

視線計測を利用して音楽から想像された色の推定

Estimation of Imagined Color from Musics using Eye-tracking

Shan Junjie^{1*} 西澤 太次郎² 西原 陽子^{2 †}
Junjie Shan¹ Taijiro Nishizawa² Yoko Nishihara²

¹ 立命館グローバル・イノベーション研究機構

¹ Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University

² 立命館大学情報理工学部

² College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

Abstract: 音楽はジャンルにより人間に与える印象が異なる。その印象から想像される色も異なると考えられる。本研究では視線計測装置を用いて音楽の印象から想像される色を推定する手法を提案する。ユーザに音楽を聴かせながら、ランダムに生成された色パネルを提示し、ユーザが見た色を視線計測で記録する。記録した色をクラスタリングし、頻度の上位3位までのクラスタの色を表示する。ロック、バラード、ポップスのジャンルで男声ボーカルと女声ボーカルの合計6つのジャンルの楽曲を3曲ずつ、合計18曲を用意し、10名の被験者で評価実験を行った。実験の結果、音楽のジャンル毎に想像された色の違いとその特徴が確認された。

1 はじめに

音楽はジャンルにより人間に与える印象が異なる。その印象から想像される色も異なると考えられる。異なる音楽ジャンルに対応する想像色を解明することは、沢山の実際的な応用につながる。例えば、音楽ライブでは、様々な色の照明や映像を使い、音楽に合った雰囲気づくりをして観客を楽しませる工夫がなされる。その際、音楽の印象に合う色を知ることは、音楽を用いた雰囲気づくりを効果的に行うために必要である。Webページやゲームに音楽を用いる際にも、音楽の印象に合う色を使用することで、伝えたい雰囲気をより強く伝えることができ、音を流さずに閲覧やプレイするユーザに対しても音楽で伝えられない雰囲気を色で補うことができる。

しかし、そのためには音階やリズムの構成といった音楽理論の専門知識と、周波数や音圧といった音声コンテンツに関する複雑な信号処理が必要になることが多い [1]。それでも、結果は直感的で比較しやすいものにはならないことも多い。

そこで、本研究では、視線計測装置を利用して音楽から想像された色を計測するシステムを開発して、そのシステムを用いて音楽のジャンルに合った想像色を推定する手法を提案する。提案手法では、視線計測装置を利用して、音楽を聴きながらユーザが想像した色を

記録し、記録された色のデータはクラスタリング分析により、異なる音楽ジャンルと想像色のマッチングを実現する。

本研究では、主に以下の三つの内容を達成した：

1. 視線計測装置を用いてユーザに見られた色を記録するシステムを開発し、記録した色をクラスタに分けて可視化するインタフェースを実装した。
2. 記録された色データをクラスタリングするときに適切なパラメータを実験で確定した。
3. 開発した計測システムを利用して、代表的な三つの音楽ジャンル、ロック、バラード、ポップスで男声ボーカルと女声ボーカルの楽曲から、ユーザの感覚に合った想像色を評価実験で測定した。

2 関連研究

2.1 音楽の感覚とのマッチング

2002年に岩井らは、被験者にピアノの異なる鍵を聴かせて感じる色を選ばせることにより、調性・音色と色彩の間の非言語的なマッピング (non-verbal mapping) を調査した [2]。一方、若田らは2018年に心理学のSD法を使って、形容詞をもとに色、香り、音楽の種類の違いによる被験者への因子負荷量を調べ、それぞれの相関関係のマッチングや分類を行った [3]。2017年にItoh

*連絡先：立命館グローバル・イノベーション研究機構
〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1
E-mail: shan@fc.ritsumei.ac.jp

† E-mail: nisihara@fc.ritsumei.ac.jp

らは、音楽の七つの音である「ド」「レ」「ミ」「ファ」「ソ」「ラ」「シ」が、虹色の七つの色である「赤」「橙」「黄」「緑」「水色」「青」「紫」との対応関係を15名の被験者からの共感覚で調査した [1]。Itohらの研究に基づいて、2021年、天野は音楽から色コスチュームの映像を生成する手法を提案した [4]。天野は五線譜に基づく「音階の螺旋表現」や「音色」、「音量」などの情報を用いて、入力された音楽から自動的に立体的な虹色の画像を合成し、プロジェクターでコスチュームの映像を人に投影する。赤井らは2014年に、26種類の楽器からの音を被験者に聴かせてイメージされた色を選ばせる実験を行い、音色と色彩の関係について考察した [5]。

