

ストロープ課題遂行時の集中度が脳内血液量に与える 影響の一検討

守田龍史¹ 合志和洋²

概要：現在の日本は超高齢社会で、2025年には5人に1人が認知症になるという推計もあり、社会問題になっている。認知症の中でも代表的な症例が、集中力の低下とされているが、近年の研究で、食生活や運動、人とのコミュニケーション、頭を使う活動により予防ができるとされている。そこで本研究では、集中度と脳内血液量の関連性について検討し、NIRS(Near Infra-Red Spectroscopy)と呼ばれる計測法を用いて脳機能の解析を行うことを目的とする。今回は、前頭葉を刺激することにより、認知症予防に効果があるとされるストロープ課題を、光トポグラフィ装置を用いて計測し、同期加算処理により解析を行った。その結果、視覚刺激の400msにピークがあり、回数を重ねるごとに慣れと思われるような変化があり、集中度と脳内血液量の関連性を見出せるような結果となった。

キーワード：NIRS, ストロープ課題, 集中度

Examination of the effect of concentration on the blood volume in the brain when performing the Stroop task

RYUSHI MORITA^{†1} KAZUHIRO KOSHI^{†2}

Abstract: Japan is currently a super-aged society, and it is estimated that one in five people will have dementia in 2025, which is a social problem. Although the typical case of dementia is considered to be a decrease in concentration, recent research suggests that it can be prevented by eating habits, exercise, communication with people, and activities using the head. Therefore, in this study, we examined the relationship between concentration and blood volume in the brain, and aimed to analyze brain function using a measurement method called NIRS(Near Infra-Red Spectroscopy) method. As a result, there was a peak at 400ms of visual stimulation, and there was a difference that seemed to be accustomed with each number of times, and the result was that the relationship between concentration and blood volume in the brain could be found.

Keywords: NIRS, Stroop Assignments, Concentration

1. はじめに

現在の日本は超高齢社会で、平成29年度高齢者白書によると、2012年は認知症患者数が約460万人、高齢者人口の15%という割合だったものが2025年には5人に1人、20%が認知症になるという推計もあり、社会問題になっている。さらに、認知症は高齢者だけの問題ではなく、若者も薬物乱用、生活習慣の乱れ、外傷などが原因で若年性アルツハイマー認知症発症のリスクがあり、私たちにとても関係ない話ではなくなっている。認知症の中でも代表的な症例が、集中力の低下とされているが、近年の研究で、食生活や運動、人とのコミュニケーション、頭を使う活動により予防ができるとされている[1]。

そこで本研究では、集中度と脳内血液量の関連性について検討し、NIRS(Near Infra-Red Spectroscopy)と呼ばれる計測法を用いて脳機能の解析を行うことを目的とする。今回は、頭を使う活動の例として、前頭葉を刺激して認知症予防に効果があるとされるストロープ課題を行い、実際に集

中度と脳内血液量の関連性していることを計測する。

類似研究として、福原らの「光トポグラフィを用いたストロープ効果における脳活動の調査」がある[2]。この文献では、実際にストロープ課題を行った結果、脳内血液量に変化があったとされている。しかしこの実験では、文字の色を声に出して答えさせ、正誤率と脳内血液量の関係性を調べるのが目的であり、発声する行為が脳内血液量に干渉していた可能性も否定できない。

そこで、先行文献との相違点として、ターゲット画像が表示されても身体機能を使わないことで、より純粋な集中時の脳内血液量の変化を解析する。

2. 研究原理

2.1 NIRS(近赤外線分光法)の原理

NIRSとは近赤外分光法のことであり、近赤外線を用いて体内の酸素と結合した酸素化ヘモグロビンと、結合していない脱酸素化ヘモグロビンの変化を計測する手法のこと

¹ 熊本高等専門学校 熊本キャンパス電子情報システム工学専攻
National Institute of Technology, Kumamoto College, Electronics and
Information Systems Engineering Course
² 熊本高等専門学校 熊本キャンパス人間情報システム工学科

National Institute of Technology, Kumamoto College, Human-Oriented
Information Systems E

である．これにより外部からの刺激や何か動作したときの脳の変化，運動に伴う各筋肉の状態の変化を非侵襲的に確認できる．また，NIRS で使用する近赤外光には2つの特性がある．1つ目は，生体組織に対しての高い透過性．2つ目は，近赤外線の光が，生体組織の中のヘモグロビンやミオグロビンなどに吸収される点である．この特性により，近赤外線のいくつかの異なる波長を使用することでヘモグロビン濃度の相対的な変化を確認できる[3]．

