

原著論文

喫煙画像刺激時の喫煙者の脳波に有意に変化する
周波数成分と喫煙経験との関係性に関する研究

有澤文太*・村上洋一**・小早川睦貴**・布広永示***

要旨: 禁煙治療において薬物療法による禁煙導入の成績は向上しているものの再喫煙率が高いことが課題となっている。そのような現状から、脳や心理へのニコチン作用に関する脳科学の知見を禁煙のための心理教育や支援に活かすことが試みられている。そこで本研究では、その知見を深めるため、喫煙者と非喫煙者に対して喫煙画像の刺激を与えたときに、喫煙者の脳波に有意に変化する周波数成分を明らかにし、また有意な周波数成分が顕著に変化している喫煙者群と喫煙経験との関係性を明らかにする。喫煙者9名と非喫煙者10名の合計19名に対して、喫煙静止画及び喫煙動画を目視してもらった際の脳波データを記録し、有意差検定及びクラスター解析を行なった。その結果、左前頭部の電極位置 AF7において、喫煙静止画では $a1$, $a2$, $a3$, $\beta1$, $\beta2$, $\theta1$, $\theta2$ 波で有意差 ($p < 0.05$) がみられ、喫煙動画では $a1$, $a2$, $a3$, $\beta1$, $\beta3$ 波で有意差 ($p < 0.05$) がみられた。またこれらの周波数成分を用いたクラスター解析を行なった結果、喫煙静止画では、喫煙歴が長くかつニコチン含有量が高いタバコを喫煙している喫煙者は同じクラスターに分類された。

キーワード: 喫煙, ニコチン, 脳波, 脳波データ解析, 簡易脳波計

A study on the relationship between the frequency components that
significantly change in smokers' EEGs during smoking image stimulation
and smoking experienceBunta ARISAWA*, Yoichi MURAKAMI**,
Mutsutaka KOBAYAKAWA** and Eiji NUNOHIRO***

Abstract: In smoking cessation treatment, although the results of smoking cessation introduction by drug therapy have been improving, the high relapse rate remains an issue. Under such circumstances, attempts have been being made to apply neuroscience knowledge of nicotine's effects on the brain and psychology to psychoeducation and support for smoking cessation. In this study, in order to deepen the knowledge, we clarify the frequency components that significantly change in the EEGs of smokers and non-smokers when they are stimulated with smoking images. In addition, we clarify the relationship between the smoker group in which the significant frequency component changes remarkably and the smoking experience. EEG data were recorded when 19 subjects (9 smokers and 10 non-smokers) viewed smoking still images and smoking movies, and a significant difference test and cluster analysis were performed. As a result, at the electrode position AF7 on the left frontal region, a significant difference ($p < 0.05$) was observed for $a1$, $a2$, $a3$, $\beta1$, $\beta2$, $\theta1$ and $\theta2$ waves in smoking still images. Also, a significant difference ($p < 0.05$) was observed for $a1$, $a2$, $a3$, $\beta1$ and $\beta3$ waves in smoking movies. In addition, as a result of performing cluster analysis using these components in which significant differences were observed, smokers who smoked cigarettes with a long smoking history and high nicotine content were classified into the same cluster in the smoking still images.

Keywords: Smoking, Nicotine, Electroencephalography (EEG), EEG data analysis, Simple EEG device

* 株式会社日立情報通信エンジニアリング
Hitachi Information & Telecommunication Engineering, Ltd.

2023年5月16日受付

2023年9月7日受理

** 東京情報大学 総合情報学部
Faculty of Informatics, Tokyo University of Information Sciences

*** 東京情報大学
Tokyo University of Information Sciences

1. はじめに

「喫煙は“喫煙病（依存症＋喫煙関連疾患）”という全身疾患であり、喫煙者は“積極的禁煙治療を必要とする患者”である」と禁煙ガイドラインの基本精神として定められており[1]、喫煙は喫煙者の健康に害をもたらすだけでなく、受動喫煙にさらされる乳幼児や妊婦の喫煙を介した胎児をはじめ、周囲の非喫煙者の健康も害することが知られている[1][2]。今日、喫煙の有害性は疑う余地がない。一方で、喫煙は疾病の原因の中で防ぐことのできるものであり、禁煙は確実に疾病を減らすことのできる方法であると考えられている[1]。しかしながら、ニコチンによる依存性はコカイン・ヘロインに次ぎ、アルコール・覚せい剤を上回ると考えられており[3]、ニコチンによる薬物依存症では、禁煙開始の困難さや再喫煙率の高さが臨床的課題になっている[4]。

薬物依存は「身体的依存」と「心理的依存」に大別され、前者の程度を評価する方法として、FTND（ファーガストロームニコチン依存度テスト）が、後者にはKTSND（加濃式社会的ニコチン依存度調査票）が用いられている[4]。また前者の治療法として、薬物療法（禁煙補助療法）が、後者には心理教育が試みられている[4]。

FTNDは国際的に広く用いられている自記式の質問紙による10点満点の評価方法で、喫煙者の尿中のニコチン排泄量とFTND得点は相関する[4][5]。全6問の合計10点の質問で構成されており、得点が高いほど身体的依存が強いとされ、7点以上である場合は重度と判定される[5]。

KTSNDは「喫煙の効果の過大評価（正当化・美化・合理化）および喫煙や受動喫煙の害の否定」を定量化する質問群からなっており、30点満点で10点以内を正常としている[6]。

薬物療法では、現在、非ニコチン経口薬のバレニクリンと、貼付薬によるニコチン罹患療法等が行われている[2][4]。しかしながら、禁煙導入の成績は、薬物療法により向上しているものの、再喫煙率が高いことが課題となっている[2][4]。

再喫煙に至ってしまう衝動については、禁煙4週以降の喫煙衝動とKTSND得点に相関が見られ、特に喫煙の効用を信じる心理的傾向がある喫煙者ほど喫煙衝動が高かったということが報告されている[7]。

