



## 4. 光色が運動時の生体に及ぼす影響の検証

### 4.1 光色が生体に及ぼす影響

これまでに、光色が生体に及ぼす影響に関する研究は、数多く行われている [Robert 58]。光色による生体への影響は、既往研究によって結果が異なるが、その影響は生理的影響と心理的影響の2つに大分される。以下にそれぞれの影響について得られている知見を示す。

- 生理的影響
  - － 赤色系では血圧が上昇し、脈拍も速くなる
  - － 青色系では血圧が低下し、脈拍も遅くなる
- 心理的影響
  - － 赤色光では時間が過大評価され、緑や青色光では時間が過小評価される
  - － 暖色系では体感温度が上昇、寒色系では降下する

### 4.2 運動時において光環境が及ぼす影響の検証実験

本実験では、運動時においても、4.1節で挙げた光色の及ぼす影響と同様の影響があるかを検証する。実験は、調色照明システムを用いることで雰囲気異なる光環境を作り出し、それぞれの光環境下において運動を行うものとする。なお、運動にはジム等で利用されるエアロバイクを用いる。図1に本実験で用いるエアロバイクを示す。

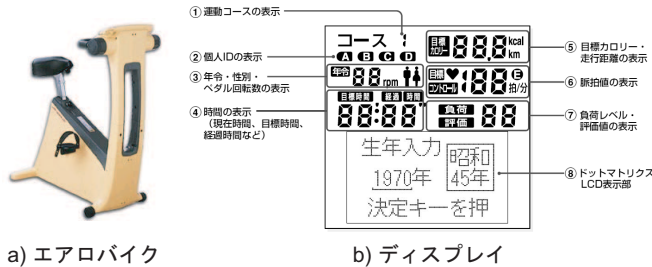


図1: エアロバイク

図1のエアロバイクは COMBI WELLNESS 社製であり、PC と接続することにより 1 分間当たりのペダル回転数やイヤースンサで取得する脈拍などのデータがリアルタイムで取得することができる。また、ユーザの性別、年齢を登録し、ペダルの負荷レベルを設定したり、目標消費カロリー、目標心拍数を設定したりすることで、個人に合わせたトレーニングを行うことができる。これらの情報は全て図 1-b の表示パネルにより確認できる。

運動は、エアロバイクを用いて 9 分間行うものとし、時間の経過と共に 3 段階で負荷レベルを上げる。そして、9 分の運動後には、負荷レベルを徐々に下げ、脈拍を調整させるクールダウンを 1 分間行う。実験では、運動の際の脈拍を計測することにより生理的影響があるのかを検証する。また、運動後にアンケートを実施し、アンケート結果に基づき心理的影響に関しても検証を行う。これにより、光環境が生体に与える影響を検証する。

