

## 異なる照明色が有酸素性運動の心的負荷に与える影響

森山剛<sup>1)</sup> (正会員) 三橋航太<sup>1)</sup> (非会員) 木村瑞生<sup>1)</sup> (非会員) 東吉彦<sup>1)</sup> (非会員)

1) 東京工芸大学工学部工学科

## Effects of Illumination Color on Mental Load Excited by Aerobic Exercises

Tsuyoshi Moriyama<sup>1)</sup>(Member) Kota Mitsuhashi<sup>1)</sup>(Non Member) Mizuo Kimura<sup>1)</sup>(Non Member) Yoshihiko Azuma<sup>1)</sup>(Non Member)

1) Department of Engineering, Tokyo Polytechnic University  
moriyama@t-kougei.ac.jp

### アブストラクト

近年、日本では15歳以上の約6割の人が運動不足だと言われている。運動不足解消には有酸素運動と無酸素運動のどちらも行うのが有効である。しかし、単調な運動は継続することが難しい。また、高齢者や何らかの障害を抱えた低体力者は、低強度で休息を許す有酸素運動に限定される。本研究では、環境を変えることが運動の継続性を高めるかを実験により明らかにすることを目的とし、バイクをこぐ有酸素運動を行う際の室内照明色を、赤、緑、青、照度3段階の白色に変化させたときの、アンケートによる心的負荷及び自覚的運動強度、心拍数を観測した。実験の結果、カルボネン方式による20%強度の低強度有酸素運動において、赤色照明が青や白色光に比べて被験者を興奮させ、逆に白色光は赤色照明よりも被験者をリラックスさせることが分かった。これらの心理的な有意差が現れた一方で、身体面(心拍数)には照明色の違いによる影響はなかった。

### Abstract

The world health organization (WHO) reported that around sixty percent of people at the age of fifteen years and older in Japan lack of daily exercise. The importance and necessity of both oxygen-free exercises and aerobic ones for staying healthy is obvious, but practicing those exercises constantly, especially those which are too simple and boring, accompanies so much mental load that makes people reluctant from doing so. One direction of research efforts that have been paid for encouraging exercises is investigation of the environmental factors of exercise such as background music. Here we report the experimental results about the effect of illumination color and intensity that surrounds the person who pedals a bike. The subjects were asked to pedal a aero bike under several illumination conditions and to answer a questionnaire for measuring how they felt about the exercise and the pedaling workload. Their heart-beat rate was also measured during the exercise. The comparison of the subjective evaluation and the physical performance among those illumination conditions indicated that red illumination has made the subjects more excited than each of blue and white illuminations, whereas white has made them relaxed than red. Red illumination seemed to have affected the mental aspect without influencing the physical aspect of heart-beat rate.

## 1. はじめに

世界保健機構 (WHO) は、15 歳以上の日本人の約 6 割が運動不足だと報告している[1]. 厚生労働省の調査でも、2017 年までの 10 年間で運動習慣を有する者の数の割合はほぼ横ばいで推移し、男性で 35.9%、女性で 28.6%に留まっている。2007 年の統計では実に約 5 万人が運動不足で死亡していることも分かっている[2]. 運動不足は、直接的にサルコペニア (骨格筋減退) やロコモティブシンドローム (移動機能低下) へとつながるが、運動不足による下半身の骨格筋の弱体化から姿勢の悪化を招き、それが原因で口呼吸の常態化と口腔内環境の悪化 (オーラルフレイルの状態)、さらにそれが食欲を低下させ低栄養状態へとつながり、身体的フレイル、精神的フレイル、社会的フレイルへと負の連鎖が起きる要因とも指摘されている[3].

そこで運動不足を解消するための運動習慣を促進しようとする試みが多く行われている[4]. 厚生労働省が定めた運動指針によると 30 分の運動を週 2 回以上するのが良いとされている[5]. 運動には、有酸素運動と無酸素運動の 2 種類があり、どちらも行うのが運動不足解消に有効であるが、これらは単調な運動であることが多く、アスリートであっても継続する動機を維持することが難しい。2002 年に健康増進法が制定されてから運動習慣を持つ人口の割合が一向に増えていないことの一因とも考えら