すなわち、喫煙に効用はないと理解することが喫煙衝動を抑え、喫煙防止に繋がる可能性が示唆されている。そこで現在では、心理的依存に対して、脳や心理へのニコチンの作用に関する脳科学の知見を活かす心理教育が試みられるようになってきている[4]。例えば、喫煙刺激に対する報酬系神経回路の過敏化は、長期間の禁煙後であっても喫煙衝動に駆り立ててしまう原因と考えられ、また反復的な喫煙刺激による報酬系神経の感受性低下は、日常生活に幸せや楽しみが感じにくくなり、それを補おうとして喫煙したくなると考えられている[4]。このような知見は、喫煙衝動の理解や支援、また喫煙に効用がないという理解につながり、再喫煙の防止につながる可能性があると考えられている[4]。

喫煙に関する他の脳科学の知見として、禁煙と再喫煙が脳波に及ぼす影響が報告されている。小松らは、喫煙者を対象として、禁煙前と禁煙後の比較を行い、 $\alpha 2$ 、 $\alpha 3$ 波の減少及び $\theta 1 \cdot 2$ 波の増加がみられることを明らかにしており、喫煙者が禁煙することにより徐波化（周波数が減少する）が進み、覚醒度が低下することを示唆している[8]。また小松らは、禁煙後と再喫煙後の脳波の比較も行い、 $\alpha 2$ 、 $\alpha 3$ 波と $\beta 1$ 、 $\beta 3$ 波の増加及び $\theta 2$ 波の減少がみられることを明らかにしており、喫煙者が再喫煙することにより速波化（周波数が増加する）が進み、覚醒度が上昇することを示唆している[8]。さらにDominoらは、喫煙者が4つの異なる種類のタバコのいずれかを喫煙すると、ニコチンを含む煙草を喫煙した後のみ、 $\alpha 2$ 波の増加がみられたことを報告している[9]。再喫煙後の $\alpha 2$ 波の増加は、小松らの結果と一致する。このような知見の蓄積も、喫煙者の心理を理解し、禁煙のための心理教育や支援に役立てられると考えられる。

近年、日本国内では、世界保健機関（WHO）が定めた「たばこ規制枠組み条約（FCTC）第13条」や財務省が定めた「製造たばこに係る広告を行う際の指針」により、タバコの広告の露出が減少してきているが、映画やテレビ番組、ゲームなどで描写される喫煙シーンに触れる可能性があるという状況である。そのような喫煙画像は、未成年者の喫煙を誘発する可能性があるため好ましくないとされている[1]。また禁煙者や喫煙者の喫煙衝動を駆り立て[4]、禁煙の妨げになる可能性があると考えられる。

しかしながら、喫煙画像が、喫煙経験者にどのような感情を実際に誘起させるかについて、定量的な評価はされていない。

現在、人の感情を客観的に知る方法として、人の感情と密接に関係している脳波の解析による感情の推定方法が数多く報告されている[10]。この方法を用いることにより、喫煙画像がどのような感情を誘起させるか、すなわち、脳波に及ぼす影響についての知見を深めることができ、禁煙と再喫煙が脳波に及ぼす影響と同様に、心理教育や支援に役立つことができると考える。そこで本研究では、その知見を深めるため、喫煙者と非喫煙者に対して喫煙画像による刺激を与えたときに、喫煙者の脳波に有意に変化する周波数成分を明らかにし、また有意差がみられた周波数成分が顕著に変化している喫煙者群と喫煙経験との関係性を明らかにする。

2. 実験・解析方法

2.1 実験の流れ

20歳以上の実験協力者を募集し、喫煙経験に関する事前アンケートを行う。本研究では、過去に喫煙歴がある現在非喫煙者は対象としないため、事前アンケートでは過去及び現在の喫煙歴の確認を行う。実験当日は、実験についての事前説明を行い、同意書への署名をいただいた後に、中立静止画・喫煙静止画・喫煙動画を目視した際の脳波データの記録を開始する。また喫煙者のみ、TDS（ニコチン依存度テスト）を行う。TDSは、喫煙の生理学的な依存に対し用いられるFTNDとは異なり、精神医学的立場から薬物依存としての診断に用いられる依存度テストである[11]。全10問の質問に対して「はい」で答えると1点、「いいえ」で答えると0点、その合計点（10点満点）で依存度を判定しており、5点以上の場合「ニコチン依存症」と診断される[11]。

2.2 実験期間・実験協力者

2022年5月から7月にかけて、20歳以上の実験協力者19名（うち非喫煙者10名、喫煙者9名）を対象として実験を行う。また研究目的及び方法の十分な説明を行い、同意を得た上で実験を行う。

2.3 喫煙経験に関する事前アンケート

喫煙経験に関する事前アンケート調査の質問項目は次の（ア）から（キ）の7項目である：

（ア）煙草を喫煙しているか

（イ）過去にタバコを喫煙していたか

（ウ）喫煙歴

以下、喫煙者のみ回答する：

（エ）吸っているタバコのタイプ

（オ）吸っているタバコのニコチン含有量（mg）

（カ）1日あたりのおおよそ本数

（キ）タバコが吸えない時の感情や行動



a. 中立静止画（国際感情画像システム）の例



b. 喫煙静止画（iStock）の例



c. 喫煙動画（iStock）の例

図1. 実験で使用した静止画・動画

2.4 中立静止画・喫煙静止画・喫煙動画データ

実験で使用する中立静止画は、国際感情画像システム（International Affective Picture System; IAPS）から取得した感情価スコア4.5から5.5かつ覚醒スコア3.0以下（低興奮）である中立静止画16枚を用いる[12]（図1-a）。また、オンライン画像マーケットサイトiStock (<https://www.istockphoto.com/>)から取得した喫煙静止画16枚（図1-b）、喫煙動画3本を用いる（図1-c）。

2.5 実験条件・実験環境

過去に喫煙歴がない非喫煙者のみを対象とし、また喫煙者については1年以上の喫煙歴がある者を対象とする。喫煙歴については事前アンケート（ウ）を確認する。実験当日、喫煙者は、脳波データを記録する8時間前から禁煙を行う。

脳波の記録は、簡易脳波計のMuse2を使用した。Muse2は、InteraXon社（カナダ）によって開発された軽量の脳波センシング・ヘッドバンドであり、Bluetooth通信で脳波データをPC側に送信することが可能である[13]。Muse2には脳波を測定する電極

が4つあり、前頭部のAF7及びAF8、側頭部のTP9及びTP10に配置されている(図2)[13]. Muse2のサンプリングレートは256Hzである. 脳波の計測は、外部から刺激を受けにくい環境にするためパーティションを設置し、また環境光が入り込まないよう暗室にする(図3).