色彩以外の内容について、大山らは2007年に、任意の音楽と画像を入力し、画像の印象に合わせて音楽を自動的にアレンジする手法を提案した [6]。大山らは画像の色分布から各色のリズムパターンを算出し、楽曲のリズムとベースを差し替えることにより、楽曲を自動的にアレンジする。合志らは2008年に、音楽の音圧や周波数を考慮した音楽の感性を自動推定する手法と音楽に合わせて照明を自動的に演出するシステムを開発した [7]。

本研究では、既存研究に多く使われた音楽理論の専門知識に触れず、音楽の感覚と色のマッチングをより直接的に行う。このために視線計測装置を用い、人が感じる音楽と色のマッチングを取得する。

2.2 視線計測応用に関する研究

視線計測装置はユーザの注目場所や視線に関連する情報が取れるため、様々な場面や領域で研究を行っている。従来の研究では、ユーザーインターフェース (UI) の領域に焦点を当てていた。生田目ら (2011年) や松延 (2014年) は、視線計測を用いて、アクセシビリティとユーザビリティを両立したウェブサイトのデザインに関して調べた [8,9]。杉邑らは2013年に、視線計測を利用して、ユーザーインターフェースに対する「慣れる程度」を計測する手法を提案した [10]。同じく2013年に、石井らは縦スクロールでの表示方法の違いにより、文章を読む際の視線の動きの相違点を視線計測で判明した [11]。

近年になると、視線計測装置はより豊かな研究シナリオで活躍している。藤脇ら (2021年) や坂口 (2023年) は、障害者や高齢者などの安全な生活をサポートするために、視線計測を用いて電動車いすの搭乗や直線単路を自動車で走行する時の被験者の視線を計測し、被験者が安全確認のために注視している場所や走行中の注目する特徴をそれぞれ分析した [12,13]。江草らは2021年に、視線計測装置を用いて、漫画表現に

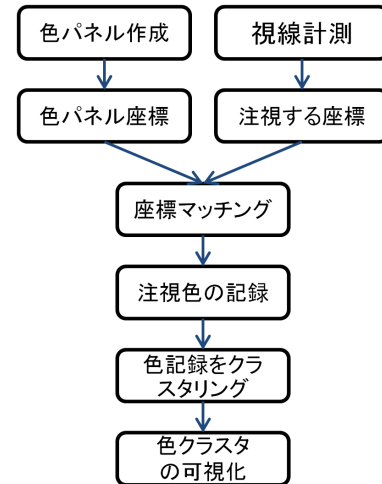


図 1: 視線計測で注視する色の記録及び可視化の流れ

よる解説を鑑賞する際の視線移動の測定及びキャラクターや吹き出しの効果を検証していた [14]。山田らは2021年に、水平作業台に搭載するディスプレイで情報を表示する時に、作業台にある遮蔽物を避けて情報を表示するため、視線計測装置を用いて作業者が注視している場所の推定手法を提案した [15]。

本研究では、ユーザの注目する色を計測するために視線計測装置を用いる。より即時的にユーザが注目した色を反映できるため、視線計測を用いてユーザに見られた色を記録するシステムを提案し、刺激を与えたときにそれに対応して注目する色を精度高く計測するため、専用のインターフェースを開発する。また、記録された注目色の集合から、刺激に対応し想像された色を推定するためにクラスタリングの技術を用いる。

3 提案手法

3.1 システムの流れ

図 1 に提案した視線計測装置を用いてユーザに注目された色の記録と可視化するシステムの流れを示す。本研究では、作成された色パネルにある各色のスクリーン座標を取得し、ユーザの視線座標とマッチングすることにより、ユーザに注視される色を記録する。

3.2 色パネルの作成

本研究では、 4×4 のパネルにランダムに生成される色を付けることにより、16色のパネルを作成する。

表 1 に色パネルのセッティング情報を示す。色パネルを表示するウィンドウのサイズは縦横各 800 ピクセルである。各色ブロックの間の距離は 20 ピクセルと設置する。毎回ランダムに生成される 16 色の種類は出来

表 1: 色パネルのセッティング情報.

