



スポーツ初心者の動作習得を促す視覚的指示のための 効果的な 2 色配色の決定

Determining an Effective Combination of Two Colors
to Give Sports Beginners Visual Instruction for Ideal Motions

稲葉 洋¹⁾

INABA Hiroshi

1) 松江工業高等専門学校 情報工学科 (〒 690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4, inaba@matsue-ct.jp)

概要: 本研究では、スポーツ初心者の動作習得に向け、習得したい動作と自身の動作との差を視覚的に示すのに適した配色を定める。ここでは、差を「高いと低い」のような二通りで示すとき、それらが練習者に速く正しく伝わる 2 色を実験的に調べる。実験では、自転車ペダリングを行う者にクランク回転数が目標より高いか低いかを表す 2 色をランダムに提示し、その色が高い色か低い色かを答えるまでの時間を調べた。その結果、高い色に暖色系、低い色に寒色系を組み合わせたととき速い反応を示した。

キーワード: 2 色配色, 練習支援, ビジュアルフィードバック

1. はじめに

スポーツにおいて、我々が何らかの動作や技能を身につけるとき、手本となる動作を繰り返し真似する（一般に反復練習と呼ばれる）。反復練習による技能習得は通常長い時間を要する。この理由には、練習者が技量的に手本を再現できないことのほか、指導者の指摘を正しく解釈できなかったり指摘の受け止め方に練習者の主観が入ること、また指導者不在の際は正しい練習が行えているかを自身で確認することが難しいことがある。

現在、これら問題を情報技術を用いて解決しようとする取り組みがある（例えば [1, 2, 3]）。これらは、練習者に向け習得したい動作と自身の動作との違いを映像としてリアルタイムに提示し、練習者は提示される映像を見ながら練習することにより、本人のみで間違いに気づきながら手本を習得するものである。ここでの映像とは、コンピュータグラフィックスにより表現された練習者自身を模した人体（以降、人体モデルと記す）に、手本との違いを示す情報（位置やタイミングのズレなど）を色の違いに置き換えて重畳表示させたものである。ただ、既存研究においてこのような映像は独自に作られており、特に人体モデルの着色においては、どのように配色を決めたかの根拠は述べられていない。

本研究の目的は、前述の映像提示に基づく動作習得支援システムに向け、習得したい動作と自身の動作との差を色で示す場合において、差を速く正しく認識させる配色を見つけることである。ここでの配色とは、動作の差を「速いと遅い」や「高いと低い」といった二通りで示すとき、それぞれに対応させる 2 色とする。本研究で対象とする練習は、自転車のペダリングにおける設定された（目標とする）クランク回転数を維持させる練習とする。この際、練習中のクラ

ンク回転数が目標とするクランク回転数より高いか低いかを色で伝えることを考える。本研究では、この練習において目標との違いが練習者に速く正確に伝わる色を見つけるべく、提示色として JIS 安全色の 6 色を用いる。実験では、練習者に事前にクランク回転数が目標とする回転数より高い場合に示す色と低い場合に示す色の 2 色を伝える。その後、自転車ペダリングを行わせこの最中にランダムに 2 色のいずれかを提示する。この時、色が高い場合に示される色か低い場合に示される色かを答えさせ、回答および回答までの時間を調査する。

1.1 関連研究

Chan らは、ダンスの振り付け動作の練習を支援するシステムを構築している [1]。ここでの人体モデルは、通常は黄色で着色されており、手本動作と異なる動きをした部位（腕や足など）が赤色に着色される。

Oshita らは、テニスのフォアハンドショット動作の練習を支援するシステムを構築している [2]。ここでは、練習者の動作と手本となる動作の二つを、人体モデルを重ねることで表示している。また、練習者が理想の動作と違う動きをした場合は赤色から黄色の矢印で示され、手本との差が大きいほど赤色に近くなる。

