

前頭葉血流指標を用いた若年成人・高齢者の音楽の好感度の判定

小野 弓絵*

Detection of Music Preferences in Young Adults and Elderly Individuals Using Prefrontal Hemodynamics

Yumie ONO*

Abstract Partaking in physical exercise while listening to one's favorite music ameliorates the perception of dyspnea and fatigue and increases one's enjoyment of the exercise. Hence, the use of specific music in a physical training class for elderly people could increase the endurance of the participants. Additionally, this could benefit elderly individuals by reducing frailty and improving cognitive function. However, it may be difficult to elicit information pertaining to preferred music as it may be difficult to communicate with elderly individuals owing to cognitive decline. Thus, in this study, an objective classification method of music preferences was developed using the changes in prefrontal hemodynamic signals while listening to music, measured by functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). The experiment consisted of 17 young adults and 17 elderly individuals. While listening to 6 popular songs during different time periods, fNIRS was used to scan the prefrontal brain activity of the subjects. For each song, seventeen features of the fNIRS waveform were extracted, which included statistics of temporal distribution and laterality of changes in oxy-hemoglobin, deoxy-hemoglobin, and total hemoglobin concentrations. From these features, three that exhibited the highest correlation to score of a subjective preference scale obtained from a questionnaire completed by each participant were selected. The extracted features were used to train a 2-class linear classifier that determined whether the listener preferred each song. Mean classification accuracy was calculated by a leave-one-out cross-validation method. The proposed algorithm had mean classification accuracy of $86.3 \pm 11.8\%$ and $88.9 \pm 14.5\%$ (mean \pm standard deviation) in detecting individual favorite songs in young adults and elderly individuals, respectively. The mean classification accuracy was significantly higher when features selected for individual participants were used compared to when fixed and common features for all participants were used. This finding suggested that listening to favorite songs evoked individual changes in emotional responses.

Keywords : music, near-infrared spectroscopy, emotion, prefrontal cortex, machine learning.

1. はじめに

好みの音楽を聞きながらの運動は、呼吸困難感や疲労感を低減し、運動に対する楽しさを高める[1]。また高齢者において、音楽に合わせて行う運動介入は、音楽なしで行う運動介入よりも認知機能の改善効果が高いことも報告されている[2]。認知機能の維持やフレイルの防止を目的として行われる高齢者対象の運動トレーニングにおいて、参加者の好む音楽を用いることは、参加意欲の維持、運動習

慣の確立に貢献すると考えられる。またすでに認知症を発症している高齢者においても、好みの音楽を聞くことによる律動脳波パワーの増大[3]、問題行動の減少[4]、認知機能スコアの改善[5]などが報告されており、個人にとって好感度の高い音楽を用いた音楽療法やレクリエーションの有効性が示されている。一方で音楽には個人の好みがあり、特に高齢者の場合、記憶の曖昧さやコミュニケーションの困難から、好感度の高い曲名や歌手などの情報を正確に得ることが難しい[4]。しかし健康成人だけでなく、認知症と診断された高齢者であっても、「本人の好みの音楽」を聴取すると、好みではない音楽聴取時に比べて脳波や近赤外分光法 (functional Near-infrared spectroscopy: fNIRS) により計測される大脳皮質活動に大きな反応が現れることが報告されており[3, 6]、脳活動指標から本人の好感度の高い音楽を判定できれば、適切な音楽を用いた運動介入や

生体医工学シンポジウム 2016 発表 (2016 年 9 月, 旭川)
2016 年 7 月 22 日受付, 2016 年 10 月 30 日改訂
Received July 22, 2016; revised October 30, 2016.

* 明治大学理工学部

Department of Electronics and Bioinformatics, School of Science and Technology, Meiji University

リハビリテーション, レクリエーションの効率化が期待できる。

これまでの脳機能イメージング研究から, 音楽の好き嫌いの判別には扁桃体や線条体などの皮質下領域に加え, 前頭葉の関与が報告されている[7, 8]. 前頭葉はこれらの皮質下領域と相互的な神経連絡があり, 皮質下領域からボトムアップ的に伝達された感覚情報に対して感情価を決定したり, トップダウン的に扁桃体の活動を抑制して情動行動を制御するなどの役割が示唆されている[9]. 脳の深部に位置する皮質下領域の活動を計測するには, PET や fMRI などの大型で高価なイメージング装置を用いる必要があり, 運動介入やレクリエーション目的で広く多数の人へ応用することには適さない. 一方で fNIRS は, 近赤外光を吸収する毛髪のない前頭部に測定領域を限定すれば, LED を用いた小型・低コストの計測装置を作成可能であり, 実験室ではない環境にも持ち出して利用することのできる, 実用性の高い脳機能計測システムの構築が期待できる[10]. よって本研究では若年成人ならびに高齢者ボランティアの音楽聴取時の前頭部の血流指標を小型ワイヤレス fNIRS 装置により計測し, 被験者から同時に取得した主観的好感度のスコアをもとに, 音楽の好感度の判定を試みた. 血流指標として算出した酸素化・脱酸素化・総ヘモグロビン濃度変化量の最大値・最小値・分散・歪度・尖度・ピーク間振幅・積分値・実効値・左右差など 17 種類の特徴量から, 好感度のスコアとよく相関する上位 3 種類の特徴量を用いた線形判別を行った.