項目	数値
縦	800 px.
横	800 px.
パネルサイズ	4 × 4
各色ブロック間の距離	20 px.
各生成色間の RGB 閾値	150
更新間隔	2.5 sec.

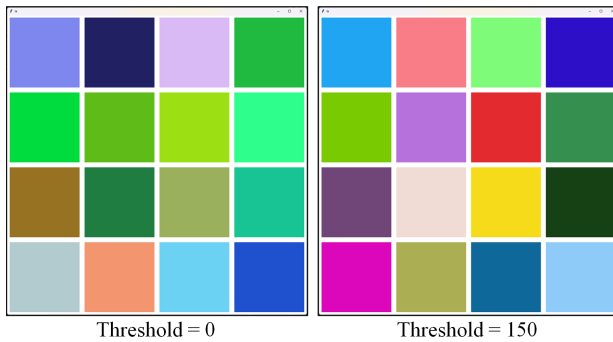


図 2: 異なる RGB 閾値の設定で生成した色パネル

るだけ豊かになるため、生成される各 RGB 値の色の間に 150 の閾値 (Thre) が設定される (Eq.1). この閾値により、ランダムに生成された全部の 16 色に対して、任意の 2 つの RGB 値の差の合計 (マンハッタン距離) をコントロールしている。

$$|R_i - R_j| + |G_i - G_j| + |B_i - B_j| \geq Thre; \quad (1)$$

$(i, j \in \text{Generated 16 Colors})$

図 2 は、作成された色パネルの様子と、RGB 閾値が 0 と 150 の場合でランダムに生成された色パネルの区別を示す。色パネルは 2.5 秒の間隔で更新され、そのうち 0.5 秒は毎回更新後にユーザの視線に与える反応時間で (表 2)、2 秒はユーザの視線に対する記録時間である。

3.3 視線計測から注視色の抽出

本研究では Tobii Pro Nano¹ を利用して視線計測を行う。この装置をモニタの下部に設置し (図 5)、モニタに向いているユーザの左目と右目のスクリーン内の座標をそれぞれ計測する。提案手法では、計測されたユーザの左目の座標と右目の座標の中点をユーザの注視点として算出する。ユーザの注視点がある色ブロックの範囲にある時、そのブロックのその時点での色の RGB 値を抽出し、注視色リストに記録する。

¹<https://connect.tobii.com/s/nano-get-started>

表 2: 視線計測のセッティング.

項目	数値
記録間隔	100 ms.
注視に対する視線移動閾値	50 px.
色パネル更新に与える反応時間	500 ms.

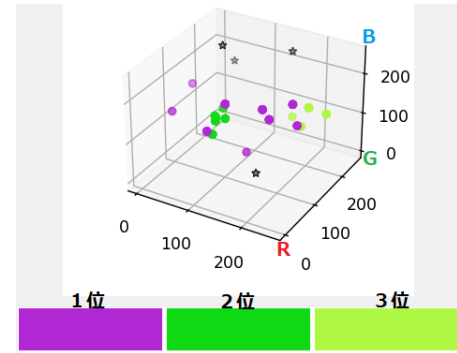


図 3: 推定するユーザの注視色の可視化

表 2 に視線計測から注視色の抽出に対するセッティングを示す。記録間隔は 0.1 秒 (100ms) で、一秒間に最大 10 回の注視色を記録する。ユーザは色パネルから気になる色を探し出す時に、視線が色パネル上に移動する必要がある。視線が移動途中で注視点の通過する色ブロックは記録されないように、視線の移動閾値を 50 ピクセルに設置している。毎回記録を行うたびに、ユーザの注視点の座標が前回の記録時の注視点座標から 50 ピクセル以上離れている場合は、ユーザの視線が移動中と見なし、その時点の注視点の色ブロックの RGB 値を記録しない。色パネルが更新されたとき、最初の 0.5 秒 (500ms) 間はユーザに与える反応時間として、色の記録は発生しない。