れる。

一方で、運動する環境が運動者に与える効果に関する研究も (数は少ないが) 行われている。すなわち、音楽や天井や壁、空からの照明の色や明るさ、温度や湿度などが、運動中の運動者の心理面に影響を与えることによる、運動促進効果を期待するものである。特に音楽に関しては、音楽の種類に依らず無酸素運動と有酸素運動の両方を促進することが実証されている[6]. 照明に関してもいくつか研究がなされてきた。三木らは、エキササイズバイクをこぐ時の好ましい色温度及び照度に関して実験を行った[7]. 張らは、走運動時の照明色に関する実験を行い、緑色で心拍数が有意に少ない結果となった[8]. さらに基本的な照明色への人体の反応として、東らは、照明色を変化させた際の脳血流を計測し、色の興奮・鎮静作用を明らかにした[9]. これらの研究では、どのような環境要因が運動を促進するかまでは検討されてこなかった。

本研究では、転倒等のリスクが少ないことからバイクをこぐ有酸素運動を対象とする。また、運動の環境要因として照明色に着目した実験を通して、被験者が視界いっぱい照明色を見ながらバイクをこぐ環境において、どのような照明色条件が運動を促進し得るかを検討することを目的とする。

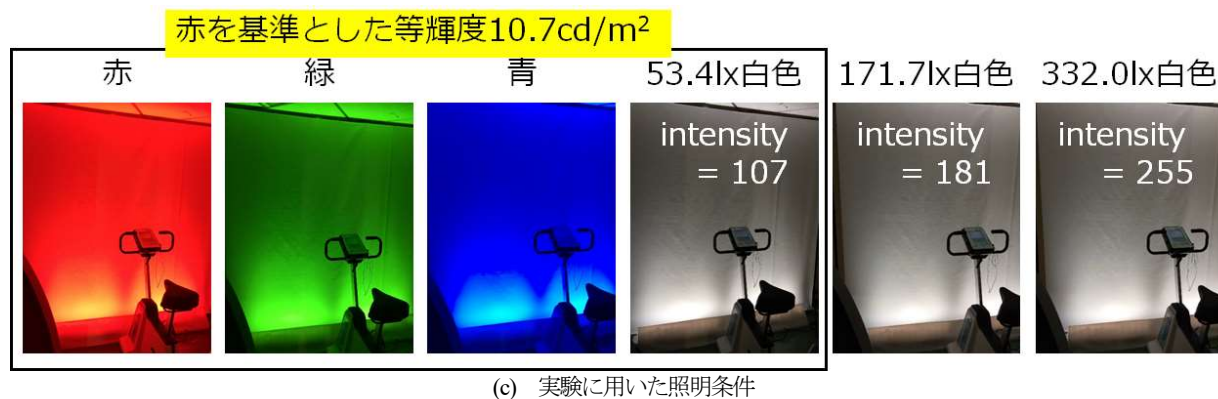
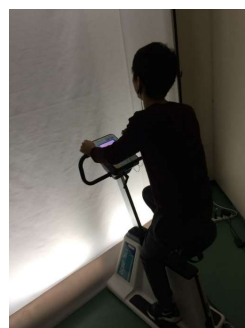
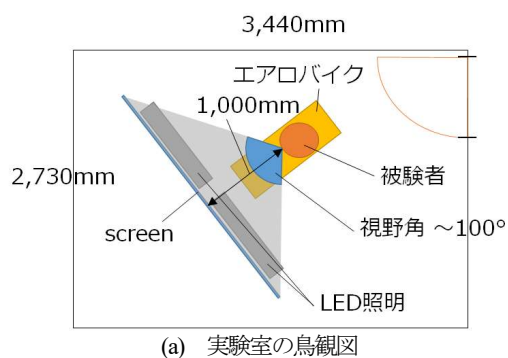