2. 方 法

2.1 被験者

聴覚に日常的な不便がなく, スピーカーより音楽を聴取することが可能な成人 17 名 (若年成人群: 男性 6 名, 女性 11 名, 平均年齢 ± 標準偏差 22.1 ± 0.8 歳) と高齢者運動教室に習慣的に参加している高齢者 17 名 (高齢群: 男性 1 名, 女性 16 名, 平均年齢 78.1 ± 5.4 歳) が実験に参加した.

本研究はヘルシンキ宣言に則り被験者のインフォームド

コンセントを得て行った. また, 明治大学工学部のヒトを対象とした実験研究に対する倫理審査委員会の承認を得て行った.

2.2 音楽刺激

実験には, 表 1 に示す 6 曲の歌謡曲を用いた. 全 6 曲のうち, 3 曲が 1990~2000 年代の若年成人群を対象とした曲, 残りは 1940~1950 年代の高齢群を対象とした曲とした. それぞれの曲は対象者に事前アンケートあるいはインタビューを行って決定した. 曲のテンポによる脳活動の変化が生じないように, すべての曲は 112~125 BPM とし, 被験者群間でカウンターバランスを取った.

2.3 fNIRS 計測

脳活動の計測には株式会社アステムのワイヤレス fNIRS 装置 Hb-13 を用いた (図 1). 本体は被験者の側頭部あるいは後頭部にベルクロテープを用いて装着した. 計測データは Bluetooth 接続によって記録用 PC に記録した. 計測箇所は音楽の好き嫌いの情動に相関して活動が変化するとされ[7, 8], fNIRS を用いた先行研究においても感情価の異なる音楽の聴取が酸素化ヘモグロビン (OxyHb) 濃度変化の違いを引き起こすという報告[11]のある前頭前野部位とした. 脳波国際 10-20 法配置における F8, Fp2, Fp1, F7 の位置から, サンプリング周波数 2 Hz にて 4 チャンネルの同時計測を行った. 本 fNIRS 装置のプロローブは送光部と受光部がシート上に一体化されて配置されており, 図 1a の見取り図は送光部と受光部の対であるプロローブを前額部に 4 個配置した図を示している. 高齢者については, 機材の都合上 Fp2, Fp1 のみ 2 チャンネルで計測を行った被験者が 5 名含まれる. 実験は蛍光灯照明の静かな室内にて行い, 被験者は机に向かって安静座位とした. 測定中は開眼とし, 被験者の前方 30 cm の位置に固視点とスピーカーを設置した. 被験者が音楽へ注意を向けているか確認できるように, 机の上に被験者の両前腕を配置した状態で, 音楽が流れているときのみ, リズムに合わせてお手玉の掌握運動を行わせた. 音圧レベルは平均 60 dB 程度に調整したが, 被験者からの申し出で聞き取りにくい場合には本人が快適に聴取できる音量まで音圧を増加させ

表 1 音楽刺激の種類と VAS 値.

Table 1 Music stimuli and VAS scores in young adults and elderly individuals.

Song title	Singer	Release year	BPM	VAS score	
				Young adults	Elderly
Minato-machi 13-banchi	Hibari Misora	1957	112	35.2±22.3	82.2±22.1
Ringo no Uta	Michiko Namiki	1946	117	42.1±25.1	85.0±20.0
Omatsuri Manbo	Hibari Misora	1952	125	53.9±25.8	90.6±17.2
Chi-sana Koi no Uta	MONGOL800	2001	112	82.4±15.1	53.1±17.5
Sora mo Toberu Hazu	Spitz	1994	117	81.5±23.1	56.3±24.4
A Whole New World	Kazutaka Ishii and Kaori Asoh	1993	125	78.9±21.3	52.4±31.5

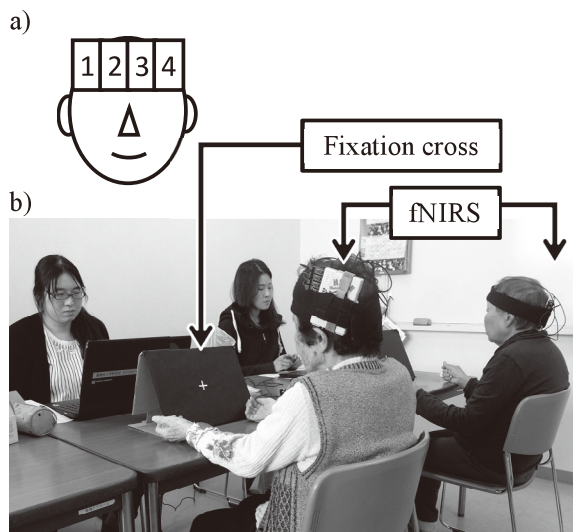


図1 fNIRSのチャンネル配置と計測風景。

Fig. 1 (a) Arrangement of fNIRS channels and (b) experimental setup.