3.4 注視された色種類の推定と可視化

色パネルはランダムに色を生成するため、ユーザが同じ種類の色を注視したとしても、記録された色の RGB 値は必ずしも同じとは限らない。たとえ人の目で同じ色に見えていても、RGB 成分の各数値に僅かな差が生じることがある。そこで、ユーザに注視された色種類を推定するため、記録された色の RGB 値リストを用いて、クラスタリングを行う。

提案手法では、DBSCAN 法を用いて記録された色リストを複数のクラスタに分ける。分けたクラスタの数は、ユーザに注視された色の種類数と見なし、各クラスタにある記録数は、ユーザがその種類の色を注視した頻度と考える。そのため、より多くの記録数を含む

クラスタが、より頻繁にユーザに注視された色の種類である。本研究では、各クラスタを、ユーザに注視された色の種類として、そのクラスタに含まれる色記録のRGB値の平均を、その種類の代表色として推定する。

提案システムは、各クラスタが含む記録数の順番により、上位三つのクラスタに対して、色記録のRGB値の3D空間分布と平均色を可視化する。図3は一つの可視化のサンプルを示す。下部の色バーは左から1位、2位、3位の順で上位三つのクラスタの平均色を展示し、上部は各クラスタが3DのRGB空間内での分布を示している。黒い星マークの所はDBSCANで検出したノイズの記録点を示す。

4 評価実験

4.1 計測パラメータを決める予備実験

提案システムを用いて音楽からユーザの想像色を推定する際に、以下の三つのパラメータを設定する必要がある：

1. 計測時間：色パネルはランダム生成なので、計測時間が長くなると、記録データ数が増える一方で、ノイズも増える可能性がある。ノイズが沢山ある場合はDBSCANのクラスタリング精度に影響する。
2. DBSCANの近傍の密度を示す閾値 `min_samples`：一つの色種類に対して、少なくとも何個の色記録が必要である事を示す。
3. DBSCANの半径の距離 `eps`：RGB成分の各数値にある差を同じ種類の色と見なす範囲を示す。

上記三つのパラメータのうち、2番目の `min_samples` は5に設定した。注視色の記録間隔は0.1秒で設定しているため、一つ注視された色の種類と見なすには、少なくとも0.5秒以上（記録数5回以上）ユーザに注視された必要があると考えられる。1番目の計測時間と3番目の `eps` は、予備実験により適切なパラメータ値を決める。

4.1.1 予備実験の手順

適切な計測パラメータを判断する予備実験の手順は以下となる：

1. 色探しのテーマを用意する。
2. 被験者に色探しテーマを与える。
3. 提案システムを使って、被験者に色パネルからテーマに合う色を目で探させる。

表 3: 予備実験で与える色探しテーマ。

決まった色	自由に想像する色
ボス下の色	自分のイメージカラー
草原の色	好きな野菜の色
Facebook ロゴの色	染めてみたい髪色
ピカチュウの色	好きなマカロンの色
青空の色	好きなかき氷の色
巨峰の色	好きな金平糖の色

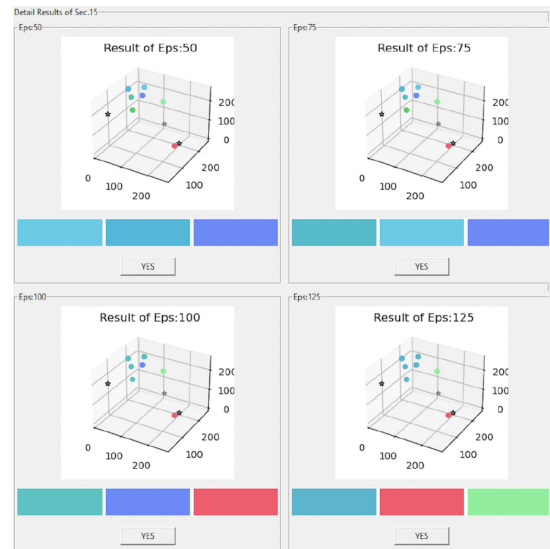


図 4: 計測時間と eps の組合せの可視化結果サンプル

4. 計測時間と eps が異なる色記録のクラスタリングの可視化結果を被験者に提示する。
5. 被験者は可視化結果から与えたテーマの色と合った結果を投票する。
6. 色探しのテーマを変えて、用意したテーマを終わるまで手順2～手順5を繰り返す。