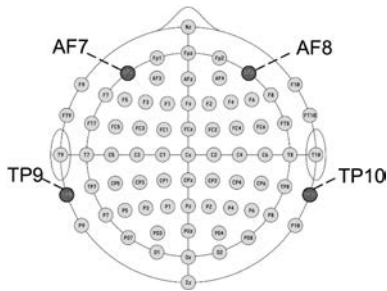


図2. Muse2の電極位置



図3. 実験環境

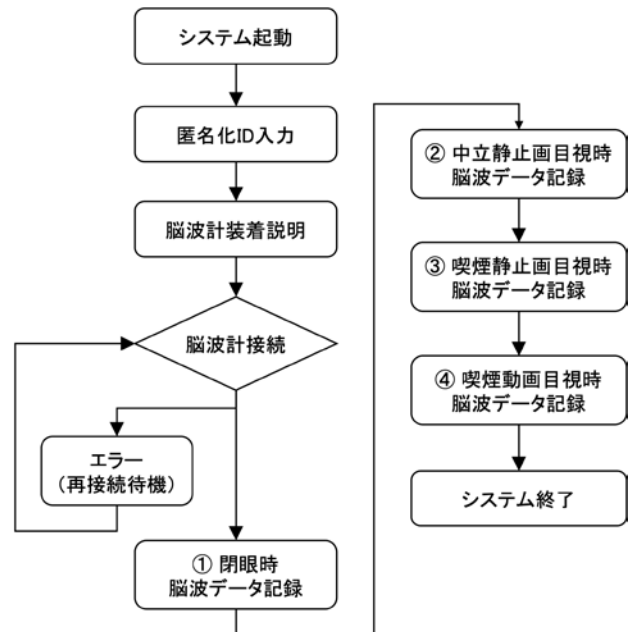


図4. 脳波データ記録システムのフロー図

2.6 脳波データの記録

筆者らが開発したシステムを用いてMuse2の接続から脳波データの記録までを行う(図4;以下、脳波データ記録システム). 本システムは、Muse2のオープンソースツールキットである muselsl (<https://github.com/alexandrebarachant/muse-lsl>) と python 標準ライブラリの tkinter を用いて開発されている.

実験協力者は、事前に配布された匿名化したIDを本システムに入力した後、画面に表示された指示に従って、Muse2の装着及びMuse2への bluetooth 接続を行う. 接続エラーが発生した場合は、自動的に再接続を行う. 正常に接続した場合は、次の①から④の脳波データが自動的に記録される:

- ① 閉眼時の脳波データ
- ② 中立静止画16枚の目視時の脳波データ
- ③ 喫煙静止画16枚の目視時の脳波データ
- ④ 喫煙動画3本の目視時の脳波データ

ID入力から記録終了まで時間は約10分(①②③の記録時間は各2分間、④の記録時間は1分間)である. また各静止画や各動画の切り替わりの際には、直前の画像刺激の影響を抑えるため、15秒間のインターバルを設けている. さらに、眼電によるノイズの影響を抑えるため、注視点を表示している. 実験協力者は座位の状態で一切の操作を必要としない.

2.7 脳波の周波数成分

記録した脳波データの55Hz~60Hzの周波数の帯域に対してバターワースフィルタを適用してノイズ除去を行う. その後、各電極位置の脳波データに対して高速フーリエ変換(FFT)を行い、周波数成分別にスペクトルパワー値(μV^2 ;以下、パワー値)を算出している. FFTで抽出する周波数成分としては、小松ら[8]と同様に次の9成分(帯域)とした: δ (1.5~3.4Hz), $\theta 1$ (3.5~5.9Hz), $\theta 2$ (6~7.4Hz), $\alpha 1$ (7.5~9.4Hz), $\alpha 2$ (9.5~10.4Hz), $\alpha 3$ (10.5~12Hz), $\beta 1$ (14~19Hz), $\beta 2$ (20~26.5Hz), $\beta 3$ (26.6~28Hz).

2.8 各周波数成分の標準化

脳波の個人差を考慮するため、中立静止画・喫煙静止画・喫煙動画の目視時における各個人の各周波数成分のパワー値を、視覚情報が一切ない閉眼時における各個人の各周波数成分のパワー値を用いて標準化する. ある周波数成分(便宜上「周波数成分A」とする)について標準化する場合、次の手順①から③に従って計算を行う:

- ① 個人ごとに、画像目視時における周波数成分Aのパワー値の中央値と、閉眼時の周波数成分Aのパワー値の中央値の差(x)を計算する. 全ての人に対して周波数成分Aのxを計算する.
- ② 全ての人々の周波数成分Aのxの平均値($\bar{\mu}$)と

標準偏差 (σ) を計算する.

- ③ 個人ごとに、周波数成分Aに対して、z値 ($z = (x - \bar{\mu}) / \sigma$) を計算する (標準パワー値).