本研究では，前額部における集中により変化するデータを扱うため，酸素化ヘモグロビンの濃度変化に着目して実験を行った．

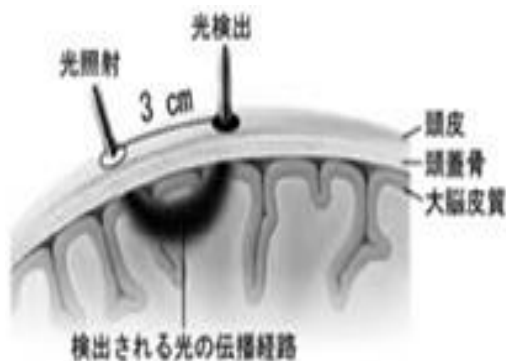


図1 近赤外線分光法の計測原理[4]

Fig.1 Measurement principle of near-infrared light analysis [4]

2.2 同期加算処理

酸素化ヘモグロビンの解析は同期加算処理で行う．同期加算処理法は，脳波などの時系列データの解析手法として最も一般的なものである．この手法は，誘発脳波や事象関連電位といった振幅の小さな脳波を見るために行われる手法で，複数トライアルのデータを刺激提示時刻に揃えて加算平均すると，刺激に同期した成分であるデータのみが現れ，刺激に同期しないのは加算平均することで小さくなる．誘発脳波や事象関連電位などの時系列データを見る手法としてかかせない手法である[5]．

2.3 使用機器

本研究では，日立製作所製のウェアラブル光トポグラフィ WOT-100 (10CH) を用いて実験を行った[6]．図2がWOT-100のヘッドセットで，図3が実際に装着している様子である．WOT-100は独自に開発されたレーザ光源を使用することで，光ファイバーを使わずにヘッドセットの小型軽量化が可能になり，無線LAN通信を使うことでリアルタイムにデータを観測・確認できる．さらに，WOTシリーズは前額部の計測に特化しているため，注意時や思考時などの高次脳機能の測定に適している．

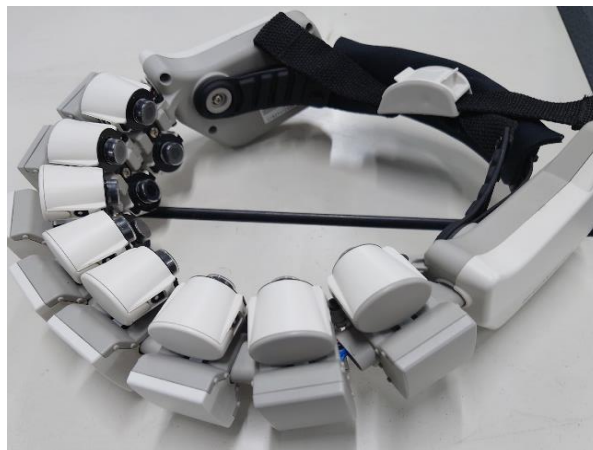


図2 WOT-1000 のヘッドセット

Fig.2 Wot-1000 Headset



図3 WOT-100 を装着した様子

Fig.3 Wearing WOT-100

2.4 ストループ課題

ストループ効果とは，それぞれ意味の異なる刺激が同時に呈示されると，刺激に反応するまでに時間がかかる現象のことで，その要因として，色と文字という2つの刺激が同時に入るために知覚的な処理に時間がかかることが挙げられる．このように意味の異なる刺激が同時に呈示され，刺激に反応して答えてもらう課題を総称してストループ課題と言う．高い集中力を要求されるため，近年では認知症の予防などに使われている[7]．

3. 実験

3.1 実験内容

被験者にNIRS装置を装着させ，ストループ課題を解いてもらう．このストループ課題では，青，緑，赤，黒，桃，黄，茶の7色を使い，文字と色が一致した画像10枚，文字と色が一致していない画像50枚の計60枚が，1枚3秒でランダムに現れる．文字と一致した画像をターゲット画像とし，被験者はターゲット画像が出た瞬間に脳内でカウン