岡崎らは、自転車のペダリング動作練習において練習者のケイデンス（ペダリングにおいて 1 分間にクランクを回転させた回数）と練習者が目標とするケイデンスとの差を、人体モデル全体を着色することで示している [3]。着色は、練習者が目標とするケイデンスでペダリングできているときは白色、目標より高いときは青色、目標より低いときには赤色で着色している。

練習支援システム以外の 2 色配色に関する研究について、

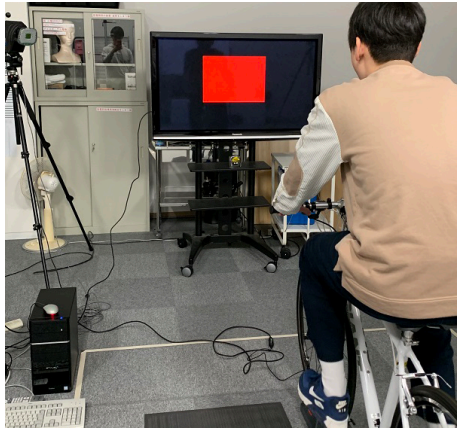


図 1: 実験の様子

金らは現代の若者の色の嗜好性を調べるために、左右並びの2色配色に対する反応時間や視線の動きを測定している[4]。論文では、高輝度・低彩度の配色構成が低輝度・高彩度や低輝度・低彩度の配色構成より好まれること、また、赤-緑系より、青-黄色系に人気があることを報告している。

2. 手法

2.1 概要

配色の調査は次のように行う。まず、練習者に事前に「回転数が目標より高い場合の色は色 A」、「回転数が目標より低い場合の色は色 B」と伝える。その後、ペダリング練習を行わせ色 A または B をランダムで提示する¹。この時、提示された色が高い場合の色か（もしくは低い場合の色か）を答えさせ、回答および色が提示されてから答えるまでの時間を記録する。ここで、色 A と B としてさまざまな色の組み合わせを試し、反応時間が短く正しく回答される2色を探す。

練習において、色の提示は練習者の前方に置かれたディスプレイを行う。また、色への回答は自転車のハンドルに取り付けられたボタンで行う。図 1 に実験の様子を示す。

2.2 詳細

2.2.1 提示に用いる色

配色によって図の内容を効果的に認識させているものの一例に安全標識がある。安全標識は、遠くから見たときや高速で運転しているときでも容易に「禁止」や「安全」といった指示内容が認識できるよう、国際基準に基づいた配色（JIS 安全色）でデザインされている[5]。

本研究では、これら色を運動中でも理解や認識しやすい色と捉え、練習者への提示に用いる。JIS 安全色は、安全色である赤、橙、黄、緑、青、紫の6色と、その対比色である黒、白からなる。各色を表 1 に示す。

JIS 安全色は、標識や案内板への塗装を前提とするためマンセル値で示されるが、デジタルサイネージなどの用途に向け RGB 値も定められている。本研究では、本研究がコ

表 1: JIS 安全色と各表色系での値









色名	マンセル値	RGB 値	実際の色
赤	8.75R 5/12	(246, 17, 0)	
橙	5YR 6.5/14	(255, 75, 0)	
黄	7.5Y 8/12	(242, 231, 0)	
緑	5G 5.5/10	(0, 176, 107)	
青	2.5PB 4.5/10	(25, 113, 255)	
紫	10P 4/10	(153, 0, 153)	
黒	KN-15	(0, 0, 0)	
白	KN-93	(255, 255, 255)	



図 2: ボタンとボタンの取り付け位置（右ハンドル）。赤丸で囲った中の銀色の丸い部分がボタンである。

ンピュータを用いた映像提示に向けたものであることから、RGB 値に基づく色を用いる。

2.2.2 色の組み合わせ方

本実験では、目標より高い場合に示す色、低い場合に示す色、および人体モデルを表示する際の背景にあたる色の計三色をひとつの組み合わせとする。高い色と低い色は安全色からそれぞれ一つ選び、二つの色は異なるようにする。また、背景色は対比色である黒、白から選ぶ。都合、色の組み合わせは 60 通りである。

