

相関成分分析による音楽聴取時の脳活動クラスタリング

Clustering brain activity during listening to music by using correlated component analysis

上野 芙優[†], 嶋田 総太郎[‡]
Fuyu Ueno, Sotaro Shimada

[†] 明治大学大学院理工学研究科, [‡] 明治大学理工学部
[†] Graduate School of Science and Technology, Meiji University,
[‡] School of Science and Technology, Meiji University
fueno@meiji.ac.jp

概要

被験者が音楽を聴いている時の脳波を計測し、相関成分分析を行った。被験者に共通する脳活動成分は、被験者の主観評価や楽曲の特徴のどの要因と、どのような関係性があるのか、各曲の主成分の値を特徴量としてクラスタリングを行い検討した。その結果、各クラスターで、脳波の第1～3主成分の値、被験者の主観評価と曲調について異なる特徴があることが示された。したがって、被験者間で共通する脳活動成分から、音楽聴取による被験者の主観評価（好感度、楽しさ、聴取頻度、覚醒度）や楽曲の特徴（調性、テンポ）に関して分類できることが示唆された。

キーワード：音楽認知, 脳活動計測, クラスタリング

1. 目的

音楽聴取に関わる脳の機能の局在性や経路に関する研究は多数あり、島および帯状回、視床下部、海馬、扁桃核、前頭前野などの脳領域で特定の経路を活性化することが示されている[1-2]。しかし、関連する既存の研究では統一的な見解には至っておらず、どのような音楽が脳をどのように賦活させるのかは明らかになっ

ていない[3]。

一方、音楽は、人の感情、身体、人格、社会的行動、信頼性や魅力に影響を与えること[4]や、様々な感情（優しさ、懐かしさ、平穏、活力、喜び）を誘導するため、医療現場ではうつ病の治療や患者の不安やストレスを軽減するために用いられている[5]。

Dmochowskiら[6]による研究では、20種類のCMを視聴している時の、比較的少数（十数名程度）の被験者から得られた脳波の被験者間相関の強さから、CMに対する全米の一般大衆の好みを予測できることが報告されている。音楽視聴時の脳波を測定し、被験者間の相関成分分析を行うと、被験者間相関の強さと、被験者の主観評価や楽曲の特徴との関係性が明らかになると考えられる。

そこで本研究では、被験者間の脳波相関成分を特徴量としてクラスター分析を行う。その結果から、脳活動と被験者の主観評価や楽曲の特徴には、どのような関係性があるのか検討する。

クリップ	ランキング	タイトル	年	アーティスト	ジャンル
1	1	恋	2016	星野源	J-pop, Dance pop
2	5	二人セゾン	2016	樺坂46	J-pop
3	10	サイレントマジョリティー	2016	樺坂46	J-pop
4	15	願いごと持ち腐れ	2017	AKB48	J-pop
5	20	RAIN	2017	SEKAI NO OWARI	J-pop, Post-rock
6	25	ハッピーエンド	2016	back number	J-pop
7	30	EXCITE	2017	三浦大知	J-pop, R&B
8	35	ヒカリノアトリエ	2017	Mr.Children	J-pop, Rock
9	40	Doors～勇気の軌跡～	2017	嵐	J-pop
10	45	意外にマンゴー	2017	SKE48	J-pop
11	50	HANABI	2008	Mr.Children	J-pop, Rock
12	55	CQCQ	2017	神様、僕は気づいてしまった	J-pop, Rock
13	60	KNOCK KNOCK	2017	TWICE	K-pop
14	65	おとなの掟	2017	Doughnuts Hole	J-pop
15	70	CHARM	2017	WANIMA	J-pop, Rock
16	75	Just You and I	2017	安室奈美恵	J-pop
17	80	キスは待つしかないのでしょうか？	2017	HKT48	J-pop
18	85	ひまわりの約束	2014	秦基博	J-pop
19	90	空	2017	GENERATIONS from EXILE TRIBE	J-pop
20	95	BANG BANG BANG	2016	BIGBANG	K-pop, Dance pop, Trap, R&B, Seoul
21	100	シェイク・イット・オフ～気にしてなんかいられないっ！！～	2014	テイラー・スウィフト	Pop