用意した色探しテーマは表3に示す。「決まった色」と「自由に想像する色」の二つのグループに分けて、それぞれ六つのテーマ、合計12個のテーマを用意した。計測時間は10秒、15秒、20秒、25秒、epsは50、75、100、125の各四つずつに設定し、各計測時間と各epsの組合せで可視化する合計16種類の結果を被験者に提示する。図4に、計測時間が15秒で、4種類のepsでの可視化結果のサンプルを示す。被験者が自分に与えたテーマに合わせる可視化結果であると思った組合せの下の「YES」ボタンを押して、組合せを投票する。

4.1.2 予備実験の結果

予備実験は7人の被験者で実施した。表4は、全12個の色探しテーマに対して、7人の被験者の各計測時間とepsの組合せへの投票結果を示す。本研究は音楽から

表 4: 全 12 個のテーマにおいて被験者が各組合せへの投票結果.

eps	計測時間 (秒)				合計
	10	15	20	25	
50	<u>55</u>	54	46	52	207
75	<u>55</u>	48	46	49	198
100	52	49	44	50	195
125	52	51	49	48	200
合計	214	202	185	199	800

表 5: 6 個の「自由に想像する色」のテーマにおいて被験者が各組合せへの投票結果.

eps	計測時間 (秒)				合計
	10	15	20	25	
50	<u>27</u>	21	20	26	94
75	<u>27</u>	22	22	26	97
100	24	22	19	22	89
125	21	21	19	19	80
合計	99	88	80	93	360

想像される色を計測することが目標であるため、「自由に想像する色」のグループにある六つのテーマにおける各組合せの可視化結果への投票結果も統計した (表 5 に示す).

全 12 個のテーマに対する投票結果では, eps が 50 の場合, 他の eps 値より多くの投票数 (207) が集まって, 計測時間が 10 秒の時に集まった投票数 (214) が, 他の計測時間より多くなった. 一方, 「自由に想像する色」のテーマに対する投票結果は, eps が 50, 計測時間が 10 秒の場合 (27) と eps が 75, 計測時間が 10 秒の場合 (27) での投票数は, 他の組合せより沢山の投票を集まった.

予備実験の結果から見ると, 計測秒数が短い方, eps が小さい方の組合せでの計測・可視化結果に対して, 被験者のイメージした色に合う傾向がある事を判明した.

4.2 音楽から想像された色の推定実験

本実験の目的は, 提案システムを用いて, 音楽のジャンルごとにイメージされる色を推定し, その推定結果を分析することである.

4.2.1 実験手順

実験の手順は以下の通りである:

1. ジャンル別の音楽を用意する.
2. 被験者に用意した音楽を聴かせる.

表 6: 用意したジャンル別の音楽リスト.

	ロック	バラード	ポップス
男声	KILLING ME Remember Jagerbomb	8 Letters One Call Away Too Good At Goodbyes	Lucky Strike Runaway Baby Say Somethin'
女声	Feel A Thing Lonely Girl Despondency	Lose You To Love Me Thinking About You Rise Up	Black Magic No Excuses Into You



図 5: 実験風景

3. 音楽を聴かせ始めてから 5 秒後に色パネルを表示し, 被験者の視線を計測する.
4. 被験者に色パネルの中から, 聴いている音楽から想像される色を目で探させる.
5. 提案システムにより, 被験者が注視した色を記録する.
6. 聴かせる音楽を変えて, 手順 2~手順 5 を繰り返す.

表 6 に実験で使用したジャンル別の音楽を示す. 被験者に聴かせる音楽はロック, バラード, ポップスの三つのジャンルごとに男声ボーカルと女声ボーカルの二種類で楽曲を 3 曲ずつ, 合計 18 曲を用意し, 6 つのグループに分けた. さらに, 言語からの影響を抑えるために, 用意した楽曲は全部英語の楽曲から選んだ. 各音楽に対する実験時間は 30 秒である (5 秒の導入 + 25 秒の計測).