2.2.3 反応の取得

練習者が色を見たときの反応は、自転車の左右のハンドルに取り付けたボタンの押下で取得する。ボタンおよびボタンを取り付けた位置を図 2 に示す。本研究では、右ハンドルのボタンを「高い場合の色が示された時に押すボタン」、左ハンドルのボタンを「低い場合の色が示された時に押すボタン」とする。実験においては、正解とは異なるボタンが押される場合が考えられるが、その場合は誤ったボタンを押したとして記録し改めて正解のボタンを押させることはしない。

¹ 今回の実験では、提示する色はペダリング中の練習者自身のクラック回転数とは無関係である。

表 2: 実験に用いた器具

名称	メーカー	製品名
自転車	GIANT	ESCAPE R3
固定ローラ	MINOURA	B60-R
ディスプレイ	PANASONIC	VIERA TH-P50G1
ボタン	Qiilu	QL04226-01

3. 実験

3.1 手順

実験では、表 1 に示される安全色から 2 色、対比色から 1 色選び、安全色の 2 色を高い場合の色と低い場合の色にそれぞれ割り当てた上で、各 5 回ランダムな順番で提示した。またこの時の回答と反応時間を計測した。この流れを 1 セットとし、実験全体で全 60 セット実施した。

計測は、最初に 1 セット分の予行練習を行わせ実験の様子を掴ませた。また、実験に関する質問を受け付けたり体調の確認を行った。その後 60 セット実施した。セットの実施順は、カウンターバランスを考慮し被験者ごとにランダムとした。ペダリングのスピードは、被験者に事前に「きつすぎず、普段こぐような速度で」と口頭で指示を与えた。自転車のギアは事前に調整させ、練習中ギアは変速させないことにした。セット間は被験者各自の判断で休息をとらせ、5 セットごとに強制的に 3 分間の休憩を取らせた。

被験者は、著者の所属機関に在籍する 19~20 歳の男子 7 名である。どの被験者も本実験を行うのは初めてである。

実験に使用した器具を表 2 に示す。自転車は被験者のおおよその体格に合う身長 160~175[cm] 向けのサイズのものを使用し、乗り心地の違和感の解消はサドルの高さ調整で対応した。また、自転車は固定ローラを用いてその場でペダリングができるようにした。固定方法は付属の説明書に従い、タイヤへの負荷は最小とした。ディスプレイ (50 インチ液晶タイプ) は、自転車の前輪の先端から 1.5m の手前に設置した。地面からディスプレイの中心までの高さは、おおよそ被験者の目線の高さとした。今回、色の提示はディスプレイ中心に画面縦横の長さの 1/3 の大きさの長方形を表示させ、そちらを安全色で着色した。また、長方形以外の部分は対比色で着色した (図 1)。

実験の実施にあたり、実験手順を自動で行うアプリケーションを作成した。作成には Microsoft 社 Visual Studio 2017 の C# 言語を用い、Windows Form アプリケーションとして作成した。反応時間の計測には Stopwatch クラスを用い、ミリ秒単位で取得した。試行順を決定するために用いた乱数の発生には Random クラスを用いた。

3.2 結果

反応時間の上位 2 割 (12 セット) とそのときの正答率、および下位 2 割のそれをそれぞれ表 3 と 4 に示す。表において、「高い色への反応時間」は高い色が示されてからボタンが押されるまでの全試技の平均時間 (単位秒) を表す。低

い色についても考え方は同様である。また「平均反応時間」とは、一つの色の組み合わせにおける、色が示されてからボタンが押されるまでの全試技の反応時間の平均を表す。「高い色への正答率」とは、高い色が示された時にその色に対応するボタンが押された割合 (パーセント) を表す。低い色についても考え方は同様である。また「平均正答率」とは、一つの色の組み合わせにおける全試技において正しいボタンが押された割合を表す。