図 1. 実験室の様子並びに実験に用いた照明条件

表 1. 実験プロトコル

所要時間 [分]	内容及び照明色条件	被験者の作業
10	入室, 着替え, 実験の確認	事前アンケート
2	安静時心拍数 $r_0$ から年齢別標準の20%, 40%, 60%の心拍数 $r_{20}$ , $r_{40}$ , $r_{60}$ 算出	安静
15	心拍数が $r_{20}$ , $r_{40}$ , $r_{60}$ に達する負荷[W]を求める	実験負荷決定のためのペダリング
10	休憩 (心拍数が $r_0$ に戻るまで)	
2	基準照明 (白色 53.4lx)	バイクをこぐ
3	色光照明 1	
10	休憩 (心拍数が $r_0$ に戻るまで)	アンケート回答
2	基準照明 (白色 53.4lx)	バイクをこぐ
3	色光照明 2	
10	休憩 (心拍数が $r_0$ に戻るまで)	アンケート回答
2	基準照明 (白色 53.4lx)	バイクをこぐ
3	色光照明 3	
10	休憩 (心拍数が $r_0$ に戻るまで)	アンケート回答
2	基準照明 (白色 53.4lx)	バイクをこぐ
3	白色照明 (照度 1)	
10	休憩 (心拍数が $r_0$ に戻るまで)	アンケート回答
2	基準照明 (白色 53.4lx)	バイクをこぐ
3	白色照明 (照度 2)	
10	休憩 (心拍数が $r_0$ に戻るまで)	アンケート回答
2	基準照明 (白色 53.4lx)	バイクをこぐ
3	白色照明 (照度 3)	
2		アンケート回答

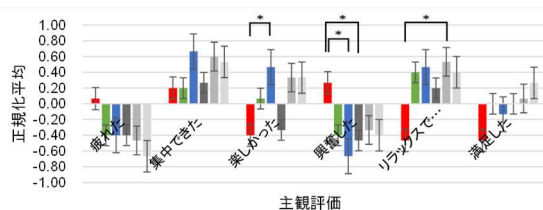
## 2. 実験

窓のない 3,440mm × 2,730mm の室内にエアロバイク (COMBIWELLNESS AEROBIKE 75XL III) と, エアロバイクの使用者の視界を覆う距離に幅 2,400mm × 高さ 2,400mm 大のスクリーン (セーレン製 Viscotecs ロールスクリーン) を設置した。スクリーンは, 視野角が, 臨場感を大きく感じる 100° になるように被験者から 1,000mm の距離に設置した。スクリーンに色や照度を変えた照明を行い, 負荷を変えて被験者にエアロバイクをこがせた。照明はスクリーン全体を照射するようにスクリーンの直下に設置し, 被験者面前の注視点付近が均一に照明されるよう実験者が目視で確認した, その際の心的負荷及び自覚的運動強度 RPE (Rate of Perceived Exertion) を評価した。実験室の鳥瞰図並びにバイクをこいでいる様子を図 1 (a)(b) に示す。

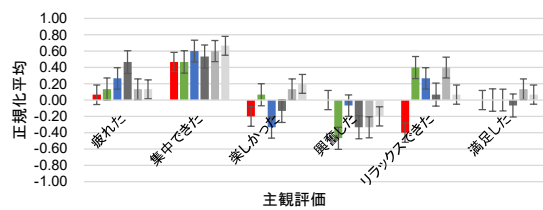
### 2.1 被験者

色覚に異常や疾病がなく, 体調も平常どおりの 21~22歳の男子大学生 6名に対して,

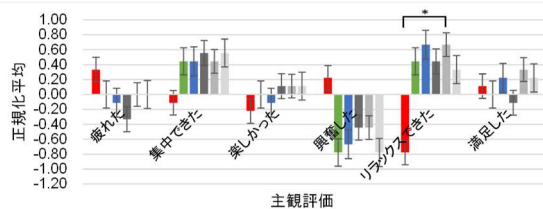
- 通学方法 (「本日は何でここに来られましたか」)
- 過去の運動経験 (「過去に運動をしていた経験はありますか (部活動など)」)



(a) 20%負荷に対する主観評価結果



(b) 40%負荷に対する主観評価結果



(c) 60%負荷に対する主観評価結果

図 2. 異なるペダリング負荷に対する主観評価 (誤差範囲は標準誤差)

- 現在の日常的な運動習慣 (「現在の運動習慣についてどちらですか? 1. しない, 2. する (する場合は頻度と時間)」)
- 実験実施日に朝食を摂ったか (「今朝は朝食を食べましたか」)
- 実験実施日前夜の睡眠時間 (「昨日の睡眠時間はどのくらいですか」)

の各項目に関して記述式で事前アンケートを行った上で実験に参加させた。本研究は, 東京工芸大学研究倫理委員会承認されており, 被験者は実験についての説明, 取得されるデータの使用方法について説明を受けたのちに同意したのみが参加した。