実験に参加した被験者数は 10 人であり, 全員は日本人の大学生であった. 図 5 は提案システムを用いて音楽を聴きながら視線を計測する実験の様子を示す. 実

表 7: 被験者, 音楽のジャンルごとに計測された色記録のクラスタ数. (計測時間は 25 秒, eps は 50)

被験者 ID	音楽ジャンルごとのクラスタ数					
	男声ロック	女声ロック	男声バラード	女声バラード	男声ポップス	女声ポップス
ID1	15	15	19	24	15	18
ID2	22	9	15	15	17	6
ID3	5	9	11	16	15	12
ID4	7	10	19	18	12	12
ID5	14	19	19	22	12	9
ID6	25	16	17	21	15	16
ID7	26	13	14	25	17	10
ID8	7	14	12	21	10	15
ID9	9	14	10	18	21	14
ID10	7	18	8	23	12	11
平均	13.7	13.7	14.4	20.3	14.6	12.3

表 8: 被験者, 音楽のジャンルごとに計測された色記録から検出したノイズ数. (計測時間は 25 秒, eps は 50)

被験者 ID	音楽ジャンルごとのノイズ数					
	男声ロック	女声ロック	男声バラード	女声バラード	男声ポップス	女声ポップス
ID1	60	50	44	68	48	39
ID2	41	46	63	50	64	46
ID3	28	16	27	33	37	12
ID4	18	32	37	39	17	21
ID5	39	49	51	40	35	42
ID6	18	34	39	30	27	40
ID7	81	49	57	74	77	45
ID8	13	24	42	36	21	32
ID9	58	22	25	58	52	29
ID10	31	21	28	42	29	17
平均	38.7	34.3	41.3	47.0	40.7	32.3

験で使用したモニタのサイズは 24 インチ, 解像度は 1920 × 1080 ピクセル, リフレッシュレートは 60Hz であった.

4.2.2 実験結果

表 7 は, 音楽のジャンル, 被験者ごとに, 25 秒の計測時間で記録された注視色リストに対するクラスタ数の統計結果を示す. 表 8 は, 音楽のジャンル, 被験者ごとに, 25 秒の計測時間で記録された注視色リストに対して DBSCAN で検出したノイズ数の統計結果を示す. 図 6 は, 計測時間が 10 秒, eps が 50 の場合で 10 人の被験者の全ての記録に対してクラスタリングを行い, 上位 3 つのクラスタにある色記録の RGB 値の 3D 空間分布を可視化した結果である.

女声バラードの楽曲で注視された色のクラスタ (色の種類) の平均数は最も高く (20.3), 女声ポップスの楽曲で注視された色クラスタの平均数は最も低かった (12.3). 同じ傾向で, 被験者の女声バラードの楽曲での色記録から検出されたノイズの色は最も多かった (47.0), 女声ポップスの楽曲での色記録から検出されたノイズは最も少なかった (32.3).

5 考察

被験者の注視色記録をクラスタリングし可視化した結果により, 音楽ジャンル毎に想像される色の違いとその特徴が確認された.

計測時間 10 秒での色クラスタの分布結果 (図 6) からみると, 男声ボーカルのロック曲 (①) では, 濃い赤色が多く記録されており, 女声ボーカルのロック曲 (④) では, 明るい赤色やオレンジ色が多く記録されていた. 男声ボーカルのポップス曲 (③) では, 黄色や黄緑色の所に多く偏っており, 女声ボーカルのポップス曲 (⑥)

では, 主にピンク色に集中していた. しかし, バラード曲の場合, 男声ボーカル (②) は水色や緑色の所に集中しているが, 女声ボーカル (⑤) は緑色やオレンジ色のような空間上に離れている色がそれぞれ多く記録されていた. この結果により, 男声ボーカルのロック曲 (①), 女声ボーカルのロック曲 (④), 男声ボーカルのポップス曲 (③), 女声ボーカルのポップス曲 (⑥), 男声ボーカルのバラード曲 (②) の 5 つの場合 (女声ボーカルのバラード曲 (⑤) 以外) において, 音楽からイメージされる色は人によらず共通している傾向があると考えられる.

被験者に注視されたジャンルごとの色記録から推定された色クラスタ数と検出したノイズ数の結果も同じ傾向を反映している. 音楽のジャンルごとに計測された色記録の平均クラスタ数により (表 7), 男声ロック (13.7), 女声ロック (13.7), 男声バラード (14.4), 男声ポップス (14.6), 女声ポップス (12.3) で注視された色の平均種類数は同じ程度であったが, 女声バラード (20.3) では多くなった. 女声バラードでの計測記録から検出された平均ノイズ数 (47.0) も他のジャンルより多かった. これらの結果により, 被験者が女声バラードのジャンルから想像された色の種類は集中しておらず, 多数の色を思い浮かべている傾向があると考えられる.