図1 楽曲リスト（実験で使用した曲の詳細）

2. 方法

2.1. 被験者

聴覚正常な 17 名（女性 7 名, 21.4±0.69 歳, 平均±標準偏差）が実験に参加した。

2.2. 音楽刺激

ビルボードジャパンの 2017 年のランキングを用い, 1~100 位の中から 5 位ごと計 21 曲を実験で使用した (図 1)。各曲必ずサビが入るように 62 秒に編集し, ランダム順に被験者に呈示した。

2.3. 手順

被験者は着席した状態で, 呈示される曲を聴取した。各曲聴取後に時間を制限せずに毎回, 好感度を-5~5 の 11 段階で回答させて, 次の曲を聴取するようにした。全曲の聴取が終了次第, 脳波計測も終了し, 各曲について評価させるアンケートに移った。アンケートでは, もう一度各曲 62 秒を聴取しながら, 各曲の好感度・楽しさ・聴取頻度・覚醒度を-5~5 の 11 段階で評価させた。好感度評価のみ脳波測定時とアンケート回答時で評価が変化しないか確認するため 2 回行った。

2.4. 測定方法

脳波計(g.USBamp, g.tec, Austria)を用いて, 音楽聴取時の脳波測定を行った。測定の電極にはアクティブ電極を使用した。計測箇所は国際 10-20 法の 30 か所

(Fp1, Fpz, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, FC3, T7, C5, C3, Cz, C4, C6, T8, TP7, CP5, CP3, CP4, CP6, TP8, P7, P5, P3, Pz, P4, P6, P8, O1, O2) とし, AFz を接地電極, 右耳朶を参照電極とした。また, 眼球運動を計測するため右眼窩上下に電極を配し眼電図 (EOG) を計測した。サンプリング周波数 512 Hz で記録した。

2.5. 分析方法

脳波解析には MATLAB (The MathWorks, Massachusetts, USA) および MATLAB 上で動作する脳波解析ソフト (EEGLAB14.1.1b, Swartz Center for Computational Neuroscience, San Diego, USA) を用いて, データの周波数帯域を 1~60Hz に限定するようフィルタリングを行い, 50Hz の電源ノイズの低減 (Clean Line) を行った後, 独立成分分析 (ICA) を行い, 瞬目によるアーティファクトを除去した。除去後のデータを用いて, 相関成分分析 (Correlated Component Analysis:

CorrCA) とクラスター分析を行った。

CorrCA は, 被験者間相関が最大になるように, 脳波データの重みを算出する一種の主成分分析手法である (図 2) [7-9]。クラスター分析は, CorrCA で抽出した第 1~3 主成分による三次元マップを元に, 全 21 曲に対して k-means 法を用いて行った。

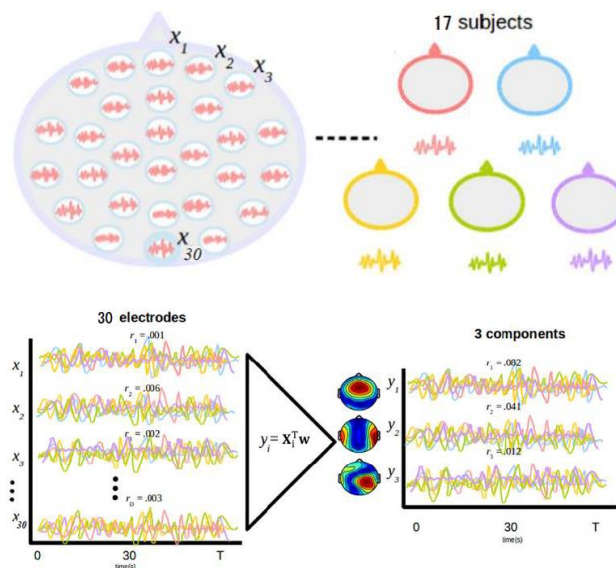


図 2 CorrCA ([9]より引用し一部改変)