2.9 統計解析・クラスター解析

各周波数成分のz値について、喫煙者と非喫煙者の2群のt検定を行う。前処理としてF検定を行い、等分散 (p 値 >0.05) か不等分散 (p 値 <0.05) であるかを確認する。等分散である場合、Studentのt検定を行い、不等分散である場合、Welchのt検定を用いて2群の有意差検定を行う。また、有意差がみられた周波数成分が顕著に増加している喫煙者群を明らかにし、またその群と喫煙経験 (喫煙歴 (年)、一日の喫煙本数、ニコチン含有量 (mg)、TDSスコア) との関係性を明らかにするために、有意差がみられた周波数成分のみを用いてX-means法によるクラスター分類を行う。X-means法は、最適なクラスターが見つかるまでクラスターの2分割を繰り返す手法である。クラスター分割の繰り返しの停止条件として、BIC値 (ベイズ情報量基準) を用いる。クラスターの分割前と分割後のBIC値をそれぞれ計算し、分割後のBIC値が分割前のBIC値より下回れば、クラスター分割が終了する。

表1. 喫煙経験に関する事前アンケート調査結果

喫煙者	喫煙歴 (年)	1日あたり平均本数 (本)	ニコチン含有量 (mg)	TDSスコア
A	2	10	0.4	3
B	2	10	8	7
C	40	20	1	7
D	28	10	8	4
E	1	15	1	9
F	37	15	1.4	9
G	20	20	9	7
H	36	5	5	2
I	1	15	11	4

3. 研究結果

3.1 喫煙経験に関する事前アンケート調査

2022年5月から7月にかけて、20歳以上の実験協力者19名を対象に喫煙に関する事前アンケート調査を行った。その結果、過去に喫煙歴がない非喫煙者は10名であり、喫煙者が9名であった。この喫煙者

のうち、喫煙歴が20年以上の喫煙者が5名 (約56%)、喫煙歴が1年以上5年未満の喫煙者が4名 (約44%) であった (表1)。また、1日あたりの平均本数は、10本以上が8名であった。タバコに含まれるニコチン含有量は、5mg以上のニコチンを含むタバコを常習的に喫煙している者が5名 (56%)、2mg未満の者が4名 (44%) であった。TDSスコアは、5点以上の者が4名 (約56%)、4点以下の者が4名 (約44%) であった。加えて、アンケート質問項目間の相関分析を行なった結果、「1日あたりの平均本数」と「TDSスコア」の相関係数は0.64であり、正の相関があることがわかった。その他のアンケート質問項目間の相関はなかった。

3.2 各周波数成分の標準パワー値の有意差検定

各周波数成分の標準パワー値について、喫煙者と非喫煙者間の有意差検定を行った。これは閉眼時から画像刺激時の各周波数成分におけるパワー値の増加について比較することを意味する。表2と表3は、有意差がみられた電極位置と周波数成分を示している。喫煙静止画では、電極位置AF7 (左前頭部、図2) の周波数成分 $\theta 2$, $a 1$, $a 2$, $a 3$ 波で有意差 ($p < 0.01$) がみられ、また $\theta 1$, $a 2$, $\beta 1$, $\beta 2$ 波で有意差 ($p < 0.05$) がみられた (表2)。電極位置AF8, TP10, TP9や周波数成分 δ においては、有意差はみられなかった。喫煙動画では、電極位置AF7の周波数成分 $a 1$, $a 2$, $a 3$, $\beta 1$, $\beta 3$ 波で有意差 ($p < 0.05$) がみられた (表3)。電極位置AF8, TP10, TP9や周波数成分 θ , δ 波においては有意差はみられなかった。いずれにおいても、喫煙者の標準化パワー値は、閉眼時のパワー値より増加する傾向 (正の値) がみられた。

3.3 各周波数成分の標準パワー値を用いたクラスター解析

3.2の解析で有意差がみられた周波数成分を用いて、喫煙静止画と喫煙動画ごとに、X-means法による実験協力者のクラスターリングを行なった。X-meansに入力する周波数成分は、 p 値 <0.01 または p 値 <0.05 であった各周波数成分 (表2, 3) の実験協力者の標準パワー値である。次の①から③の周波数成分の組み合わせごとに実験協力者のクラスターリングを行なった。

表2. 喫煙静止画における各周波数成分の有意差検定

周波数成分	電極位置	標準パワー値の 平均値 (非喫煙者)	標準パワー値の 平均値 (喫煙者)	p値 (F検定)	p値 (t検定)
$\theta 2$		-0.082	0.146		
$a 1$		-0.077	0.123	$p > 0.05$	$p < 0.01$
$a 3$		-0.062	0.154		
$\theta 1$	AF7	-0.098	0.115		
$a 2$		-0.051	0.147	$p < 0.05$	$p < 0.05$
$\beta 1$		-0.059	0.175		
$\beta 2$		-0.100	0.234		

表3. 喫煙動画における各周波数成分の有意差検定

周波数成分	電極位置	標準パワー値の 平均値 (非喫煙者)	標準パワー値の 平均値 (喫煙者)	p値 (F検定)	p値 (t検定)
$a 1$		-0.083	0.182		
$a 2$		-0.060	0.210	$p > 0.05$	
$a 3$	AF7	-0.069	0.210		$p < 0.05$
$\beta 1$		-0.067	0.228	$p < 0.05$	
$\beta 3$		-0.020	0.314		

喫煙静止画の場合 (表2) :

- ① $\theta 2$, $a 1$, $\beta 3$ (p 値 <0.01)
- ② $\theta 1$, $\theta 2$, $a 1$, $a 2$, $a 3$, $\beta 1$, $\beta 2$ (p 値 <0.05)

喫煙動画の場合 (表3) :

- ③ $a 1$, $a 2$, $a 3$, $\beta 1$, $\beta 3$ (p 値 <0.05)