### 2.2 用いた照明色刺激

京セラ製フルカラー演出照明システム CERAPHIC と制御ソフトウェア Nicolaudie Easy Stand Alone2 を用いた。この照明システムは, 制御ソフトウェアの GUI を介して, 赤, 緑, 青の三原色と白色光の強度を 0 から 255 までの 256 階調で互いに独立に設定

できる。照明条件として、赤、緑、青の三原色（被験者の視点の輝度は赤を最大にした際の10.7cd/m<sup>2</sup>に統一）と照度が異なる3つの白色光を用いた。照度は、照度計で計測した壁面25地点の照度の平均値について53.4lx（赤と等輝度にしたもの）、332.0lx（最大階調値の255を与えたもの）、それらの中間値171.7lxの3段階とした。また、慣れの効果为了避免のために、各照明色条件でバイクをこがせるのに先立って、毎回、基準照明条件でこがせた。さらに、順序効果为了避免のために照明条件の順序もすべて異なるようにした。被験者に対して、自転車をこいでいるときには視線を面前的の壁に向けその色環境に集中するように教示した。実験に用いた照明条件を図1(c)に示す。

### 2.3 有酸素運動の負荷

有酸素運動の負荷は、被験者にエアロバイクをペダリングさせ、以下の(1)式により20%、40%、60%の目標心拍数(それぞれ、 $r_{20}$ 、 $r_{40}$ 、 $r_{60}$ )に達する3段階の負荷(それぞれ、20%負荷、40%負荷、60%負荷)を決めた。 $r_0$ は安静状態の心拍数である。

$$r_{\alpha} = [(220 - \text{年齢}) - r_0] \times \alpha + r_0 \quad (1)$$

( $\alpha = 20\%, 40\%, 60\%$ )

負荷を決める際には、ペダル回転数60rpmを保持するよう指示し、エアロバイクの負荷の下限値10Wから1分毎に10Wずつ増しながら心拍数を計測した。ここでは従来の研究で行われているように、最大心拍数の代わりにBlackburnの年齢別最大心拍数予測式(220 - 年齢)を用いた[10]。

### 2.4 実験手順

表1に実験プロトコルを示す。被験者入室後、運動習慣や体調に関する事前アンケートに答えさせ、安静状態の心拍数 $r_0$ を測定した。次に2.3節の手順で有酸素運動の負荷を決定した。次に、休憩時に心拍数を $r_0$ まで落ち着かせ、各照明条件について基準照明条件2分間と当該照明条件3分間の計5分間ペダリングさせ、その後、次節で述べるアンケートとRPEへの回答を行わせた。また、3分間のペダリングの間1分毎に心拍数を計測した。色光照明の色や照度を変えた白色照明の順番は順序効果为了避免のために被験者間で互いに異なる順番にした。

### 2.5 運動の主観評価

6照明色条件下で3分間ずつペダリングさせ、「疲れた」「集中できた」「楽しかった」「興奮した」「リラックスできた」「満足した」の6項目の感じ方について口頭で回答させた。回答方法は「とてもそう思った」「そう思った」「ややそう思った」「どちらでもなかった」「ややそう思わなかった」「そう思わなかった」「とてもそう思わなかった」のいずれかを選ばせ、これらを1～7で数値化した。

また、上記の感じ方とは別に、RPE (Rate of Perceived Exertion; 自覚的運動強度)も回答させた。RPEとは、運動時の主観的負担度を15段階の数値で表したものであり、安静状態が6、限界を

20とした運動の辛さの指標である[11]。各ペダリングの後の休憩時に15段階のいずれの段階かを回答させた。

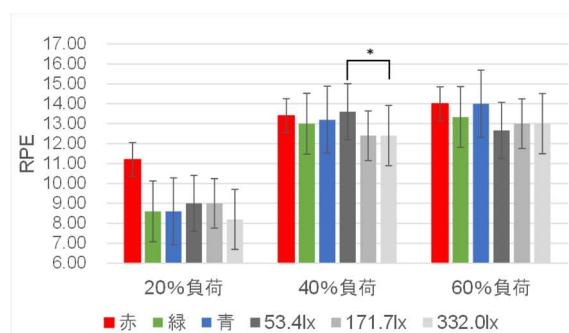
### 2.6 運動中の心拍数の計測

心拍数は、肉体的な疲労の回復と共に、心的負荷に対する自律神経活動の両方を反映すると考えられる。運動の負荷を大きくすると前者が支配的で、負荷を小さくすると後者の影響が大きくなると予想される。そこで、ペダリングしている3分間において、心拍計(15～240bpm 計測可能)を用いて心拍数を計測し、1分毎の心拍数、最高心拍数、最低心拍数の5つを求めた。