全試技について、反応時間の平均は 1.145 秒 (分散 0.002) であり、最短は 1.057 秒 (橙-青-白²)、最長は 1.252 秒 (紫-赤-白) であった。同様に、正答率の平均は 98.3 % (分散 0.000) であり、最高は 100 % (25 セット)、最低は 93.3 % (紫-青-黒) であった。

4. 考察

本実験では、認識に適した色の組み合わせとして反応時間が短く正答率が高い色と定義する。今回の結果からは、高い色に暖色系 (橙や黄色)、低い色に寒色系 (青や紫) を組み合わせたときに速い反応を示し、それらではおおむね 95% 以上正しく回答していることがわかった。これらの色を組み合わせた場合、色に基づいて速く正しい行動を促すことができると言える。

結果を色ごとに解釈すると、青色と紫色を低い場合の色としたときは、背景色や高い場合の色に関わらず反応時間が短かった。特に、反応速度が速い上位 3 つの組み合わせは、低い場合の色はすべて青色であり、また背景色は白色であった。正答率については、緑色がどの色の組み合わせに関わらず高かった。特に緑色を高い場合の色としたときの正答率は、背景色にかかわらず 100% であった。また、赤色や橙色といった暖色を使用した組み合わせは、青色や緑色を使用した組み合わせと比較して正答率が低かった。特に暖色同士の組み合わせ (赤と橙) は、正答率が著しく低かった。これは、2 色が似たような色のため区別しにくかったと考えられる。

今回の実験では、全体に高い色への反応時間よりも、低い色への反応時間のほうが長かった。これは、練習者の利き手が影響している可能性がある。今回は、高い色への回答を右手ボタン、低い色を左手ボタンとした。ただ、今回の被験者は確認できた 1 名のみ左利きである (それ以外は未確認であるが右利きと思われる)。そのため、全体に右手ボタンへの反応時間が短かった可能性がある。

色を使った二つの違いの示し方に関しては、見慣れているものに天気予報での気温の示し方がある。これでは、気温が高い場合を赤などの暖色に割り当て、低い場合を青や紫などの寒色に割り当てている。本実験の結果では、高い場合を暖色とし低い場合を寒色とする場合に速く正確な反応を示した。これは、結果的に気温の場合と同様である。ただ、気温では「太陽・火=暖かい=赤」、「水・氷=寒い=

²表記において A-B-C は高いに対応する色が A、低いのが B、背景色が C を意味する。以降の表記も同様である

表 3: 反応時間（上位 2 割）とその正答率

高い色	低い色	背景色	高い色への反応時間		低い色への反応時間		平均反応時間		高い色の正答率[%]	低い色の正答率[%]	平均正答率[%]
			平均[秒]	分散	平均[秒]	分散	平均[秒]	分散			
橙	青	白	0.987	0.063	1.127	0.137	1.057	0.105	96.7	96.7	96.7
赤	青	白	1.140	0.097	0.982	0.085	1.061	0.097	96.7	100	98.3
黄	青	白	1.036	0.108	1.097	0.072	1.066	0.091	100	96.7	98.3
橙	黄	黒	1.060	0.057	1.090	0.072	1.075	0.065	93.3	96.7	95.0
黄	橙	白	1.115	0.148	1.064	0.080	1.089	0.115	96.7	96.7	96.7
黄	緑	黒	1.026	0.068	1.161	0.094	1.093	0.085	100	100	100
緑	紫	白	1.090	0.093	1.098	0.067	1.094	0.080	100	100	100
緑	青	黒	1.051	0.079	1.141	0.092	1.096	0.087	100	100	100
黄	赤	黒	1.050	0.119	1.150	0.130	1.100	0.127	100	96.7	98.3
青	紫	白	1.106	0.107	1.103	0.123	1.104	0.115	100	100	100
緑	紫	黒	1.102	0.078	1.111	0.088	1.106	0.083	100	96.7	100
黄	紫	黒	1.095	0.067	1.123	0.095	1.109	0.081	100	93.3	96.7