結果として、それぞれの組み合わせのクラスタ数は、それぞれ3, 4, 5であった。

表4は、喫煙静止画の p 値 <0.01 であった周波数成分 $a 1$, $a 3$, $\theta 2$ 波の標準パワー値を用いてクラスタリングした結果と、喫煙経験に関する事前アンケート (喫煙歴, 1日の喫煙本数, ニコチン含有量 (mg)), 喫煙者のみに実施したTDSのスコア, クラスタリングで用いた各周波数成分の標準パワー値をまとめたものである。クラスタ番号1は喫煙者と非喫煙者が混在するクラスタになっており, クラスタ番号2は非喫煙者のみのクラスタ, クラスタ番号3は喫煙者4名のみのクラスタになっていた。 $a 1$, $a 3$, $\theta 2$ 波の標準パワー値を比較すると, クラスタ番号2は閉眼時のパワー値に比べて低いパワー値, すなわち, それぞれの周波成分は減少する傾向があることがわかる。逆に, クラスタ番号3は閉眼時のパワー値に比べて高いパワー値, すなわち, それぞれの周波成分は増加する傾向があ

ることがわかる。クラスタ番号1については, クラスタ番号2と3よりも大きな増減はなく, 閉眼時のパワー値に近い値であった。

表4のクラスタ番号1と3に分類された喫煙者の喫煙経験の事前アンケートを比較すると, 喫煙歴, 1日の喫煙本数, TDSスコアについては, それぞれのクラスタにそれらの値が高い喫煙者や低い喫煙者が含まれていた。しかしながら, ニコチン含有量については, クラスタ番号3にそれが5mg以上のタバコを習慣的に喫煙している喫煙者が分類された。クラスタ番号1にも, ニコチン含有量11mgのタバコを喫煙している喫煙者が分類されていたが, クラスタ番号3の喫煙者の喫煙歴は2年以上であるのに対して, クラスタ番号1の喫煙者の喫煙歴は1年であった。さらに, クラスタ番号3の各喫煙者の $a 1$, $a 3$, $\theta 2$ 波の標準パワー値は, クラスタ番号1のそれらと比較して高い値を示していた。すなわち, 喫煙歴1年でニコチン含有量11mgのタバコを喫煙している喫煙者 (ID:I) を除き, 喫煙歴2年以上でニコチン含有量5mg以上のタバコを喫煙している喫煙者 (ID:B, D, G, H) の $\theta 2$, $a 1$, $a 3$ 波のパワー値は, 閉眼時のパワー値と比べて高く, 閉眼時から増加している傾向があった。

表4. 喫煙静止画目視時の $\theta 2$, $\alpha 1$, $\alpha 3$ 波の標準パワー値を用いたクラスタリング結果と喫煙経験

		クラスター 番号	喫煙歴 (年)	1日の 喫煙本数	ニコチン 含有量(mg)	TDS スコア	$\theta 2$ (AF7)	$\alpha 1$ (AF7)	$\alpha 3$ (AF7)
喫煙者	A	1	2	10	0.4	3	-0.015	-0.002	-0.007
	C		40	20	1	7	0.008	-0.061	-0.016
	E		1	15	1	9	0.045	0.005	0.025
	F		37	15	1.4	9	0.017	0.033	0.043
	I		1	15	11	4	0.023	0.008	0.062
喫煙者	B	3	2	10	8	7	0.370	0.342	0.360
	D		28	10	8	4	0.262	0.275	0.480
	G		20	20	9	7	0.284	0.245	0.212
	H		36	5	5	2	0.319	0.258	0.225
非喫煙者	J	2					-0.378	-0.369	-0.372
	K						-0.270	-0.212	-0.254
	L	1					0.030	0.008	0.055
	M						-0.019	-0.016	0.013
	N						-0.008	0.033	0.040
	O						0.094	0.026	0.033
	P						-0.023	-0.044	0.010
	Q						-0.099	-0.086	-0.016
	R						-0.057	-0.103	-0.142
S					-0.007	-0.008	0.018		

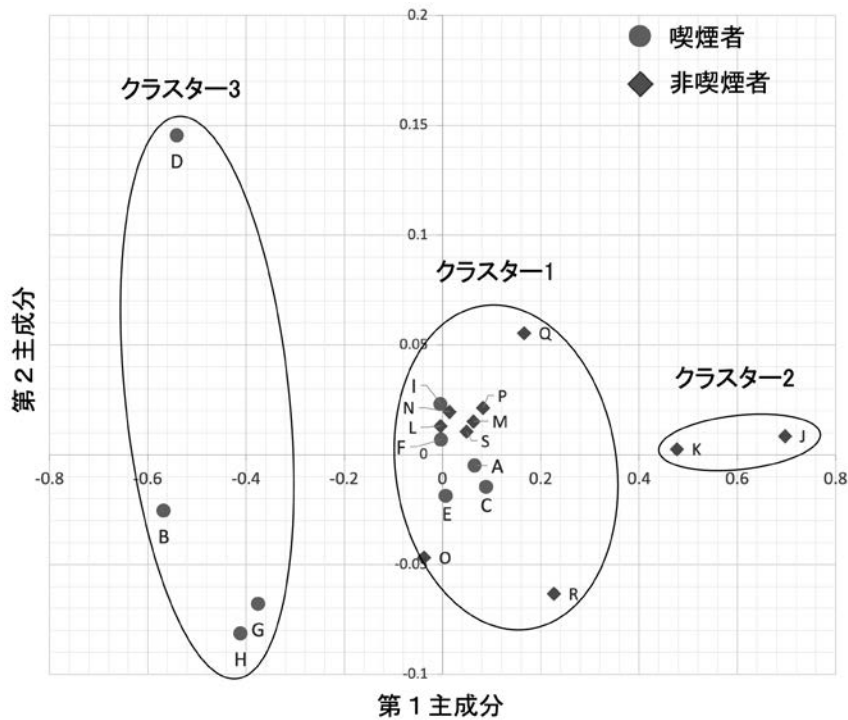


図5. 喫煙静止画目視時の $\theta 2$, $\alpha 1$, $\alpha 3$ 波の標準パワー値の2次元プロット

図5は、実験協力者の $\theta 2$, $\alpha 1$, $\alpha 3$ 波の標準パワー値に対して主成分分析を行い2次元に次元圧縮してプロットしたものである。X軸は第1主成分、Y軸は第2主成分を示している。また、同じクラスターに属する実験協力者は円で囲まれている。クラスター