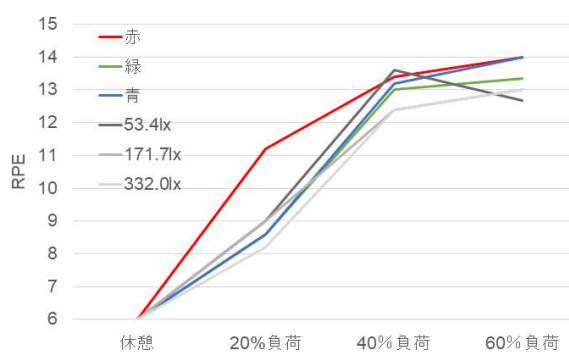
## 3. 実験結果

### 3.1 事前アンケートの結果

2.1節で述べた事前アンケートの結果、以下の回答が得られた。具体的には、全員が6～7時間の睡眠をとり、朝食も摂っていた。6人中4人が中学あるいは高校で運動部に所属していたが、現在は運動習慣がないと回答した。残る2名のうち1人は野球部員であり中程度の運動習慣があると回答し、もう1人は運動部へは所属していないがサイクリングが趣味であると回答した(通学方法も自転車通学)。運動習慣のない被験者の1人は大学近隣に在住しているため徒歩、残りの4人はバスで通学していると回答した。



(a) 照明色条件間の比較 (誤差範囲は標準誤差)



(b) ペダリング負荷を変えたときの RPE

図3. RPEに関する結果



### 3.2 主観評価の結果

ペダリングさせたあとで、2.4節で述べた6項目のアンケートに回答させたものを、2.2節の6照明色条件ごとに集計した結果を、20%負荷、40%負荷、60%負荷に対して集計したものを図2(a)(b)(c)に示す(\*は有意水準5%で平均値に有意差があったことを示す)。アンケートの7段階評定尺度値は、-1~+1に正規化したのちに被験者間で平均した(以下、正規化平均と呼ぶ)。各アンケート項目の6照明色条件間の差異について、Microsoft Excelの一对の標本による平均のt検定を行った結果、図2(a)の20%負荷に対する主観評価では、「楽しかった」に関しては、赤より青の方が有意に楽しく感じ(p=0.041)、「興奮した」に関しては、青より赤(p=0.038)、53.4lxの白色光より赤の方(p=0.04)が有意に興奮し、「リラックスできた」に関しては、赤より171.7lxの白色光の方が有意にリラックスできた(p=0.028)という結果になった。図2(b)の40%負荷に対する主観評価では、いずれの照明色条件間においても主観評価の有意差は見られなかった。図2(c)の60%負荷に対する主観評価では、「リラックスできた」に関してのみ、赤より171.7lxの白色光の方が有意にリラックスできた(p=0.023)結果になった。

### 3.3 RPE に関する結果

RPEを調査した結果を6照明色条件ごとに集計したものを図3に示す。RPEは、回答させた数値をそのまま被験者間で平均した。図3(a)において3段階の運動負荷に対する自覚的運動強度RPEを各照明色条件間で比較すると、Microsoft Excelの一对の標本による平均のt検定を行った結果、40%負荷における53.4lxの白色光と332.0lxの白色光の間のみで有意差が見られた(p=0.033)。すなわち、より明るい照明に対して負荷を軽く感じたことを示している。一方、20%負荷において赤が他の条件に比べて大きな負荷を感じる有意傾向が示された。

### 3.4 負荷の大きさの違いによる心拍数の変化

1分毎に計測した2.6節の心拍数の平均値を被験者間でさらに平均した値について、6照明色条件ごとに負荷の大きさとの関係をプロットしたものを図4に示す(図中のHRは心拍数を示す)。その結果、いずれかの照明色条件が心拍数に影響を与えることが期待されたが、すべての負荷において、Microsoft Excelの一对の標本による平均のt検定を行った結果、照明色条件間に有意差は見られなかった。

## 4. 考察

### 4.1 被験者に関する考察

被験者は、多少の体力差はあるが、3.1節で述べたように実験当日の前夜の睡眠も十分に朝食も摂っており、体調管理もできていたことから、被験者の身体的、精神的コンディションが本実験結果に影響を及ぼすことはなかったと考えられる。色覚異