一方, 女声ポップスで計測された色の平均クラスタ数と検出されたノイズ数両方も, 全ての音楽ジャンルの中で最も少なかった (12.3 と 32.3). 可視化された色クラスタの分布グラフから見ると, 被験者が女声ポップスで注視した色の記録は, ほぼ一つの色種類 (ピンク) だけに集中していた. これらの結果から, 可視化した音楽から想像された色の推定が, 計測したユーザに注視された色の記録と概ね一致していることがわかった.

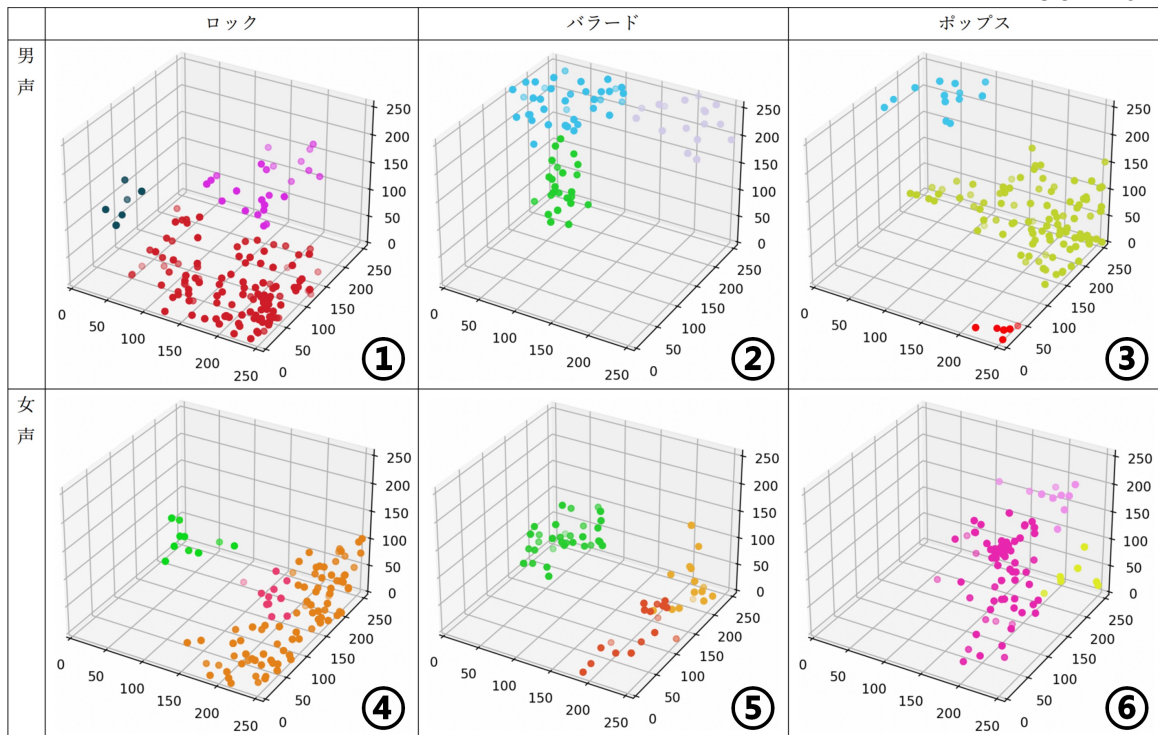


図 6: 被験者全員の注視色の記録から推定される音楽ジャンル, ボーカルごとの上位 3 つの色クラスタの分布の可視化 (計測時間 10 秒, eps は 50).