番号3は、クラスター番号1, 2とは離れた位置でクラスターを形成していた。

表5は、喫煙静止画の p 値 <0.05 であった周波数成分 $\theta 1$, $\theta 2$, $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 2$ 波の標準パワー値を用いてクラスタリングした結果を、表4

表5. 喫煙静止画目視時の $\theta 1$, $\theta 2$, $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 2$ 波の標準パワー値を用いたクラスタリング結果と喫煙経験

クラスター番号		喫煙歴(年)	1日の喫煙本数	ニコチン含有量(mg)	TDSスコア	$\theta 1$ (AF7)	$\theta 2$ (AF7)	$\alpha 1$ (AF7)	$\alpha 2$ (AF7)	$\alpha 3$ (AF7)	$\beta 1$ (AF7)	$\beta 2$ (AF7)
喫煙者	A	2	10	0.4	3	0.014	-0.015	-0.002	-0.013	-0.007	0.011	-0.004
	C	40	20	1	7	0.050	0.008	-0.061	-0.032	-0.016	-0.030	-0.040
	E	1	15	1	9	0.040	0.045	0.005	-0.002	0.025	0.112	0.246
	F	37	15	1.4	9	-0.028	0.017	0.033	0.071	0.043	-0.032	-0.004
	I	1	15	11	4	0.054	0.023	0.008	0.043	0.062	-0.016	-0.108
	B	2	10	8	7	0.472	0.370	0.342	0.339	0.360	0.312	0.033
	D	28	10	8	4	-0.179	0.262	0.275	0.428	0.480	0.609	1.133
	G	20	20	9	7	0.287	0.284	0.245	0.219	0.212	0.265	0.332
非喫煙者	H	36	5	5	2	0.327	0.319	0.258	0.269	0.225	0.340	0.515
	L					-0.053	0.030	0.008	0.067	0.055	0.013	-0.043
	M					-0.040	-0.019	-0.015	0.022	0.013	0.002	0.001
	N					0.020	-0.008	0.033	0.008	0.040	0.057	-0.077
	O					-0.009	0.009	0.026	0.008	0.033	0.040	-0.071
	P					-0.046	-0.023	-0.044	0.038	0.010	-0.014	-0.104
	Q					-0.180	-0.099	-0.086	-0.111	-0.016	0.027	-0.001
	R					0.040	-0.057	-0.103	-0.120	-0.142	-0.138	-0.005
	S					-0.040	-0.007	-0.008	0.034	0.018	-0.001	-0.061
	J	3				-0.369	-0.378	-0.369	-0.314	-0.372	-0.370	-0.379
	K	2				-0.305	-0.270	-0.212	-0.242	-0.254	-0.209	-0.260

表6. 喫煙動画目視時の $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 3$ 波の標準パワー値を用いたクラスタリング結果と喫煙経験

クラスター番号		喫煙歴(年)	1日の喫煙本数	ニコチン含有量(mg)	TDSスコア	$\alpha 1$ (AF7)	$\alpha 2$ (AF7)	$\alpha 3$ (AF7)	$\beta 1$ (AF7)	$\beta 3$ (AF7)
喫煙者	A	2	10	0.4	3	0.037	0.050	0.035	0.024	-0.011
	B	2	10	8	7	0.178	0.107	0.149	0.098	-0.060
	C	40	20	1	7	-0.110	0.058	0.041	0.021	0.016
	E	1	15	1	9	-0.037	0.025	0.007	0.115	0.413
	F	37	15	1.4	9	-0.017	0.047	0.030	-0.046	-0.013
	G	20	20	9	7	0.253	0.220	0.226	0.286	0.481
	I	1	15	11	4	0.027	0.072	0.063	-0.002	0.079
	D	28	10	8	4	0.241	0.402	0.435	0.590	1.070
非喫煙者	H	36	5	5	2	1.065	0.911	0.903	0.967	0.848
	L					0.029	0.065	0.037	-0.004	0.199
	M					-0.021	0.002	-0.026	-0.046	-0.017
	N					0.043	0.001	0.030	0.082	0.055
	O					0.032	0.018	0.021	0.053	-0.048
	P					-0.032	0.046	0.024	-0.028	-0.026
	Q					-0.051	0.014	0.006	0.073	0.044
	R					-0.001	-0.031	-0.059	-0.090	0.119
	S					-0.007	0.050	0.031	-0.017	0.043
	K	2				-0.394	-0.347	-0.322	-0.319	-0.206
J	3				-0.424	-0.413	-0.428	-0.376	-0.360	

と同様にまとめたものである。クラスター番号1は喫煙者と非喫煙者が混在するクラスターになっており、クラスター番号4は、 p 値<0.01であった $\alpha 1$, $\alpha 3$, $\theta 2$ 波を用いたクラスタリング結果と同様に、喫煙歴2年以上でニコチン含有量5mg以上のタバコを喫煙している同じ喫煙者から構成されていた。またクラスター番号2, 3は、1名から構成されるシングルクラスターであり、他の非喫煙者の標準パワー値と比べて、閉眼時から大きく減少していた。

表6は、喫煙動画の p 値<0.05であった $\alpha 1$, $\alpha 2$

$\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 3$ 波の標準パワー値を用いてクラスタリングした結果をまとめたものである。クラスター番号1は喫煙者と非喫煙者が混在するクラスターになり、その他のクラスター番号2-5は、1名から構成されるシングルクラスターであった。クラスター番号2, 3は $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 3$ 波の標準パワー値が、他の非喫煙者の標準パワー値と比べて、閉眼時から大きく減少していた。一方、クラスター番号4, 5に分類された喫煙者の $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 3$ 波の標準パワー値は、他の喫煙者の標準パワー