た。すべてのタスク（曲を聴く時間）は40 sの長さとし、被験者は全6曲を1回ずつ、40 sのレストを挟んでランダムな順番で聴取した。これを1試行とし、1分間の休憩を挟んで2試行を行った。音楽の聴取が終了した後、各曲の好感度についてVisual Analogue Scale (VAS) を用いて評価を行った。VASでは、最も好感度が高い場合を100、最も好感度が低い場合を0とした。

2.4 データ解析

楽曲の初聴による情動反応や測定への緊張感の影響を除外するため、後半の1施行分におけるOxyHb濃度変化、脱酸素化ヘモグロビン (DeoxyHb) 濃度変化、総ヘモグロビン (TotalHb) 濃度変化のNIRSデータのみを解析対象とした。Savitzky-Golayフィルタによる7点移動平均処理の後、音楽聴取前20 sのレスト区間の平均値をベースラインとする処理を行い、さらに同レスト区間の振幅値の標準偏差を用いて波形の正規化を行った。

音楽の好感度を良く反映するfNIRS波形の特徴量として、これまでにOxyHb濃度変化の振幅[11]や波形中のピークの数[12]などさまざまな指標が提案されているが統一した見解は得られていない。これは好感度の高い音楽が単純な楽しさの情動を引き起こすだけでなく、音楽に関連した記憶の想起などが生じることによって、実験の方法ごと、あるいは被験者ごとに脳活動の様式が変化しているためであると考えられる。よって本研究ではタスク時間中のfNIRS波形から抽出可能な17種類の特徴量を各チャンネルあるいは左右対称なチャンネルのペアから抽出し(表2)、音楽への好感度に相関する少数個の特徴量を被験者ごとに選出し、好感度の高低の判別に利用した。特徴量の選定においては、情動課題に対するfNIRSの活動指標として用いられてきたOxyHb濃度変化の最大値や平均値

表2 好感度の判別に用いたfNIRS波形の特徴量。

Table 2 Features of fNIRS signals for classification of music preferences.

Feature	Description
Area	Cumulative value of signals
Rectified Area	Cumulative value of rectified signals
Max	Maximum value of signals
Min	Minimum value of signals
Variance	Variance of signals
Skewness	Asymmetric property of signals
Kurtosis	Sharpness of the peak of signals
Z score	Mean amplitude of signals during task period normalized by that of signals during preceding rest period
RMS	Root mean square of signals
Peak-to-Peak	Peak-to-peak amplitude of signals
Number of peaks	Number of positive and negative peaks of signals
Zero Cross(ZC)	Number of crossing over baseline
Lateralization	Difference between cumulative values of rectified bilateral signals(right to left of the counterpart channels) divided by the sum of those values
D_Area	Cumulative value of the difference waveform of bilateral signals(right to left)
D_Variance	Variance of the difference waveform of bilateral signals(right to left)
D_Skewness	Asymmetry property of the difference waveform of bilateral signals(right to left)
D_Kutosis	Sharpness of the peak of the difference waveform of bilateral signals(right to left)

[11]だけでなく、与える認知課題の種類によってはfNIRS波形が複数の極大値や極小値を示すという報告[13]を参考に、歪度や尖度などの高次の統計量およびピーク数を特徴量の候補とした。また情動課題において報告されている脳活動の左右差[14]や情動判別課題におけるDeoxyHb特徴量の有用性に関する先行研究[10]を参考に、左右差分波形やDeoxyHb, TotalHb濃度変化波形についても同様に特徴量を算出した。

好感度を良く反映する特徴量を選出するために、OxyHb, DeoxyHb, TotalHbの各波形データについて各曲に対するVASと特徴量とのピアソン相関係数を算出し、すべての組み合わせから最も高い相関係数を示した n 個($n = 1, 3, 5, 7, 9, 11$)の特徴量を選択して識別に用いた。これらの n 個の特徴量による好感度の識別には、

多数決識別と多次元識別の二つの方法を比較検討した。多数決識別は特徴量の次元を 1 とし、特徴量のそれぞれに対して線形判別分析を適用して好感度が「高い」か「低い」かの 2 クラス判別を n 回行った。得られた n 個の識別結果より、多く得られた方のクラスを最終的な判定結果とする。本研究では、被験者の世代によらず、 $VAS \geq 70$ と評価された曲を好感度が高いクラス、それ以下の曲を低いクラスと定義した。VAS の閾値は、全データの VAS の平均値ならびに全被験者の曲ごとの VAS 平均値において各世代の対象曲 3 曲ずつが 2 クラスに分離可能な値として設定した (表 1)。多次元識別では、多数決識別で選択された n 個の特徴量を n 次元の特徴量として 1 回の線形判別分析を行うことで好感度を判定した。いずれの判別方法においても、leave-one-out 交差検証を行い、平均識別率を計算した。予備的検討において、平均識別率は特徴量個数 n によって大きく変動しなかったため、本稿では $n = 3$ の場合のみ結果を示す。