なお、被験者は健康な大学生 10 名で、実験の手順は被験者によってランダムに決定する。

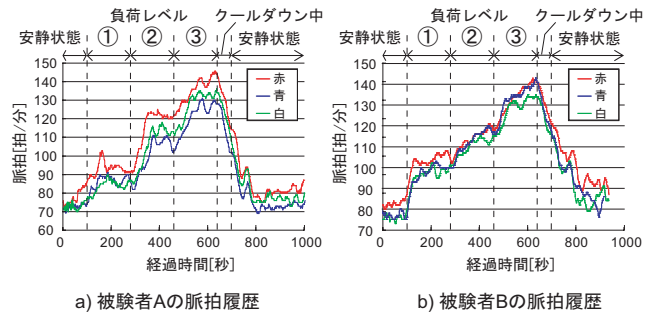


図2: 脈拍の履歴

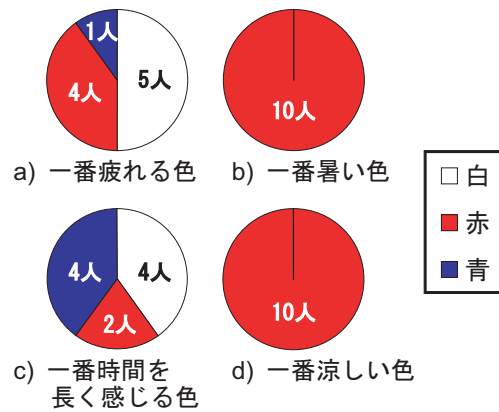


図3: アンケート結果

### 4.3 実験結果および考察

図2に被験者A,Bの脈拍の履歴を、図3に実験後に全ての被験者に対して行ったアンケートの結果を示す。

まず、生理的影響について述べる。図2-aより、被験者Aでは、すべての光色において脈拍の変化履歴はほぼ等しいが、その値が赤色、白色、青色の順に高いことが分かる。なお、この被験者Aの実験順序は、赤色、青色、白色であり、実験の疲れが脈拍の変化に影響しているとは考えにくい。この結果より、被験者Aに関しては、4.1節で述べた光色の影響が確認できる。一方、図2-bより、被験者Bは、運動中の各光色において脈拍の履歴が重なっており、色による差が見受けられない。

そこで、光色の影響を安静時の脈拍と比較する。しかし、光色の感じ方や脈拍のピーク値には、個人差や生体リズムによる時間的要因が影響すると考えられる。そのため、時間的要因によるピーク値の変動に影響をされないように、脈拍の変化率に着目する。具体的には、特に脈拍の変化が顕著になる箇所の変化率を最小二乗法により算出し、光色によって差があるのかどうかを検証する。

表1に被験者10名の安静時の脈拍を光色別に示す。

表1より、安静時の脈拍において、赤色が白色の場合より高くなった被験者は7名であり、青色が白色より低くなった被験者は8名であった。この結果より、7割以上の被験者において赤色で脈拍が上昇し、反対に青色で脈拍が減少していることが確認できる。これより、少なからず光色による生理的影響があることが考えられる。

次に、脈拍の変化率について検証を行う。脈拍の変化率の判定は以下の2箇所で行う。

表 1: 安静時の脈拍 [拍/分]

被験者	白	赤	青
A	71	78	70
B	74	78	78
C	71	78	67
D	72	74	72
E	83	72	74
F	71	60	70
G	72	74	71
H	70	69	70
I	59	60	64
J	65	70	64

- 2段階目の負荷レベル (図 2 の ) 開始直後 1 分間  
運動開始後の状態であるペダル負荷が 2 段階目では、脈拍を上げ、有酸素運動状態にする必要があるため、白色と赤色の場合の脈の変化率について考える。履歴の比較は白色を基準とし、白色と赤色の 2 通りで行う。表 2(運動負荷 2nd) にその比較を示す。
- クールダウン中の 1 分間  
脈を減少させ、体と気持ちを落ち着かせるクールダウンにおいては、白色と赤色の場合の脈の変化率について考える。なお、履歴の比較は白色を基準とし、白色と青色の比較を行う。表 2(クールダウン) にその比較を示す。

表 2: 脈拍の変化率 [拍/秒]

被験者	運動負荷 2nd		クールダウン	
	白	赤	白	青
A	0.27	0.41	-0.48	-0.55
B	0.23	0.12	-0.39	-0.34
C	0.27	0.21	-0.55	-0.44
D	0.13	0.18	-0.38	-0.43
E	0.21	0.11	-0.26	-0.50
F	0.23	0.32	-0.38	-0.42
G	0.13	0.37	-0.38	-0.42
H	0.32	0.11	-0.26	-0.34
I	0.40	0.37	-0.36	-0.42
J	0.33	0.31	-0.56	-0.58

表 2(運動負荷 2nd) より、脈拍の履歴において傾き (増加率) が白色光より赤色光の方が大きい被験者は 10 名中 4 名であり、この結果から、赤色光が被験者の脈拍の上昇を促すとは判断できない。これは第 4.1 節で挙げた暖色系の色の生理的影響とは異なる結果である。次に、表 2(クールダウン) より、脈拍の履歴において傾き (減少率) が白色光より青色光の方が大きい被験者は 10 名中 8 名であり、青色光には、被験者の脈拍の減少を促す効果の可能性が確認できる。これは第 4.1 節で挙げた寒色系の色の生理的影響と一致する結果である。

次に、心理的影響について述べる。図 3-a より、一番疲れる色の回答では、白、赤の順に多いことが確認でき、青色光では疲れを感じる被験者が少ないことが確認できる。また、図 3-b と図 3-d の結果から、全ての被験者が最も暖かく感じる色は赤、涼しく感じる色は青と回答したことが確認できる。この結果より、光色の心理的影響である体感温度の差異は優位である

ことが確認できる。また、図 3-c の結果より、被験者によって時間の感じ方が異なることが確認でき、光色による時間的感覚の差を示す回答を得られず個人差があることが確認できる。