トを一つ増やす。

このストロープ課題を被験者 1 は 50 回、被験者 2 は 10 回計測する。ターゲット画像が出た前後 5 秒のデータを同期加算処理で評価する。今回の NIRS 装置は 10ch のため、1 回の課題遂行で 100 個のデータが所得可能となる。また、同期加算処理のしやすさのために、画像の出る順番は同じにする。

今回の実験は 1 回 3 分かかるため、途中で休憩をはさみながら行った。結果、実験後のアンケートで「飽きずに集中してストロープ課題を遂行できた」と被験者が回答した。このことから、本研究の実験データは有効だと判断した。

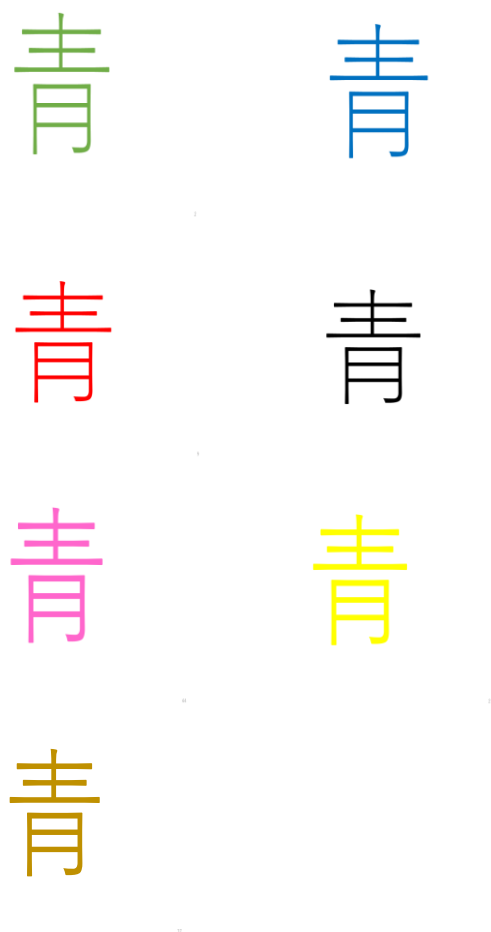


図 4 実際に行ったストロープ課題(一部)
Fig.4 Actual Stroop Issues(some)

3.2 被験者

本研究は、新型コロナウイルスの影響による被験者の収集の困難性から、被験者 1,2 の 2 名で実験を行った。この時、2 人の被験者はともに健康体であり、平均年齢は 20 歳である。被験者には、実験前に本実験の目的と安全性、実験の流れを説明し、実験の了承を得た。その後、実際に NIRS 装置を装着してストロープ課題を遂行してもらい、データを収集した。

3.3 実験結果

(1) 被験者 1 の 50 回分のデータ

図 5 は、1 回目から 10 回目と 41 回目から 50 回目の 10 回分において、ターゲット画像表示の前後 5 秒間を同期加算処理した結果を表したグラフである。真ん中の黒線が、ターゲット画像が表示された瞬間で、左が画像提示前、右が画像提示後である。点線が画像提示 0.4 秒後で、オレンジの線が画像提示終了である 3 秒後になる。

このグラフから、最初の 10 回分では、画像の切り替わりがあった 3 秒前から酸素化ヘモグロビンが増加し、視覚刺激の 0.4 秒後に酸素化ヘモグロビンの量が最大になり、次の画像の提示まで減少したことが分かった。

また、最後の 10 回分では、視覚刺激の 2 秒前から酸素化ヘモグロビンが増加し、視覚刺激の瞬間に酸素化ヘモグロビンの量が急速に減少したことが分かった。

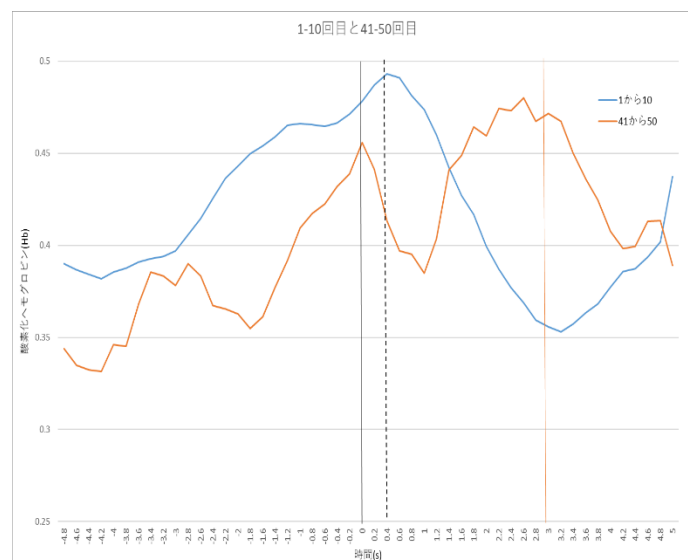


図 5 1 回目～10 回目(青線)と 41 回目～50 回目(橙線)の比較

Fig.5 Comparison between the 1st to 10th (blue line) and the 41st to 50th (orange line)