平均識別率の算出は、(1)被験者個別に最適な特徴量ならびにそのチャンネルを選択する場合、(2)特徴量を一定の組み合わせに固定し、識別率が最も高くなるチャンネルを被験者個別に選択する場合、(3)特徴量を一定の組み合わせに固定し、かつ測定チャンネルも固定する場合、の 3 通りとした。(2)は被験者ごとに特徴量選択を行う必要性、(3)は(2)に加えて複数チャンネルからの脳活動計測の必要性を検討するために行った。

2.5 特徴量の再現性の検討

各被験者で得られた特徴量が異なる計測日や楽曲の使用によっても保持されるかどうかを検討するため、2.1 の実験に参加した若年成人のうち 12 名に対して、初回の計測から 2 週間以上経過した別の計測日に再実験を行った。2.2 節に示した楽曲とは異なる曲を刺激として用いた。曲の選定は 2.2 節と同様に、若年成人群を対象とした曲と高齢者群を対象とした曲を半数ずつ用意し、BPM についてカウンターバランスを取った。OxyHb/DeoxyHb/TotalHb のそれぞれについて 17 種類の特徴量を算出し、このうち好感度の VAS と最も良く相関する上位 3 個の特徴量を選出した。この特徴量が、2.4 節の解析において抽出された上位特徴量 ($n = 11$) とどの程度一致するかについて検討を行った。

2.6 統計処理

各群における平均識別率に対し Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性の検定を行ったところ正規性は満たされなかった。したがって、群間、群内の中央値の統計的な差異について、ウィルコクソンの符号付き順位検定、マン・ホイットニーの U 検定を用いて比較を行った。

3. 結 果

3.1 音楽刺激に対する平均好感度

本実験で用いた音楽刺激に対する両被験者群の平均 VAS 値を表 1 に示す。平均値では、それぞれの年代を対象とした音楽刺激への好感度が高くなる結果となったが、異なる年代の音楽刺激に高い好感度を示した被験者もみられた。高齢群において、すべての音楽に対する VAS が 70 未満あるいは 70 以上であった被験者 2 名については識別器の作成ができないため、これ以降の解析については除外して行った。

3.2 好感度による fNIRS 波形の変化

図 2 に代表的な被験者 2 名における、最も好感度の高い音楽刺激と低い音楽刺激を聴取している際の fNIRS 波形を示す。先行研究と一致して、好感度の高い音楽刺激に対して OxyHb 濃度変化の増大を示す被験者もあれば (図 2 左)、逆に減少傾向となる被験者もみられた (図 2 右)。好感度に相関する特徴量として、被験者間で共通して選択される頻度が多かったものは、DeoxyHb Kurtosis (若年成人群: 8 名, 高齢群: 5 名), OxyHb Area, OxyHb ZC (若年成人群: 5 名, 高齢群: 7 名), DeoxyHb Area (若年成人群: 7 名, 高齢群: 5 名) であった。各被験者に対して抽出された最良の一次元特徴量を用いて線形判別器を

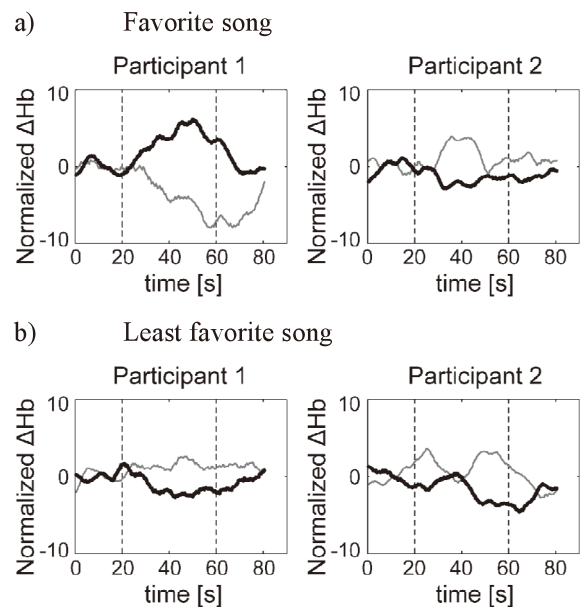


図 2 最も好感度の高い曲と低い曲を聴取しているときの代表的な被験者 2 名の fNIRS 波形の例。太黒線: OxyHb, 灰細線: DeoxyHb の濃度変化を示す。点線は音楽刺激の開始と終了を表す。

Fig. 2 Hemodynamic responses of two representative participants while listening to (a) most favorite song and (b) least favorite song. Black bold line and gray thin line indicate the time courses of OxyHb and DeoxyHb concentration changes, respectively. Vertical dotted lines indicate the duration of music stimulus.