6 結論

本研究では視線計測装置を用いて音楽の印象から想像される色を推定する手法を提案した。提案手法では、視線計測でランダムに生成された色パネルからユーザに注視された色の記録とクラスタリングにより可視化するシステムを構築した。構築したシステムを用いて、音楽から想像される色を推定する実験を行った。6つの音楽ジャンルごとに3曲ずつ用意し、10名の被験者で計測実験を評価した結果、音楽は人に与えた印象からの想像色がジャンルにより分布と特徴が異なるのである事を確認した。6つの音楽ジャンルの中、5つのジャンルで被験者から得られたイメージ色は一致しており、1つのジャンルではイメージ色は一致せず、様々な色が得られた。

今後の課題として、様々なプロフィールの被験者を増やし、音楽から想像された色が年齢層、文化背景での違いや関連性を探索する予定である。

謝辞

本研究は、立命館グローバル・イノベーション研究機構、第4期拠点形成型 R-GIRO 研究プログラム「心の距離メータ」を用いたフィジカル・サイバー空間における人間関係構築技術の開発の支援を受けて実施していた。感謝の意を表します。

参考文献

- [1] K. Itoh, H. Sakata, I. L. Kwee and T. Nakada.: Musical pitch classes have rainbow hues in pitch class-color synesthesia, *Scientific Reports*, Vol. 7, No. 17781 (2017).
- [2] 岩井大輔, 長田典子, 津田学, 和氣早苗, 井口征士, etc: 音と色のノンバーバルマッピング-色聴保持者のマッピング抽出とその応用, 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol. 2002, No. 100, pp. 97-104 (2002).
- [3] 若田忠之, 森谷春花, 齋藤美穂: 色, 香り, 音楽に共通する印象次元の検討 2, 日本色彩学会誌, Vol. 42, No. 3, pp. 96-99, (2018).
- [4] 天野憲樹: 音楽の立体的な色彩化とウェアラブル化の試み, 芸術科学会論文誌, Vol. 20, No. 2, pp. 72-81 (2021).
- [5] 赤井良行, 李昇姫: 音色からイメージされる色彩の寒暖と音色構造の関係, 日本感性工学会論文誌, Vol. 13, No. 1, pp. 221-228 (2014).
- [6] 大山喜冴, 伊藤貴之: Diva: 画像の印象に合わせた音楽自動アレンジの一手法の提案. 芸術科学会論文誌, Vol. 6, No. 3, pp. 126-135 (2007).

- [7] 合志和洋, 清田公保, 三好正純, 古賀広昭: 音楽の印象に合わせた照明表現システムの研究開発, 熊本電波工業高等専門学校研究紀要, Vol. 35 (2008).
- [8] 生田目美紀, 北島宗雄: ユーザビリティとアクセシビリティを両立させるリンク表現の検討: 視線計測によるウェブデザインに関する研究, デザイン学研究, Vol. 58, No. 2, pp. 105–112 (2011).
- [9] 松延拓生: ウェブサイトのユーザビリティ評価のための視線分析方法, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 16, No. 4, pp. 293–302 (2014).
- [10] 杉邑洋樹, 上野秀剛, etc: 視線情報に基づいたユーザインタフェースへの慣れの定量化, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2013, No. 2, pp. 1–8 (2013).
- [11] 石井亮登, 森田ひろみ: 縦スクロール表示された文章の快適な読み速度と眼球運動, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 6, pp. 1784–1793 (2013).
- [12] 藤脇蓮, 木室義彦: 傾斜歩道における構造化モデリング法を用いた車いす搭乗者の視線分析, 電気・情報関係学会九州支部連合大会委員会 2021 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会 (第 74 回連合大会) 講演論文集, pp. 102–102 (2021).
- [13] 坂口雄介: 高齢者と若年者の直線単路走行時の注視特徴, 現代社会文化研究, Vol. 76, pp. 81–91 (2023).
- [14] 江草遼平, 青木良太, 楠房子, 稲垣成哲: 科学系博物館におけるマンガ表現による解説法のデザイン: キャラクターと吹き出しの導入による読み取りプロセスの変化に関する事例的検討, 一般社団法人日本科学教育学会・日本科学教育学会年会論文集, Vol. 45, pp. 399–402 (2021).
- [15] 山田孟, 長野真大, 中嶋良介, 仲田知弘, 松野省吾, 岡本一志, 山田哲男, 杉正夫: 水平作業台ディスプレイにおける作業者の頭部位置移動に対応した注視点推定システムの提案, 公益社団法人精密工学会 2021 年度精密工学会春季大会・精密工学会学術講演会講演論文集, pp. 161–162 (2021).