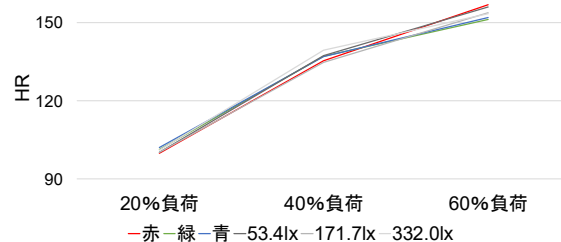


図4. ペダリング負荷を変えたときの心拍数

常や疾病についても、表示色を識別できていること、本人から一切異常や疾病の報告がないことから照明色条件が脅かされることはないと考えられる。

### 4.2 照明の均斉度に関する考察

本実験では、被験者が教示に従って前方の中央付近を注視した場合、おおよその視野が均一に照明されていると実験者が目視で確認したのみであった。照明はスクリーン直下から斜めに照射したためスクリーン上部に向かって照度が低くなっていたが、連続的な照度勾配であり視野内の照度むらはわずかであった。従って、色の違いの影響を変動要因とする本実験の結果には影響がないものと考えられる。

### 4.3 運動負荷に関する考察

厚生労働省において低強度の運動を有酸素運動の範疇に入れている[12]、従来の研究において、山崎ら(2016)により、VO<sub>2</sub>peakの30%で5分後に空間記憶を改善させることが報告されている[13]。さらに後藤ら(2009)は、30分間の有酸素運動(ペダリング運動)を連続した場合(連続法)と10分間の運動を10分間の休息を挟んで3セット行う形に分割した場合(分割法)で脂質利用の割合を比較し、分割法の方が血中乳酸濃度の上昇が抑制され、運動終了後の脂質代謝がより一層亢進することを示した[14]。従って、本実験で用いた低強度(20%)を短時間(5分)行わせる運動条件は、低強度有酸素運動が照明色という環境要因から受ける影響を明らかにする上で妥当であると考えられる。

### 4.4 主観評価の結果に関する考察

3.2節より、低強度有酸素運動において照明色条件間で有意差が見られた。これらを総合すると、赤では青や白色光に比べて興奮させられ、逆に白色光では赤に比べてリラックスさせられると解釈でき、有酸素運動(例えば、ウォーミングアップ)の目的次第で照明色を切り替えるような応用が可能であるような見方ができる。

### 4.5 RPE と心拍数の関係に関する考察

図3(b)において20%強度のRPEに関して、赤が他の条件より大きな負荷を感じさせる傾向があることから、RPEの数値を10倍した値がおおよその心拍数に相当すると言われていること

を考慮すると、20%強度の有酸素運動を赤色照明下で実施した際の心拍数が他よりも多くなることが予想される。しかし、3.4節では、照明色条件間に有意差が見られないという結果となった。これらの一つの解釈として、赤色照明は身体的（心拍）には影響しないにも関わらず心理的（RPE）には負荷を大きく感じさせる傾向があると考えられる。

## 5. まとめ

健康寿命延伸にとって有酸素運動が重要である。有酸素運動を継続することは、運動を専門に行っているスポーツ選手でも困難を感じる事が多く、普段運動をしない人にとってはさらに運動の継続が難しい。さらに高齢者や何らかの障害を抱えた低体力者にとっては、休息をとりながらの低強度の有酸素運動に限定されると考えられる。本研究では、有酸素運動の継続を促進するような環境要因として照明の色や明るさといった照明色条件に着目し、赤、緑、青、白色（53.4lx, 171.7lx及び332.0lx）の色光照明条件下でエアロバイクをこがせ、運動に対する主観評価と自覚的運動強度RPEを比較する実験を行った。実験の結果、当初期待された通り、主に低強度（20%）において「楽しかった」「リラックスできた」「興奮した」といった印象に照明条件が影響することが確認された。この結果は、低強度の有酸素運動を必要とする低体力者が照明色を選択する際の直接的な根拠となり得ると考えられる。

今後、被験者を増やすと同時に、運動の途中で照明色を変化させる場合や、30分以上の長時間にわたる有酸素運動に関して時間経過に対する照明色の影響に関して検討を行う必要がある。また、照明色単色のスクリーンを注視させる条件では、低強度有酸素運動では眠気を感じる被験者もいたことから、今後は色調をコントロールした柄や風景へ拡張することを検討する。芸術表現が、人から様々な反応を励起する技術であると捉えれば、本研究で得られた極めてプリミティブな刺激に基づく知見を応用し、照明色を用いてより優れた有酸素運動を励起することへ繋がると考えている。