作成した場合、その識別面位置は平均 0、分散 1 とした正規化座標上において 0.035 ± 0.033 ($n = 32$) となった。VAS = 70 と閾値を設定することにより、どの世代においても、2 クラスにバランス良く対象曲を分離できたといえる。

3.3 被験者ごとに特徴量を選択した場合の平均識別率

各被験者に対して最適な特徴量を選択し、多数決識別、多次元識別によって音楽刺激への好感度を判定させた場合の平均識別率を表 3 に示す。どの条件においてもチャンスレベルの 50% を超える識別率が得られた。若年成人群、高齢群のいずれにおいても、多数決識別の方が多次元識別より平均識別率が統計的に有意に高く（有意水準 $p < 0.01$ ）、若年成人群では 86.3%、高齢群では 88.9% となった。またいずれの識別方法においても、若年成人群と高齢群との間に平均識別率の統計的な有意差は認めなかった。

3.4 被験者間で共通した特徴量を用いた場合の平均識別率

3.2 節に示した被験者間で共通して選択される頻度が多かった特徴量のうち、VAS と特徴量との平均相関係数が高値を示した DeoxyHb Kurtosis, OxyHb Area, OxyHb ZC を全被験者で共通した特徴量として用い、識別率が最も高くなるチャンネルを被験者個別に選択した場合の好感度の識別結果を表 4 に示す。多数決識別における平均識別率は、若年成人群、高齢群のいずれにおいても、被験者個別に最適な特徴量を選択した場合に比べて有意に低下した。多次元識別については有意な変化がなく、その結果識別方法によらず 70% 前後の平均識別率となった。

3.5 被験者間で共通した特徴量を用い測定チャンネルを固定した場合の平均識別率

3.4 節で示した特徴量を用い、かつ測定チャンネルを固

定した場合の好感度の識別結果を表 5 に示す。平均識別率がチャンスレベルを下回る場合が増加し、最も平均識別率が良好であった Channel 2 (Fp2) においても 60% 前後となり、被験者ごとに特徴量、チャンネルを選択した 3.3 節の結果と比較して、若年成人群、高齢群のいずれにおいても、統計的に有意な平均識別率の低下が示された。

3.6 特徴量の再現性

若年成人 12 名において、初日の fNIRS データと VAS から抽出された 11 個の特徴量中に、2 日目に計測した fNIRS データと VAS から抽出された上位 3 個の特徴量がすべて含まれていた被験者が 1 名 (8.3%)、2 個含まれていた被験者が 7 名 (58.3%)、1 個含まれていた被験者が 3 名 (25%)、上位 3 個の特徴量が全く一致しなかった被験者が 1 名 (8.3%) であった。

4. 考 察

音楽聴取時の前頭前野活動を反映する fNIRS の時間波形信号から被験者個別の活動パターンを抽出することにより、被験者の年代に関わらず 90% 近い識別率で聴取している曲の好感度が高いかどうかを判定することができた。これは、聴取した音楽の好感度によって変化する扁桃体などの皮質下活動が、これらの部位と協働する前頭葉の活動にも反映されるとする先行研究を支持する [7-9]。また本研究で得られた平均識別率は、過去に報告されている脳波による研究 [15, 16] で得られた平均識別率 (74.7~82.3%) よりも優れた結果であり、本開発手法の優位性を示している。

本開発手法の高い平均識別率に貢献した新規な点として、fNIRS 波形の時間変化を考慮した特徴量の定義と、VAS 閾値の適切な設定があげられる。本研究では、主観

表 3 被験者ごとに特徴量を選択した場合の各群における平均識別率。

Table 3 Mean classification rate in young adults and elderly individuals using individually determined features.

Participant group	Majority voting [%]	Multidimensional classification [%]
Young adults	86.3±11.8	69.6±20.8
Elderly	88.9±14.5	73.3±20.0

表 4 被験者間で共通した特徴量を用いた場合の各群における平均識別率。

Table 4 Mean classification rates in young adults and elderly individuals using common features across participants.

Participant group	Majority voting [%]	Multidimensional classification [%]
Young adults	73.5±15.6	74.5±16.8
Elderly	74.4±13.9	72.2±27.2

表 5 被験者間で共通した特徴量と測定チャンネルを固定した場合の各群における平均識別率。

Table 5 Mean classification rates in young adults and elderly individuals using common features across participants at specific fNIRS channels.