(2) 被験者 1 の 50 回分の累積

図 6 は、50 回分のデータを、ターゲット画像表示の前後 5 秒間を同期加算処理した結果を、10 回ごとに累積させて表したグラフである。真ん中の黒線が、ターゲット画像が表示された瞬間で、左が画像提示前、右が画像提示後である。点線が画像提示 0.4 秒後で、オレンジの線が画像提示終了である 3 秒後になる。

10 回分と 20 回分の累積では、画像の切り替わりがあった 3 秒前から酸素化ヘモグロビンが増加し、視覚刺激の 0.4 秒後に酸素化ヘモグロビンの量が最大になり、次の画像の提示まで減少した。

30 回分の累積では、視覚刺激の 2 秒前から視覚刺激の 1 秒後まで、酸素化ヘモグロビンの量がほぼ一定となり。そ

の後、次の画像の提示まで減少した。

40 回分と 50 回分の累積では、視覚刺激の 1 秒前から酸素化ヘモグロビンが減少し、視覚刺激の 0.4 秒後から酸素化ヘモグロビンの量が増加した。

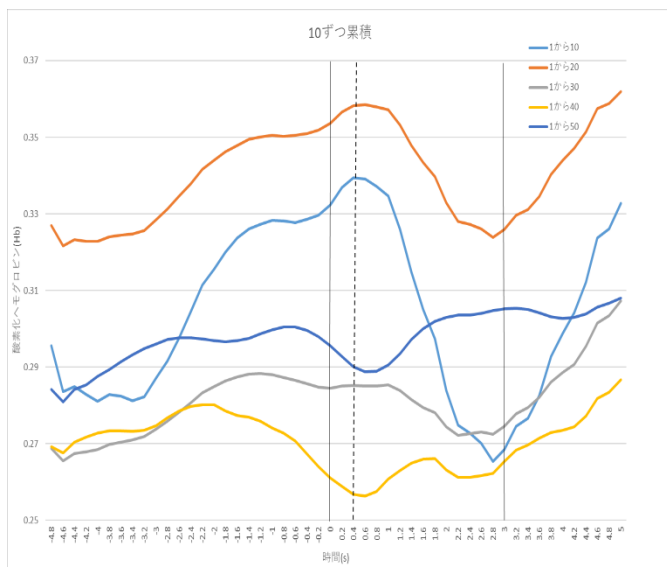


図 6 10 回ごとに累積したデータの比較

Fig.6 Comparison of accumulated data every 10 times

(3) チャンネル別の被験者 1 の 50 回分のデータ

図 7 と図 8 は、ターゲット画像表示の前後 5 秒間を同期加算処理した 50 回分の結果を、チャンネル別で表したグラフである。真ん中の黒線が、ターゲット画像が表示された瞬間で、左が画像提示前、右が画像提示後である。点線が画像提示 0.4 秒後で、オレンジの線が画像提示終了である 3 秒後になる。図 7 が右脳部分、図 8 が左脳部分で、赤の部分が上前頭回、緑の部分が中前頭回、黄の部分が下前頭回になる。図 8 の左側に配置されている ch11 と ch12 は、右脳と左脳の中央部分にある。

上前頭回の ch8, 11, 14 では、右脳左脳関係なく、視覚刺激提示の 2 秒前から視覚刺激提示の 2 秒後まで減少した後、上昇した。

右中前頭回の ch7 では、視覚刺激提示の瞬間から 0.8 秒後まで大幅に上昇し、急速に減少した。

右中前頭回の ch10 では視覚刺激の 1.6 秒前から視覚刺激提示終了まで上昇し続けた。

左中前頭回の ch13 では、視覚刺激提示の 0.4 秒前から 0.4 秒後まで急激に減少し、2 秒後まで急激に上昇した。図 6 の 50 回分の累積のグラフと比較するとよく類似しているため、この箇所が一番大きく影響していると思われる。