## 謝辞

本研究は「平成28年度文部科学省私立大学研究ブランディング事業」の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] World Health Organization, et al. Noncommunicable diseases country profiles 2011. 2011.
- [2] 厚生労働省健康局健康課. 身体活動・運動を通じた健康増進のための厚生労働省の取組み. 2018.
- [3] フレイルが重症化しないための生活習慣. 長寿科学振興財

団 健 康 長 寿 ネット .  
<https://www.tyojyu.or.jp/net/byouki/frailty/care.html>.

- [4] 青柳幸利, 中之条研究. 高齢者の日常身体活動と健康に関する学際的研究. 医学のあゆみ, 医歯薬出版, Vol.253, No.9, p.793-798, 2015.
- [5] 厚生労働省 . 身体活動・運動 .  
[http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21\\_11/b2.html](http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21_11/b2.html).  
 2017.
- [6] 小島正憲. 音楽がスポーツパフォーマンスに与える影響：事例的論文の検証による今後の展望. 東海学院大学紀要, Vol.8, p.217-224, 2014.
- [7] 三木他. 運動時における最適な光環境の検証. 同志社大学理工学研究報告, Vol.54, No.4, p.268-272, 2014.
- [8] 張他. 色彩環境の変化が走運動の脈拍に及ぼす影響. 日本色彩学会誌, Vol.38, No.3, p.134-135, 2014.
- [9] 東他. 脳血流変化に基づく色の興奮・鎮静作用の検証. 日本色彩学会誌, Vol.41, No.3, p.154-156, 2017.
- [10] Blackburn, H. W., Developments in exercise electrocardiography, Proceedings of Annual Meeting of the Medical Section of the American Life Convention, 57, 145-170, 1969.
- [11] Borg, Gunnar. Borg's perceived exertion and pain scales. Human kinetics, 1998.
- [12] 厚生労働省, エアロビクス / 有酸素性運動,  
<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/exercise/ys-072.html>.
- [13] 山崎他, 一過性の低強度有酸素性運動が空間記憶に与える影響, 日本体育学会大会予稿集, Vol.67, p.156, 2016.
- [14] 後藤他, 休息を挟みながら間欠的に行う有酸素運動に対する脂質代謝応答, 日本体育学会大会予稿集, Vol.60, p.130, 2009.

### 森山 剛



1994年慶大・理工・電気卒。1999年同大学院博士課程了。1999年東京大学生産技術研究所にて日本学術振興会特別研究員PD, 2001年カーネギーメロン大ロボティクス研究所ポスドクフェロー, 2004年慶大助手を経て, 現在, 東京工芸大学工学部准教授。パターン認識, 顔画像処理, 音声・音楽情報処理の研究に従事。博士(工学)。1998年電子情報通信学会学術奨励賞受賞。電気学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本音響学会, 画像電子学会, 日本バーチャルリアリティ学会, 映像情報メディア学会, 芸術科学会, 日本発達障害支援システム学会, 日本抗加齢医学会各会員。

### 東 吉彦



1981年東京工業大学大学院物理情報工学専攻修士課程修了。同年, 大日本印刷株式会社入社。印刷用画像処理システム、メディア変換技術の研究開発に従事。1995年より東京工芸大学工学部にて、メディア間の色再現、観察用照明条件の標準化、色彩の心理効果の評価と応用に関する研究に従事。現在、同大学工学部工学科准教授。博士(工学)。日本印刷学会理事、編集委員長。日本色彩学会監事、関東支部支部長。

### 三橋 航太



2017年東京工芸大学工学部メディア画像学科卒業。現在、株式会社コアードに勤務。

### 木村 瑞生



1981年順天堂大学体育学部体育学科卒。1984年同大学院体育学研究科(体力学専攻)修了。1988年東京工芸大学工学部助手を経て現在同大学教授。1991年聖マリアンナ医科大学研究生(第二生理学教室), 1997年同大学より博士(医学)取得。人体の神経-筋機能の制御について研究。日本運動生理学会, 日本体力医学会, 日本体育学会, 日本スポーツパフォーマンス学会各会員。