## 5. 生体情報を用いた照明コントロール

第 4. 節で光色が運動時の生体に及ぼす影響について検証を行った結果、生理的な影響としては脈拍の上昇や下降を促す効果があることが分かり、心理的な影響においては、体感的に大きな影響を確認することができた。そのため、それらの影響が大いに関係すると思われる運動において、光色を制御し生体への影響をコントロールすることは、効率的な運動を行うために効果的だと考えられる。

そこで、運動者に対して心理的な作用を与えるような照明制御を検討し、運動時の状態を表す指標の一つである生体情報を用いて、光度や光色を制御する照明制御システムを提案する。提案システムでは、照明を情報伝達のツールとして捉え、照明制御により効率的な運動を行えるように運動者に運動状態を通知する。なお、その副次的な効果として、光色が与える生理的な影響を期待する。

### 5.1 提案システムの概要

提案システムでは、赤、青、白の 3 色の照明を用いて、運動者の運動状態に応じて、照明の光度、および光色を制御する。これにより、トレーニングなどの運動において運動効果の向上、疲労度の軽減、モチベーションの維持、継続性を旨とする。なお、一般に効率的な運動を行うためには、ある程度以上の脈拍を保ちつつ運動を行う有酸素運動が良いとされている。このため、提案システムでは、生体情報の一つである脈拍を運動の優劣を測る指標 (運動状態) として扱い、脈拍により照明制御を行う。なお運動状態の判断は、式 (1)、および式 (2) に基づき行う。

$$\text{男性: 最高心拍数} = 220 - \text{年齢} \quad (1)$$

$$\text{女性: 最高心拍数} = 210 - \text{年齢} \quad (2)$$

ここで、最高心拍数とは、運動強度を高めてもそれ以上心拍数が高まらない上限のことをいい、一般的に式 (1) により算出される [P. -O. Astrand 54]。本システムでは、最高心拍数の 60 ~ 70 % を最適な脈拍値、すなわち最も効率的な運動状態である有酸素運動と定義する。

提案システムでは、運動者の脈拍がこの最適な脈拍値になるよう、光色の効果を考慮した照明制御を行う。具体的には、運動状態が常に有酸素運動状態を保てるように照明の光度、および光色を制御することにより、運動者に運動状態の通知を行い、ある程度以上の脈拍を保つ有酸素運動を促す。このように提案システムでは、システムから運動者へ、照明制御による情報伝達により運動状態の通知を行う。これにより、運動者へ「脈拍値のコントロール命令」をメッセージとして伝え、トレーニングを行う運動者が照明のフィードバックにより自身の運動状態を把握しながら、常に運動状態を有酸素運動に保ちながら運動が行えるようにする。なお、本システムでは、照明制御を行う際に、照明による情報伝達を行うと共に、光色が与える生理的な影響も考慮する。

### 5.2 提案システムの照明制御

提案システムでは、図 1 のイヤースンサから取得した脈拍により運動状態の判断を行い、運動状態に応じて照明の光度および光色を制御する。以下に照明制御の詳細について述べる。

● 運動量による光度制御

有酸素運動時には一定のペースで運動を続ける必要がある。そこで、最適なペダル回転数を1分間に60回転と定め、その基準に近づくほど白色蛍光灯の光度が高くなるよう設定する。つまり、ペダルを早く漕ぎすぎても遅く漕ぎすぎても部屋が暗くなる。

以上のような光度制御を行うことにより、運動者が自身の運動ペースを視覚的に意識させることが可能である。これにより、効果的な運動を行うための適切な運動量で運動するよう心掛けるといった効果が期待できる。また運動効果の向上だけでなく、適切な運動量がキープできないと減光するため、ゲームのような感覚を持たせることができ、運動に対するモチベーション向上を図れると考えられる。

● 脈拍による光色制御

運動者の脈拍が最高心拍数の30%未満であれば、赤色蛍光灯のみを100%の光度で点灯させ、運動者の脈拍が30~55%内にあれば、光度を100~60%の間でニアに対応した比率で点灯させる。また、脈拍が最高脈拍値の60~70%の場合は、白色蛍光灯のみを点灯させる。脈拍がこの値を越えれば、脈拍が上がり過ぎて過剰な運動状態にあるため、ただちに脈拍を下げるよう青色の蛍光灯を100%で点灯する。

