン「赤」の走行タイム、及びパターン「虹速」の走行タイムとパターン「虹」の走行タイムを比較する。パターン「赤速」の走行タイムがパターン「赤」の走行タイムより短くなっている被験者は全体の約 78% であり、パターン「虹速」の走行タイムがパターン「虹」の走行タイムより短くなっている被験者は全体の約 89% であった。

LED テープを光らせる速さをランナーが走る速さより少し早くした方が、走行タイムが良くなり、虹色に LED テープを光らせたときの方が、赤色に LED テープを光らせたときより走行タイムが良くなる傾向にある。

アンケート結果の平均値を図 10、図 11 に示す。「速く走れた感じはしたか」、及び「走行時のモチベーションは高いと感じたか」の 2 項目のアンケート結果について、被験者内一要因分散分析を行った結果、どちらも有意差がみられた ($F(4,28)=16.50$, $p<0.01$, $F(4,28)=14.96$, $p<0.01$)。さらに、Bonferroni 法を用いて多重比較を行ったところ、どちらのアンケート結果でも、LED テープを光らせたときのアンケート結果の平均値が、LED テープを光らせなかったときのアンケート結果の平均値より有意に大きかった ($MSe=0.4000$, $p<0.05$, $MSe=0.4554$, $p<0.05$)。これらの結果より、被験者は LED テープを光らせて走行したときに高いモチベーションで練習を行えたのではないかと考えられる。

次に LED テープを虹色に光らせたときよりも赤色に光らせたときの方が走行タイムが短かった被験者 B について考察する。被験者 B の各走行タイムと 1 走目のタイム差を表したものを図 9 に示す。被験者 B はアンケートで、「LED テープが赤色に光っているときの方が速く走らないといけなかった」と回答している。実際には、LED テープをパターン「赤」で光らせたときの方がパターン「虹」で光らせたときより走行タイムが短かった。赤色には、「活力を感じ気持ちを前向きにさせる。アドレナリンを分泌し興

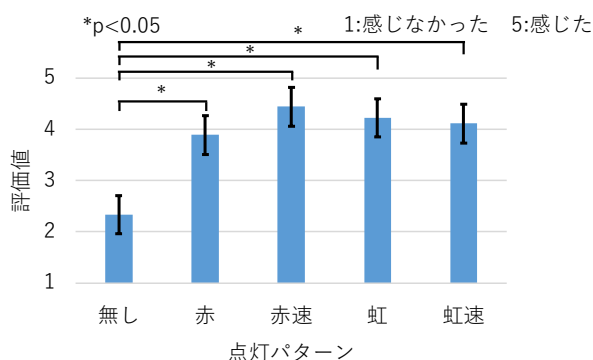


図 10: 「速く走れた感じはしたか」のアンケート結果

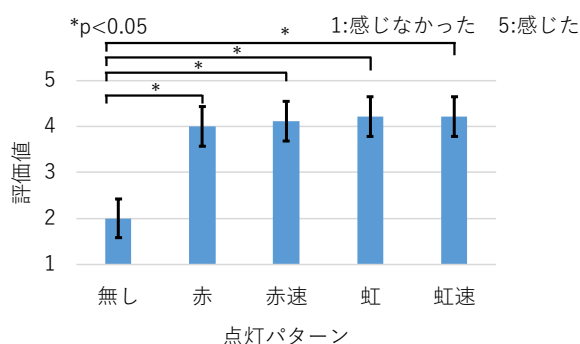


図 11: 「走行時のモチベーションは高いと感じたか」のアンケート結果

奮を促す。」といった心理効果が働くため、パフォーマンス向上につながったのではないかと考えられる [19], [20]. このような被験者ごとの LED テープの光る色に対する印象の違いが、走行タイムに有意差が現れなかった原因の 1 つではないかと考えられる. 他に「LED テープを意識しすぎると走行フォームが崩れるため、LED テープが無い方が走りやすかった」というアンケート回答があった. 本研究の提案システムでは走行フォームは考慮されていないが、短距離走の走行タイムを縮めるためには、走行フォームは重要な要素である. したがって、走行フォームが崩れないようなシステムの構築が課題としてあげられる. また 30m 走を 6 本走る過程において、一部の被験者に疲労がみられた. 疲労は走行タイムに影響を与えるため、今後疲労度合を考慮した実験を行う必要がある.

6. まとめ

本研究では LED テープを用いた短距離走練習において、より練習効果の出やすい LED テープの光らせ方を調査するために、ランナーの過去の走行データに基づいて LED テープを光らせることで、仮想的に過去の自分と競争できる練習方法を提案した. 提案システムの有用性を示すために、30m 走において LED テープ点灯時の走行タイムと LED テープ非点灯時の走行タイムを比較する実験を行っ