Participant group	Majority voting [%]	Multidimensional classification [%]
Young adults		
Channel 1	41.7±31.2	45.8±26.0
Channel 2	61.8±20.4	53.0±22.3
Channel 3	44.5±32.0	38.9±27.0
Channel 4	50.0±21.4	54.9±23.4
Elderly		
Channel 1	41.7±25.0	55.0±22.4
Channel 2	63.3±23.7	45.6±24.7
Channel 3	47.6±24.3	50.0±32.1
Channel 4	50.0±24.7	53.3±30.5

的好感度と相関する特徴量として、これまで報告が多かった OxyHb 濃度変化だけでなく DeoxyHb 濃度変化に関係する特徴量や Kurtosis, ベースラインとの交差回数といった振幅値の時間変化や分布特性に関わる特徴量も高い頻度で抽出されており、fNIRS の比較的良好な時間分解能の活用の可能性を示している。また、今回対象とした歌謡曲はその性質上 VAS が 0 となることはまれである。本研究では世代ごとの VAS 平均値を参考に、識別面が全データの中央値付近に位置するような VAS 閾値を設定したことで、高い識別率が実現できたと考えられ、今後の応用研究においても、今回用いた特徴量の算出手法や、VAS 閾値の設定方法が有効であるか引き続き検討していきたい。また若年成人群と高齢群では選択された特徴量の種類に大きな違いはなく、これは前頭葉におけるポジティブな情動を伴う感覚刺激の認知や記憶の機能は高齢者の脳においてもよく保存されており、被験者の年齢にかかわらず前頭葉の活動が生じるとする Kensinger and Schacter の報告 [17] を支持するものと考えられる。

また本研究では脳活動の計測に fNIRS を使用しているため、脳波計測でしばしば問題となる体動や瞬目による影響を受けにくいという利点がある。認知機能の低下を伴う被験者の計測においてはこれらの行動の抑制が困難となることが予想されるため、この点からも本提案手法の有用性が示されたと考える。本研究に用いた fNIRS 装置は本体も小型で無線でのデータ記録が可能であり、実験室外の環境へ持ち込んだ計測が容易である。また開発した手法は被験者の年代によらず音楽の好感度を判定できたことから、本研究で目的とした高齢者への運動介入における音楽の選択といった医療福祉分野のみならず、ニューロマーケティングなどの産業分野への応用も期待できる。

被験者個別の特徴量による線形判別を行った場合、多数決識別の方が多次元識別よりも平均識別率が高かった。この理由として、本研究では学習データの数が限られており、特徴空間の次元が増加する多次元識別では最適な識別面の作成が困難となったためであると考えられる。学習データの数を増加させるためには被験者にたくさんの楽曲を聴取してもらう必要があり、疲労等の影響を考えると現実的ではない。したがって本研究の範囲においては、少数個の学習データから正確な好感度の判定を行うことができる多数決識別の利用が適切である。また特徴抽出においては特徴量ごとに VAS との相関を用いる方法としたが、今後より多数の学習データを取得する機会があれば、全特徴量を考慮した重回帰分析によって得られる偏回帰係数から、寄与の大きい特徴量を抽出する方法も有効であると考えられる。

被験者間で共通の特徴量を用いて同様の識別を行うと、特に多数決識別において平均識別率の減少がみられた。このことは、比較的少数個で、かつ被験者によって異なる脳

血流動態の特徴量とその被験者の音楽の好感度を決定する指標として存在していることを示している。また共通した特徴量を用い、固定した測定チャンネルのみで識別を行うと、チャンスレベル (50%) と同等まで識別率が低下したことから、音楽の好感度を決定する脳活動のパターンが得られる前頭前野内の部位にも個人差があることが示唆される。これは性別や人生経験、モノアミントランスポーターの遺伝子配列の差異などによって、同一の情動刺激に対する脳活動の様式が個人差を示すとする Hamann and Canli の報告 [18] を裏付けるものであり、完全な一致には至らなかったものの、個人内では異なる計測日、楽曲でもある程度共通した特徴量が得られたという結果とよく整合する。したがって本手法の適用には一定数の学習データ (被験者による好感度の評価が付与された脳活動データ) が必要であり、重度の認知症などコミュニケーションが不可能な被験者には現状では適用が難しい。しかし、健常高齢者や mild cognitive impairment (認知症の前段階であるが、自立生活が可能な状態) の高齢者に対しては学習データを取得して識別器を作成することが可能であるため、運動介入やレクリエーションの指導者が参加者の参加意欲を高めることを目的として楽曲を選択するための定量的指標として、本手法を有効に活用できると考えられる。高齢者を対象とした運動介入やレクリエーションの現場において指導者が抱える困難の一つに、多人数の集団に「(使っている曲が) 楽しいか?」という問いかけをしても明確な返答がなく、個別に質問を行う時間も取ることができないという点がある。この背景として、高齢者は自らの気持ちを率直に表現せず我慢する傾向があること [19]、高齢者の顔の表情と主観的な情動が必ずしも一致しないこと [20] が報告されており、高齢者には自らの体面や指導者への遠慮から直接的な情動の表出を避ける傾向があると考えられる。fNIRS と VAS スケールによる楽曲の評価は複数人同時に、指導者に匿名で施行することが可能であり、異なる楽曲、異なる計測日であっても、被験者固有の特徴量は保存される傾向があった。計測日と使用楽曲を変化させながら数回の計測を行って個人の特徴量を選択し、ロバストな識別器を作成しておくことで、その後の運動介入やレクリエーションにおける楽曲の楽しさの評価を、簡易型の fNIRS 装置による脳機能計測のみから効率よく、正確に行うことができる可能性がある。