3. 結果

3.1. 脳波の主成分分析

CorrCA によって抽出された第 1~3 主成分の重みづけマップを図 3 に示す。これらの主成分は, 全 30 主成分の内, 被験者間で相関の高い上位 3 主成分であり, 被験者間で共通する脳活動成分の重みを示している。

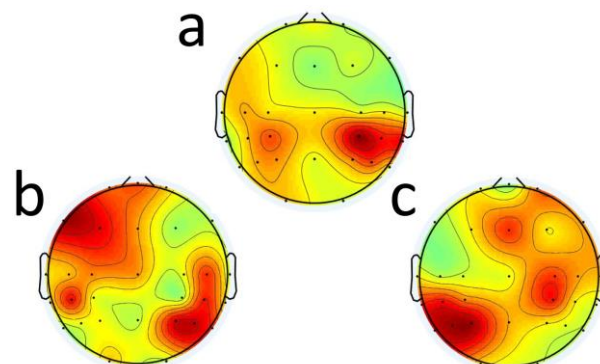


図 3 脳波の主成分トポグラフ (a-c: 第 1-3 主成分)

3.2. クラスター分析の結果と各クラスターの特徴
エルボー法とシルエット分析から, 適切なクラスタ

一数は3だと判断した。クラスター1は、第3主成分の値が特に高い・被験者の聴取頻度が低い・長調の曲が多いという特徴があった(図4-6, 表1)。クラスター2は、第2主成分の値が特に高い・被験者の好感度が高い・覚醒度が特に高い・比較的テンポの遅いバラード調の曲が多いという特徴があった。クラスター3は、第1主成分の値が特に低い(第2, 3主成分の値も低い)・被験者の聴取頻度が高い・短調の曲が多いという特徴があった。なお、各曲聴取後の好感度の評価の平均値と、全曲聴取後の各曲の好感度の評価の平均値は一致した。

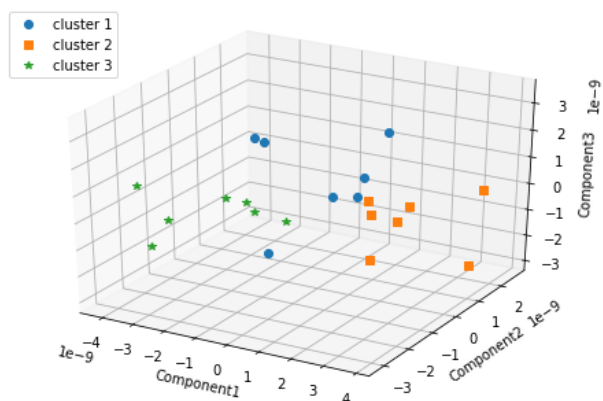


図4 全21曲に対する各曲の3成分の値による、クラスター分析

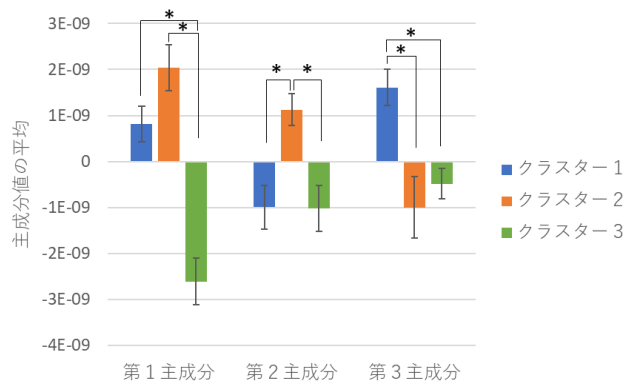


図5 脳活動のクラスターの特徴 (*: $p < 0.05$)