値と比べて、閉眼時から大きく増加していた。またニコチン含有量 5 mg 以上の喫煙者であり、喫煙歴は 28 年と 36 年であった。

4. 考 察

脳や心理へのニコチン作用に関する脳科学の知見をより一層深めていくために、画像刺激を与えた際の脳波を用いた感情推定の手法 [10] を参考にし、実験協力者 19 名 (喫煙者 9 名と非喫煙者 10 名) を対象にして、喫煙画像を目視したときの脳波データを記録して、各周波数成分の標準パワー値の有意差検定と有意差が見られた周波数成分の標準パワー値を用いたクラスター解析を行なった。

有意差検定の結果、喫煙画像の目視時に、左前頭部の電極位置 AF7 において、喫煙者と非喫煙者間の周波数成分の標準パワー値に有意差がみられた (表 2, 3)。林らは、喫煙に関わる状況に応じて背外側前頭前野 (左前頭部) が喫煙欲求を促進していることを明らかにしており [14]、この左前頭部は、有意差がみられた電極位置 AF7 が位置する部分と同じであった。喫煙画像を目視することで、林らが明らかにしたように、喫煙欲求が促進された可能性も示唆されるが、AF7 からの脳波が実際に喫煙欲求に関わるものであるかどうかについては、今後、心理テストなどを含めた更なる検証が必要である。

喫煙静止画の目視時には、 $\theta 1$, $\theta 2$, $a 1$, $a 2$, $a 3$, $\beta 1$, $\beta 2$ 波で閉眼時からパワー値が増加する傾向がみられ (表 2)、また喫煙動画の目視時には、 $a 1$, $a 2$, $a 3$, $\beta 1$, $\beta 3$ 波で閉眼時からパワー値が増加する傾向がみられた (表 3)。いずれの目視時においても、 $a 1$, $a 2$, $a 3$, $\beta 1$ 波でパワー値が増加する傾向がみられた。また、これらの周波数成分のうち $a 2$, $a 3$, $\beta 1$ 波は、小松らが、禁煙後と再喫煙後の脳波の比較から増加することを明らかにした $a 2$, $a 3$, $\beta 1$ 波 [8] と共通であり、 $a 2$, $a 3$ 波は、Domino らが明らかにした、喫煙者がニコチンを含む煙草を喫煙した後のみに増加が見られた高周波数帯域を含む a 波 ($a 2$ と $a 3$ 波の帯域を含む) と共通であった [9]。すなわち、喫煙画像が、再喫煙後と同様に、喫煙者の速波化を進め、覚醒度を上昇させる可能性があることが示唆された。一方、心理的側面から考えると、本研究の解析結果を含むいずれの報告 [8][9] においても、 $a 2$, $a 3$ 波が有意

に増加する傾向がみられた。これらの高周波数帯域の a 波はリラックスしているが集中している心理状態である [15]。また、本研究の解析結果と小松らの報告 [8] では、低周波数帯域を含む $\beta 1$ 波が有意に増加する傾向がみられた。これは思考、自己および環境を認識している心理状態のときに発生する周波数成分である [15]。これらの心理状態が、再喫煙後と同様に、個人差はあるものの、喫煙画像の刺激によって誘起させられた可能性がある。しかしながら、これらの心理状態が、視聴時にどのように発生・変化したか明らかになっていないため、今後、有意な周波数成分がどのようなパターンで発生・変化したか解析を行う必要があると考える。さらに、有意な周波数成分に対応する心理状態の変化が喫煙者の喫煙衝動とどのように関係するかについて、今回の実験データのみから説明するには不十分であるため、今後、より多くの実験協力者による検証実験やヒアリング、また詳細な脳活動を調べるなどによって総合的に考察する必要があると考える。

各周波数成分の標準パワー値の有意差検定で有意な差がみられた周波数成分を用いて、喫煙静止画と喫煙動画ごとに、X-means 法による喫煙者及び非喫煙者のクラスター解析を行なった (表 4 - 6)。喫煙静止画で有意差 ($p < 0.01$) がみられた $\theta 2$, $a 1$, $a 3$ 波を用いてクラスター解析を行なった結果では、実験協力者は 3 つのクラスターのいずれかに分類され、そのうち 1 つのクラスター (クラスター番号 3) は、喫煙歴 2 年以上かつニコチン含有量 5 mg 以上のタバコを喫煙している喫煙者 4 名 (喫煙者 B, D, G, H) から構成されていた。いずれの喫煙者も、非喫煙者と他の喫煙者と比較して、閉眼時から $\theta 2$, $a 1$, $a 3$ 波の大きな増加がみられた (表 4)。また、喫煙静止画で有意差 ($p < 0.05$) がみられた $\theta 1$, $\theta 2$, $a 1$, $a 2$, $a 3$, $\beta 1$, $\beta 2$ 波を用いてクラスターリングを行なった結果においても、同じ喫煙者 4 名は同じクラスター (クラスター番号 4) に分類されていた。

一方、喫煙者と非喫煙者が混在しているクラスター (クラスター番号 1) に分類された喫煙者は、独立したクラスターに分類された喫煙者と比較すると、有意差が見られた各周波数成分の標準パワー値は大きく増加していない。また、ニコチン含有量が 1.4 mg 以下と比較的に低いタバコを喫煙している喫煙者 (喫煙者 A, C, E, F) か、またはニコチン含

有量が11mgと高いタバコを喫煙していても喫煙歴1年以下でありTDSスコア4点の喫煙者(喫煙者I)であった。TDSのスコアが5点以上の場合は「ニコチン依存症」と診断される。これらの喫煙者は、喫煙静止画の刺激によって心理状態の変化が誘起されなかったと考えられる。その理由が、ニコチン含有量が低いことや喫煙歴が短いことと関係するかどうかについて、より多くの喫煙者の脳波データの解析が必要であるが、独立したクラスターに分類された喫煙者はニコチン含有量が高い傾向があることから、ニコチン含有量と画像刺激による心理状態の変化に関係性がある可能性が考えられる。また喫煙静止画が、特にニコチン含有量が高いタバコを長期間喫煙している喫煙者の脳活動にどのように影響し、 $\theta 1$, $\theta 2$, $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 2$ 波のパワー値を顕著に増加するに至ったかについて、高密度脳波計やMRI装置を使って脳活動を調べるなど、今後、より詳細な解析が必要である。