最後に本研究の課題点として、fNIRS 信号の発生源としての皮膚血流の混入、ならびに皮質下を含む全脳の活動を計測していない点が挙げられる。近年、fNIRS 信号はブロープを装着している頭蓋外の皮膚血流の影響を大きく受け、実際の脳神経活動の指標となる酸素化動態変化を正確に反映していないことが指摘されている [21-26]。皮膚血流信号として重畳する可能性のあるアーチファクトとして、音楽への傾聴を確認するために行った掌握運動、なら

びに好感度の高い音楽の聴取時に生じる自律神経応答とそれに伴う血圧変動の影響[7]が挙げられる。前者に関してはどの楽曲の聴取時においても同様の運動を行っているため、高い識別能が得られた今回の結果から考えると、掌握運動による皮膚血流変化のfNIRS信号への寄与は少なかったと考えられる。後者に関しては、情動変化を伴う本実験課題では、頭表にプローブを装着する方法論上、混入は避けられない。しかし、被験者間で共通して得られた特徴量の半数は、血圧変動などによる全身的な血流変化の影響を受けにくいDeoxyHb波形[27]に由来するものであったことから、本研究における識別器の設計は、皮質活動が反映された特徴量を用いて行われた可能性が高いといえる。本研究で用いたfNIRS装置は、一般的な脳活動計測用途に対応する35mmの送光-受光センサ間隔における計測の他に、4mmの短いセンサ間隔を備えるセンサを併用することによって、皮膚血流反応との同時計測を行うことが可能である。今後、皮膚血流反応のみを用いて識別器を設計した場合との識別性能の比較などを通じてさらなる検討を行っていききたい。

5. おわりに

fNIRSによる脳活動の非侵襲計測から音楽の好感度を高精度で判定する識別器を作成した。好感度と相関する特徴量は個人で異なり、音楽の好感度の判定には被験者個別の特徴量を抽出する必要性が示された。今後は本手法を用いて選択された好感度の高い音楽を用いた介入を行った場合の、高齢者の運動参加への持続意欲、身体能力ならびに認知機能の改善効果について引き続き検討を重ねていく予定である。

利益相反 日本生体医工学会の投稿規定の基準による開示すべき利益相反関係は無い。

謝辞 本研究は、神奈川県エアロビック連盟 関口美恵子理事長の支援を受けて行われた。また、本実験の一部は卒業論文研究として大泉優貴氏により行われたものである。ここに記して両氏への謝意を表す。

文 献

1. 新貝和也, 千住秀明: 運動中の音楽が呼吸困難感と下肢疲労感に与える影響. 理学療法科学. **26**(3), pp. 353-357, 2001.
2. Satoh M, Ogawa J, Tokita T, Nakaguchi N, Nakao K, Kida H, Tomimoto H: The effects of physical exercise with music on cognitive function of elderly people: Mihama-Kiho project. PLoS One. **9**(4), e95230, pp. 1-8, 2014.
3. 岡部多加志, 小林俊恵: アルツハイマー型認知症の音楽療法. バイオメカニズム学会誌. **30**(2), pp. 71-76, 2006.
4. Gerdner LA: Effects of individualized versus classical "relaxation" music on the frequency of agitation in elderly persons with Alzheimer's disease and related disorders.