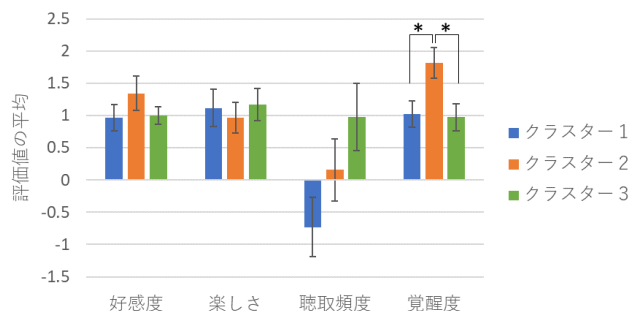


図6 被験者の評価(好感度, 楽しさ, 聴取頻度, 覚醒度)の特徴 (*: $p < 0.05$)

表1 楽曲のクラスターの特徴(調性, テンポ)

	調性(曲数)	テンポ(平均±標準偏差)
クラスター1	長調(6), 短調(1)	131.6 ± 31.4
クラスター2	長調(4), 短調(3)	105.4 ± 25.2
クラスター3	長調(2), 短調(5)	144.1 ± 38.8

4. 考察

本研究の結果より、各クラスターで、脳活動、被験者の評価と楽曲の特徴があることが示された(図4-6, 表1)。つまり、脳波の各主成分の値の度合いが類似している結果となった曲同士は、被験者の主観評価の値の程度や、曲調が似ているということが考えられる。

クラスター1の特徴は、被験者の聴取頻度が低い・長調の曲が多いことであり、第3主成分の値が特に高いことが示された。先行研究では、長調の曲で多く使われるメジャーの和音は、左中側頭回に有意な活動を示すこと[10]が報告されている。よって、今回の結果は、長調の曲を聴取したしたことにより、第3主成分に顕著な左中側頭回の活動が活発になったといえる。

クラスター2の特徴は、被験者の好感度が高い・覚醒度が特に高い・比較的テンポの遅いバラード調の曲が多いことであり、第2主成分の値が特に高いことが示された。先行研究では、早い音楽を聴取した時は扁桃体の活動が活発になる[11-12]ことが報告されている。また、感情的な曲を聴取した時に、右側頭葉の活動が活発になり、右前頭葉の活動が抑えられることも報告されている[13]。よって、今回の結果は、第2主成分の影響が強いことを考えると、扁桃体の活動に影響を受ける前頭眼窩野の活動が、被験者の好感度が高い曲を聴取したことにより活発になったといえる。また、被験者の気分を高揚させる、感傷的で比較的遅いテンポの曲を聴取したことにより、右側頭葉の活動が活発になり、右前頭葉の活動が抑えられたといえる。

クラスター3の特徴は、被験者の聴取頻度が高い・短調の曲が多いことであり、第1主成分の値が特に低い(第2, 3主成分の値も低い)ことが示された。先行研究では、短調の曲で多く使われるマイナーの和音は、右線条体に有意な活動を示すこと[10]や、メジャーの和音と比較して、扁桃体や脳梁膨大後部皮質、脳幹および小脳の活動が活発になること[14]が報告されている。よって、今回の結果は、被験者の聴取頻度は高いが、短調の曲を聴取したことにより活動した脳領域は、脳波の上位3主成分以外の成分が影響を受けたために、

脳波の第1～3主成分の値が低くなったと考えられる。

以上から、被験者間で共通する脳活動成分から、音楽聴取による被験者の主観評価（好感度、楽しさ、聴取頻度、覚醒度）や楽曲の特徴（調性、テンポ）に関して分類できることが示唆された。