喫煙動画のクラスター解析では、喫煙歴28年以上と長く、またニコチン含有量5mg以上と比較的に高い喫煙者(喫煙者D, H)はそれぞれ独立したクラスターに分類された。また、喫煙静止画のクラスター解析で喫煙者D, Hと同じクラスターに分類された喫煙者B, Gは、 $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 2$ 波のパワー値は比較的高い傾向にあるものの、非喫煙者が混在するクラスターに分類された。しかしながら、喫煙動画のクラスター分析では、喫煙静止画で見られた喫煙経験と同じ関係性はみられなかった。この理由については、喫煙動画による刺激は喫煙静止画による刺激の後に行われたため、喫煙動画による刺激が十分に与えられなかったからではないかと考えられる。今後、喫煙静止画と喫煙動画を分けて実験するなどを検討する必要がある。

5. 結 論

本研究では、喫煙画像を目視したときの脳波に及ぼす影響について検討を行なった。喫煙者9名と非喫煙者10名に対して、喫煙画像を目視してもらった際の脳波データを記録し、各周波数成分の標準パワー値の有意差検定及びクラスター解析を行なった。その結果、次の(1)(2)が示された。

(1) 左前頭部の脳波計の電極位置AF7において、

喫煙静止画では $\theta 2$, $\alpha 1$, $\alpha 3$ 波で有意差($p < 0.01$)また $\theta 1$, $\alpha 2$, $\beta 1$, $\beta 2$ 波で有意差($p < 0.05$)がみられた。また喫煙動画では、 $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 3$ 波で有意差($p < 0.05$)がみられた。これらの周波数成分は、閉眼時から増加していた。

(2) (1) で有意差がみられた周波数成分の標準パワー値を用いたクラスター解析において、喫煙静止画では喫煙歴2年以上かつニコチン含有量5mg以上のタバコを喫煙している喫煙者は、同じクラスターに分類され、他の喫煙者と比べて、 $\theta 1$, $\theta 2$, $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$, $\beta 1$, $\beta 2$ 波が顕著に増加していた。

今後、より多くの喫煙者からの脳波データを記録して本研究の再検証を行うと同時に、喫煙画像による刺激が喫煙衝動(喫煙欲求)を駆り立てているか、また喫煙歴・ニコチン含有量と関係などについて検討を行い、喫煙画像の脳波への影響についての知見をさらに深めていきたいと考える。

利益相反の開示

申告すべき利益相反状態はない。

参考文献

- [1] “禁煙ガイドライン(2010年改訂版)”. 日本循環器学会, 2010.
- [2] “禁煙支援マニュアル(第二版)増補改訂版”, <https://www.mhlw.go.jp/topics/tobacco/kin-en-sien/manual2/addition.html>, (参照:2023/5/8).
- [3] “タバコは薬物である—依存性はコカイン・ヘロインに次ぎ、アルコール・覚せい剤を上回る毎年10数万人の命を奪う最大の健康危険因子”, <http://www.jstc.or.jp/uploads/uploads/files/information/2018625t.pdf>, (参照:2023/5/8).
- [4] 磯村 毅, 禁煙支援・禁煙外来の実際. 日本気管食道科学会会報. 2017, vol.68, no.5, pp.358-367.
- [5] Heatherton, T. F. Kozlowski, L. T. Frecker, R. C. and Fagerström R. O. The Fagerström Test for Nicotine Dependence: a revision of the Fagerström Tolerance Questionnaire. Br J Addict. 1991, vol.86, no.9, pp.1119-1127.
- [6] Yoshii C. Kano M. Isomura T. Kunitomo F / Aizawa M. Harada H. et al. An innovative questionnaire examining psychological nicotine dependence, “The Kano Test for

- Social Nicotine Dependence (KTSND)”. J UOEH. 2006, vol.28, pp.45-55.
- [7] 谷口治子, 吉井千春, 磯村 毅, 加濃正人, 小場弘之. 禁煙後の喫煙衝動と社会的ニコチン依存度の関連—身体的依存度別の検討— (会議録). 日本呼吸器学会誌, 2015, vol.4, 増刊号, p.127.
- [8] 小松理依子, 元村直靖. 常習喫煙者の禁煙と再喫煙が脳波に及ぼす影響. 大阪教育大学紀要. 第3部門, 自然科学・応用科学, 1995, vol.44, no.1, pp.103-109.
- [9] Domino, E.F. Matsuoka, S. Effects of tobacco smoking on the topographic EEG I, *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 1997, vol.18, no.5, pp. 879-889.
- [10] 野呂優貴, 吉川大弘, 古橋 武. 画像刺激に対する脳波を用いた感情推定に関する基礎的検討. 第32回 ファジィシステムシンポジウム 講演論文集 FSS (2016 佐賀大学), 2016, pp.103-109.
- [11] “TDSニコチン依存度テスト”. <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/tobacco/yt-048.html>. (参照：2023/5/12).
- [12] Lang P. J. Bradley M. M. and Cuthbert B. International affective picture system (IAPS): affective ratings of pictures and instruction manual, Technical Report A-8. 2008, 61p.
- [13] Sánchez-Cifo M. Á. Montero F. and López M. T. MuseStudio: Brain Activity Data Management Library for Low-Cost EEG Devices, *Applied Sciences*, 2021, vol.11, issue.16, no.7644, 20p.
- [14] Hayashi T, Ko J. H, Strafella A. P and Dagher A, Dorsolateral prefrontal and orbitofrontal cortex interactions during self-control of cigarette craving, *Biological Sciences*, 2013, vol.110, no.11, pp.4422-4427.
- [15] 平井章康, 吉田幸二, 宮地 功. 簡易脳波計による学習時の思考と記憶の比較分析. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, 2014, pp.1441-1446.