以上のような運動状態に対応した光色制御を行うことにより、脈拍が低すぎる、あるいは高すぎるといった運動状態を運動者に通知する情報伝達、およびフィードバックの役割を持つ。また、脈拍が低い場合には脈拍を上げ、高い場合には、脈拍を下げるという副次的な効果を促す。

5.3 評価実験

本実験では、提案システムを用いた評価実験を行い、運動時における照明制御の有効性を検証する。実験は、照明制御のない従来通りのトレーニングと提案システムを利用したトレーニングの2種類のトレーニングを行う。なお、被験者は健康な大学生14名で、運動後、アンケートを実施する。また、実験前に実験に関する簡単な説明、および注意を行う。説明した内容は、「トレーニングを行う際には、最適な運動状態があること」、「表示パネル等を用いることで運動状態を意識すること」、「提案システムの概要」である。

5.4 実験結果および考察

図4にアンケートの結果を示す。

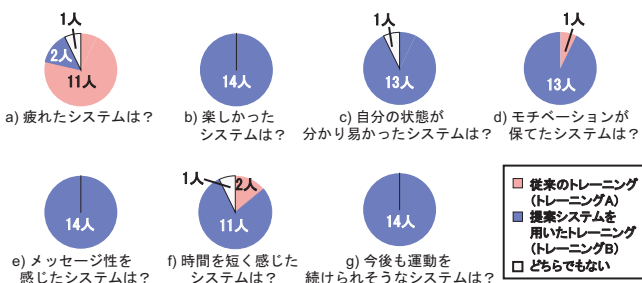


図4: 評価実験のアンケート結果

図4-aより、疲労度に関しては従来トレーニングが11名と多く、白色では疲れやすいことがわかる。また、図4-b,c,d,eより、全ての質問項目において提案システムの方が良い結果を

得ており、モチベーションの維持が図れたことが確認できる。また、アンケートの自由記述から得られた結果を以下に示す。

● 従来トレーニング

- ただペダルを漕ぐだけなので、疲れを感じる
- とても淡白な印象があり、変化がなく単調
- 表示ディスプレイがあるが、常に見ているわけではないので自分の状態を認識しづらい
- 数値だけを見てもどれが自分に良い運動状態なのかわからない

● 提案システムを用いたトレーニング

- 部屋の色が変わると単純な作業を繰り返しているという感覚が少し和らぐ
- クールダウンの青い光が気持ちよく感じた
- 自分の状態が把握でき、面白く運動ができた
- 今の運動状態が良い状態であると分かると、頑張ろうという意識が持てた

6. まとめ

本報告では、運動時において光色が生体に及ぼす影響を調査し、その結果を元に効率的な運動が行えるように照明制御を行うシステムを検討した。運動時における影響は、心理的影響、および生理的影響について検証を行い、心理的影響では、赤色光は暖かい、青色光は涼しいという印象を与えており、赤色光、青色光のいずれもが体感温度に影響を与えることが分かった。また、生理的影響では、青色光に脈拍を下げる効果があることを確認できた。これらの光色が生体に与える影響、特に心理的影響を用い、運動効果の向上、疲労度の軽減などを目指し、生体情報を用いた照明制御システムを提案した。また、その有効性を検証した結果、照明がもたらすメッセージ性を確認し、従来のトレーニングより高い評価を得た。

参考文献

[M.Miki 97] M.Miki, T.Kawaoka. Design of Intelligent Artifacts: A Fundamental Aspects, Proc.JSME International Symposium on Optimization and Innovative Design(OPID97), 1997-9

[M.Miki 04] M.Miki, K.Imazato, T.Hiroyasu. Proposal for an Intelligent Lighting System, and Verification of Control Method Effectiveness, Proc IEEE CIS, pp.520-525, 2004

[三木 07] 三木光範, 廣安知之, 芦辺麻衣子: 照度と光色を個別分散制御する照明システム, 計測自動制御学会 第34回知能システムシンポジウム 講演論文集 (2007)

[Robert 58] Robert Gerard: Differential effects of colored lights on psychophysiological functions, pp.340, 1958

[P.-O. Astrand 54] P.-O. Astrand and Irma Ryhming: A Nomogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness) From Pulse Rate During Submaximal Work, J Appl Physiol, Vol.7, No.2, pp.218-222, 1954