- Int Psychogeriatr. **12**(1), pp. 49-65, 2000.
5. Bruer RA, Spitznagel E, Cloninger CR: The temporal limits of cognitive change from music therapy in elderly persons with dementia or dementia-like cognitive impairment: a randomized controlled trial. J Music Ther. **44**(4), pp. 308-328, 2007.
6. Bigliassi M, Barreto-Silva V, Kanthack TFD, Altimari LR: Music and cortical blood flow: a functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. Psychol Neurosci. **7**(4), pp. 545-550, 2014.
7. Blood AJ, Zatorre RJ: Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. Proc Natl Acad Sci U S A. **98**(20), pp. 11818-11823, 2001.
8. Koelsch S, Fritz T, V Cramon DY, Müller K, Friederici AD: Investigating emotion with music: an fMRI study. Hum Brain Mapp. **27**(3), pp. 239-250, 2006.
9. Bonnet L, Comte A, Tatu L, Millot JL, Moulin T, Medeiros de Bustos E: The role of the amygdala in the perception of positive emotions: an "intensity detector". Front Behav Neurosci. **9**, p.178, 2015.
10. Ono Y, Ishikawa Y, Munakata M, Shibuya T, Shimada A, Miyachi H, Wake H, Tamaki K: Diagnosis of occlusal dysesthesia utilizing prefrontal hemodynamic activity with slight occlusal interference. Clin Exp Dent Res. **2**(2), in Press, 2016.
11. 齊藤忠彦, 小野貴史: 音楽聴取時の心理的指標と生理的指標の比較—NIRSを用いた脳活動計測を通して—. 日本感性工学会論文誌. **11**(3), pp. 427-434, 2012.
12. Moghimi S, Kushki A, Guerguerian AM, Chau T: Characterizing emotional response to music in the prefrontal cortex using near infrared spectroscopy. Neurosci Lett. **525**(1), pp. 7-11, 2012.
13. Chen LC, Sandmann P, Thorne JD, Herrmann CS, Debener S: Association of concurrent fNIRS and EEG signatures in response to auditory and visual stimuli. Brain Topogr. **28**, pp. 710-725, 2005.
14. Tanida M, Sakatani K, Takano R, Tagai K: Relation between asymmetry of prefrontal cortex activities and the autonomic nervous system during a mental arithmetic task: near infrared spectroscopy study. Neurosci Lett. **369**(1), pp. 69-74, 2004.
15. Pan Y, Guan C, Yu J, Ang KK: Common frequency pattern for music preference identification using frontal EEG. Proc of 2013 6th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering(NER), pp. 505-508, 2013.
16. Lin YP, Wang CH, Jung TP, Wu TL, Jeng SK, Duann JR, Chen JH: EEG-based emotion recognition in music listening. IEEE Trans Biomed Eng. **57**(7), pp. 1798-1806, 2010.
17. Kensinger EA, Schacter DL: Neural processes supporting young and older adults' emotional memories. J Cogn Neurosci. **20**(7), pp. 1161-1173, 2008.
18. Hamann S, Canli T: Individual differences in emotion processing. Curr Opin Neurobiol. **14**, pp. 233-238, 2004.
19. 吉岡久美子: 高齢者のエゴグラム・プロフィールの特徴と心理的援助に関する探索的研究. 健康心理学研究. **14**(1), pp. 32-37, 2001.
20. 宇良千秋, 矢富直美: 高齢者の笑いの表情に対する年齢と認知能力の影響. 発達心理学研究. **8**(1), pp. 34-41, 1997.
21. Minati L, Kress I, Visani E, Medford N, Critchley H: Intra- and extra-cranial effects of transient blood pressure changes on brain near-infrared spectroscopy (NIRS)

- measurements. *J Neurosci Methods*. **197**, pp. 283-288, 2011.
22. Franceschini M, Fantini S, Thompson J, Culver J, Boas D: Hemodynamic evoked response of the sensorimotor cortex measured noninvasively with near-infrared optical imaging. *Psychophysiology*. **40**, pp. 548-560, 2003.
23. Takahashi T, Takikawa Y, Kawagoe R, Shibuya S, Iwano T, Kitazawa S: Influence of skin blood flow on near-infrared spectroscopy signals measured on the forehead during a verbal fluency task. *Neuroimage*. **57**, pp. 991-1002, 2011.
24. Tachtsidis I, Leung T, Chopra A, Koh P, Reid C, Elwell CE: False positives in functional nearinfrared topography. *Adv Exp Med Biol*. **645**, pp. 307-314, 2009.
25. Henderson LA, Macey PM, Macey KE, Frysinger RC, Woo MA, Harper RK, Alger JR, Yan-Go FL, Harper RM: Brain responses associated with the Valsalva maneuver revealed by functional magnetic resonance imaging. *J Neurophysiol*. **88**, pp. 3477-3486, 2002.
26. Yamada T, Umeyama S, Matsuda K: Separation of fNIRS signals into functional and systemic components based on differences in hemodynamic modalities. *PLOS ONE*. **7** (11), e50271, 2012.
27. Kirilina E, Jelzow A, Heine A, Niessing M, Wabnitz H, Brühl R, Ittermann B, Jacobs AM, Tachtsidis I: The physiological origin of task-evoked systemic artefacts in functional near infrared spectroscopy. *Neuroimage*. **61**, pp. 70-81, 2012.

小野 弓絵 (オノ ユミエ)

2004 年早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修了, 博士 (工学). 2003 年日本学術振興会特別研究員, 2006 年神奈川歯科大学歯学部生体機能学講座 (生理学) 講師・准教授等を経て 2011 年より明治大学理工学部電気電子生命学科専任准教授, 現在に至る. 脳・生体機能計測の医工学応用に関する研究に従事.



日本生体医工学会, 日本神経科学学会, 北米神経科学学会の会員. 日本自律神経学会会員・評議員.