表 4: 反応時間（下位 2 割）とその正答率

高い色	低い色	背景色	高い色への反応時間		低い色への反応時間		平均反応時間		高い色の正答率[%]	低い色の正答率[%]	平均正答率[%]
			平均[秒]	分散	平均[秒]	分散	平均[秒]	分散			
紫	赤	白	1.217	0.112	1.286	0.107	1.252	0.110	93.3	100	96.7
青	黄	白	1.262	0.167	1.232	0.147	1.247	0.157	100	96.7	98.3
赤	橙	白	1.209	0.152	1.282	0.095	1.246	0.125	100	90.0	95.0
赤	橙	黒	1.220	0.114	1.196	0.096	1.208	0.106	90.0	100	95.0
赤	緑	黒	1.136	0.112	1.264	0.121	1.200	0.121	100	96.7	98.3
黄	青	黒	1.228	0.122	1.171	0.128	1.200	0.126	100	100	100
緑	橙	黒	1.147	0.125	1.248	0.133	1.198	0.131	100	96.7	98.3
紫	緑	白	1.102	0.118	1.281	0.115	1.192	0.124	100	100	100
緑	黄	白	1.183	0.142	1.197	0.116	1.190	0.129	100	100	100
青	緑	白	1.125	0.109	1.251	0.185	1.188	0.151	100	100	100
橙	青	黒	1.173	0.171	1.173	0.171	1.183	0.129	100	100	100
橙	緑	黒	1.153	0.153	1.207	0.146	1.180	0.150	100	100	100

青」のように実世界と対応付けた色が想像できるのに対し、本実験では、回転数の高低という現実に想像しにくいものを指標としており、色を気温の場合と同じような意味合いで捉えたとは言い難い。また、本実験では「高いと低い」という二つの状態を考え回答させたが、これを「速いと遅い」といった異なる指標、また同じ高いや低いでも位置が高いや低いを示す場合に今回と同様の傾向を示すかについては、今後さらなる検討が必要である。

5. むすび

本研究では、スポーツ初心者の動作習得に向け、習得したい動作と自身との差を視覚的に示すのに適した配色を実験により調査した。実験では、自転車ペダリングを行う者に、クランク回転数が目標より高いか低いかを様々な色で示してその際の反応時間を調べたところ、高い色に暖色系、低い色に寒色系を組み合わせたときに速い反応を示した。

謝辞 本研究の実施に協力いただいた松江工業高等専門学校情報工学科卒業生桑原 淳氏、および計測に協力いただいた同校の学生諸氏に感謝する。

参考文献

- [1] Jacky C.P. Chan, Howard Leung, Jeff K.T. Tang and Taku Komura : A Virtual Reality Dance Training System Using Motion Capture Technology, IEEE Transactions on Learning Technologies, Vol.4, No.2, pp.187-195, 2010.
- [2] Masaki Oshita, Tomohiko Mukai and Shigeru Kuriyama : Self-Training System for Tennis Shots with Motion Feature Assessment and Visualization, International Conference on Cyberworlds 2018, pp.82-89, 2018.
- [3] 岡崎 友聖, 稲葉 洋 : スポーツ初心者の動作習得を視覚的に支援するための映像の生成方法の検討, 平成 29 年度 (第 68 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, R17-14-07, 2017.
- [4] 金 聖愛, 川端 康弘 : 2 色配色における好ましさと反応時間及び視線の動きとの関連, 日本色彩学会誌, 第 41 巻, 第 4 号, pp.143-153, 2017.
- [5] 経済産業省 : 安全色及び安全標識に関する JIS 改正 , <https://www.meti.go.jp/press/2018/04/20180420006/20180420006-2.pdf> (2020.8 閲覧)