また、上述のクラスター2の特徴より、音楽聴取時の脳活動に表れる無意識的な反応が音楽の好みを表している可能性がある。しかし、個々人が音楽の好みを主観的に判断する際には、音楽聴取時に喚起された無意識的な感情だけではなく、好みの音楽ジャンル[15]、パーソナリティ[16-17]、聴取時の感情や気分[18]、社会的・文化的背景[19]に影響を受けると考えられる。今回は音楽聴取時の被験者で共通した無意識的な反応を解析することによって、被験者の主観評価や楽曲の特徴との関係性を明らかにすることができたが、今後の研究では、個々の被験者が音楽の好みを判断する際の意識的な認知要因（前述の好みの音楽ジャンル等）についても解析する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] Wang, S., & Agius, M. (2018). The neuroscience of music; a review and summary. *Psychiatra Danubina*, 30(Suppl 7), 588-594.
- [2] Boso, M., Politi, P., Barale, F., & Enzo E. (2006). Neurophysiology and neurobiology of the musical experience. *Functional Neurology*, 21(4), 187-91.
- [3] Sihvonen, A. J., Särkämö, T., Rodríguez-Fornells, A., Ripollés, P., Münte, T. F., & Soinila, S. (2019). Neural architectures of music - Insights from acquired amusia. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 107, 104-114.
- [4] Brancatisano, O., Baird, A., & Thompson, W. F. (2020). Why is music therapeutic for neurological disorders? The Therapeutic Music Capacities Model. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 112, 600-615.
- [5] Meng, Q., Jiang, J., Liu, F., & Xu, X. (2020) Effects of the Musical Sound Environment on Communicating Emotion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6, 17(7).
- [6] Dmochowski, J. P., Bezdek, M. A., Abelson, B. P., Johnson, J. S., Schumacher, E. H., & Parra, L. C., (2014). Audience preferences are predicted by temporal reliability of neural processing. *Nature communications*, 5, 4567.
- [7] Dmochowski, J. P., Sajda, P., Dias, J., & Parra, L. C. (2012). Correlated components of ongoing EEG point to emotionally laden attention – a possible marker of engagement? *Frontiers in human neuroscience*, 6, 112.
- [8] Jäncke, L., & Alahmadi, N. (2016). Detection of independent functional networks during music listening using electroencephalogram and sLORETA-ICA. *Neuroreport*, 27(6), 455-461.
- [9] Ki, J. J., Kelly, S. P., & Parra, L. C. (2016). Attention Strongly Modulates Reliability of Neural Responses to Naturalistic Narrative Stimuli. *Journal of Neuroscience*, 36(10), 3092-3101.
- [10] Suzuki, M., Okamura, N., Kawachi, Y., Tashiro, M., Arao, H., Hoshishiba, T., Gyoba, J., & Yanai, K. (2008). Discrete cortical regions associated with the musical beauty of major and minor chords. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 8(2), 126-31.
- [11] Mueller, K., Mildner, T., Fritz, T., Lepsien, J., Schwarzbauer, C., Schroeter, M. L., & Möller, H. E. (2011). Investigating brain response to music: a comparison of different fMRI acquisition schemes. *Neuroimage*, 54, 337-343.
- [12] Koelsch, S., Skouras, S., Fritz, T., Herrera, P., Bonhage, C., Küssner, M. B., & Jacobs, A. M. (2013). The roles of superficial amygdala and auditory cortex in music-evoked fear and joy. *Neuroimage*, 81, 49-60
- [13] Alfredson, B. B., Risberg, J., Hagberg, B., & Gustafson, L. (2004). Right temporal lobe activation when listening to emotionally significant music. *Applied neuropsychology*, 11(3), 161-6.
- [14] Pallesen, K. J., Brattico, E., Bailey, C., Korvenoja, A., Koivisto, J., Gjedde, A., & Carlson, S. (2005). Emotion processing of major, minor, and dissonant chords: a functional magnetic resonance imaging study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 450-3.
- [15] Rentfrow, P. J., Goldberg, L. R., & Levitin, D. J. (2011) “The structure of musical preferences : a five-factor model.”, *Journal of personality and social psychology*, 100(6), 1139-57.
- [16] Rentfrow, P. J., & Gosling, S. D. (2003) The do re mi's of everyday life: the structure and personality correlates of music preferences. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(6), 1236-56.
- [17] Brown, R. A. (2012) Music preferences and personality among Japanese university students. *International Journal of Psychology*, 47(4), 259-68.
- [18] Xue, C., Li, T., Yin, S., Zhu, X., & Tan, Y. (2018) The influence of induced mood on music preference. *Cognitive Processing*, 19(4), 517-525.
- [19] Good, M., Picot, B. L., Salem, S. G., Chin, C. C., Picot, S. F., & Lane, D. (2000) Cultural differences in music chosen for pain relief. *Journal of Holistic Nursing*, 18(3), 245-60.