た. 実験では、LED テープを光らせる色を赤色の単色、虹色の 2 種類、光らせる速さを被験者の速さと同程度、被験者より少し速い速さの 2 種類、計 4 種類の LED テープの光らせ方を用意した. 実験の結果、LED テープの光らせ方の違いによる走行タイムへの影響に有意差はみられなかった. しかし、LED テープの光らせる速さを被験者の走る速さより少し速くした場合に、走行タイムが短くなる傾向にあった. またアンケートの結果、LED テープを用いることにより練習におけるモチベーションの向上がみられた. そのため、提案手法を用いて長期的に練習することにより効果が出る可能性があると考えられる. 今後の課題としては、被験者の疲労を考慮することが挙げられる. 疲労は走行タイムへの影響が出る可能性があるため、疲労を加味した練習方法を検討する必要がある. また本研究では、30m という短い距離での実験を行ったが、より実用的な 50m, 100m という距離への応用を目指す. 30m 走は走行タイムが短いため、LED テープを使用することによるパフォーマンスへの効果が出にくかった可能性がある. 50m, 100m 走では走行時間が長くなるため、LED テープがパフォーマンスに影響を与える可能性がある. 本研究では 20 代男性を被験者として実験を行ったが、短距離走でのパフォーマンスの有意な向上はみられなかったが、モチベーションの有意な向上はみられた. そこで被験者の年齢層を下げ、モチベーションの向上がパフォーマンスの向上により繋がる可能性のある小学生を対象に実験を行うことで、より良い練習効果が得られるのではないかと考えられる.

謝辞 本研究の一部は JST CREST(JPMJCR16E1, JPMJCR18A3) および MEXT Society 5.0 実現化研究拠点支援事業によって行われたものである. ここに記して謝意を表す.

参考文献

- [1] 岸野寛史, 北村泰彦: 仮想マラソンにおける競争機能による運動促進, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 99, No. 1, pp. 56-64 (Jan. 2016).
- [2] 山崎将幸, 杉山佳生: バドミントン選手におけるモチベーションビデオの介入効果—試合 1 時間前視聴タイミングからの検討—, スポーツパフォーマンス研究, Vol. 1, pp. 275-288 (Mar. 2009).
- [3] 山崎将幸, 杉山佳生, 内田若希: バドミントン選手におけるモチベーションビデオの試合直前視聴介入効果, 体育測定評価研究, Vol. 8, pp. 17-25 (Mar. 2009).
- [4] P. Dowrick: A Review of Self Modeling and Related Interventions, *Journal of Applied and Preventive Psychology*, Vol. 8, No. 1, pp. 23-39 (Dec. 1999).
- [5] 福家悠人, 竹川佳成, 柳 英克: モチベーションの維持を考慮したピアノ学習支援システムの構築, Vol. 2013, No. 6, pp. 1-7 (Mar. 2013).
- [6] M. Nunes, L. Nedel, and V. Roesler: Motivating People to Perform Better in Exergames: Competition in Virtual Environments, *Proc. of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, pp. 970-975 (Mar. 2014).
- [7] C. Hoffmann, A. Filippeschi, and E. Ruffaldi: Energy

- Management Using Virtual Reality Improves 2000-m Rowing Performance, *Journal of Sports Sciences*, Vol. 32, No. 6, pp. 501–509 (Aug. 2013).
- [8] E. Murray, D. Neumann, and R. Moffitt: The Effects of the Presence of Others during a Rowing Exercise in a Virtual Reality Environment, *Psychology of Sport and Exercise*, Vol. 22, pp. 328–336 (Jan. 2016).
 - [9] 中西裕也, 北村泰彦: 仮想マラソンにおける大規模競争機能における運動促進, *Human-Agent Interaction Symposium*, pp. 325–330 (Dec. 2015).
 - [10] 岡野友貴, 北村泰彦: スマートグラスを用いたバーチャルマラソンに適した競争表現, *Human-Agent Interaction Symposium* (Dec. 2017).
 - [11] P. Pilloni: Experiences from a Long Run with a Virtual Personal Trainer, *Proc. of the 8th International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, pp. 601–612 (Jun 2014).
 - [12] 後藤田中, 松浦健二, 平野卓次: 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, *SIG-SKL*, Vol. 8, No. 1, pp. 1–6 (Dec. 2010).
 - [13] F. Muelle, S. O'Brien, and A. Thorogood: Jogging over a Distance: Supporting a "Jogging Together" Experience although Being Apart, *Proc. of the 2007 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1989–1994 (Apr. 2007).
 - [14] 後藤田中, 松浦健二, 大塚真二: 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. 93, No. 7, pp. 1144–1153 (July 2010).
 - [15] B. Margit, H. Timber, and S. Ellen: MyCoach: In Situ User Evaluation of a Virtual and Physical Coach for Running, *The Engineering of Mixed Reality Systems*, pp. 381–397 (Oct. 2010).
 - [16] 鈴木大介, 鈴木拓央, 中内 靖: 運動目標の達成を促進する仮想ランナー提示システムの提案, *情報科学技術フォーラム講演論文集*, Vol. 11, No. 3, pp. 13–22 (Sep. 2012).
 - [17] WS2812B RGB LEDstrip, <http://www.alitove.net/product/ws2812b-150bk-ip67/> (Accessed 2020-4-27).
 - [18] Arduino Holding: Arduino Nano, <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano> (Accessed 2020-4-27).
 - [19] 色彩心理, http://color-psychology.jp/k_sports.html (Accessed 2020-4-27).
 - [20] 張 禎, 邵 建雄, 潘 珍: 色彩環境の変化が身体運動能力に及ぼす影響, *人間発達学研究*, Vol. 5, pp. 23–29 (Mar. 2014).