左中前頭回の ch16 では、画像の切り替わりがあった 3 秒前から視覚刺激提示まで上昇し続け、その後緩やかに減少した。

下前頭回の ch9, 12, 15 では、右脳左脳関係なく、視覚刺激提示の瞬間から視覚刺激提示の約 1.6 秒後まで上昇し

た後、視覚刺激提示終了まで減少した。

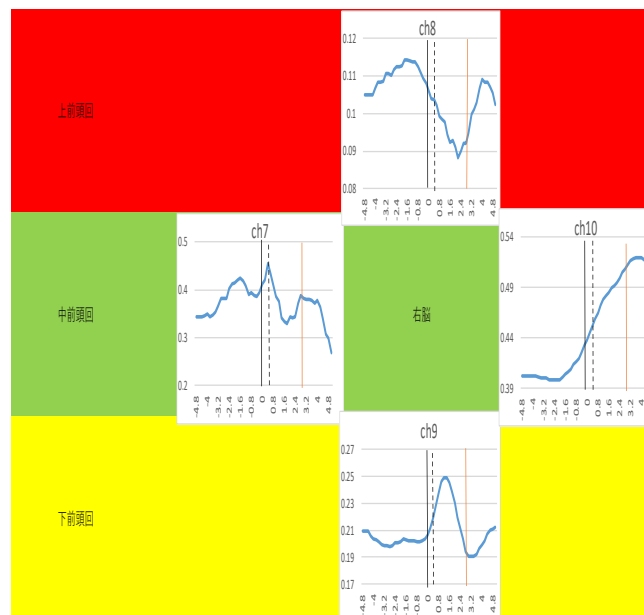


図 7 50 回分のチャンネル別のデータ(右脳)

Fig.7 Data by Channel for 50 Times (Right brain)

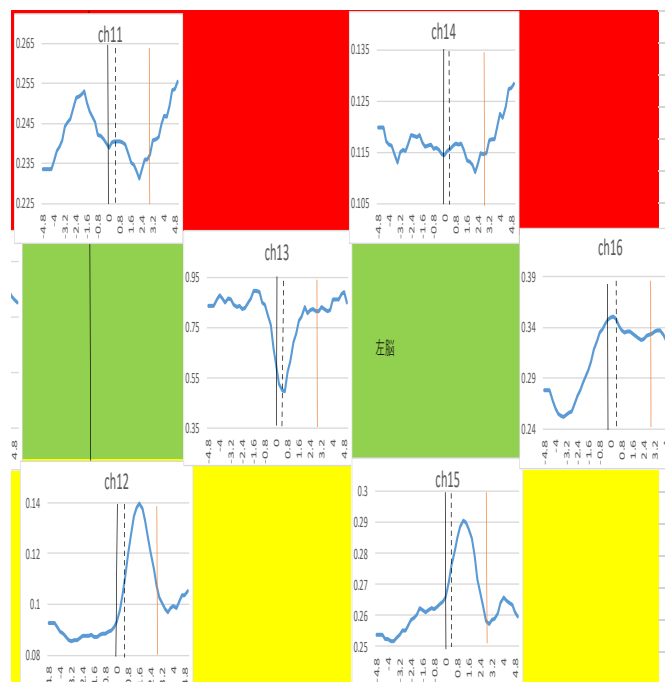


図 8 50 回分のチャンネル別のデータ(左脳)

Fig.8 Data by Channel for 50 Times (left brain)

(4) 被験者 1 と被験者 2 の 10 回分のデータの比較

図 9 は、被験者 1 と被験者 2 の 10 回分のデータを、ターゲット画像表示の前後 5 秒間を同期加算処理して比較したグラフである。真ん中の黒線が、ターゲット画像が表示された瞬間で、左が画像提示前、右が画像提示後である。点線が画像提示 0.4 秒後で、オレンジの線が画像提示終了

である 3 秒後になる。青のグラフが被験者で、オレンジのグラフが著者である。

被験者 1 と被験者 2 のデータを比べてみると、どちらも画像の切り替わりがあった 3 秒前から酸素化ヘモグロビンが増加し、著者は視覚刺激の 0.4 秒後に酸素化ヘモグロビンの量が最大になり、被験者は視覚刺激の 0.2 秒後に酸素化ヘモグロビンの量が最大になった。その後は、どちらも次の画像の提示まで減少したことが分かった。

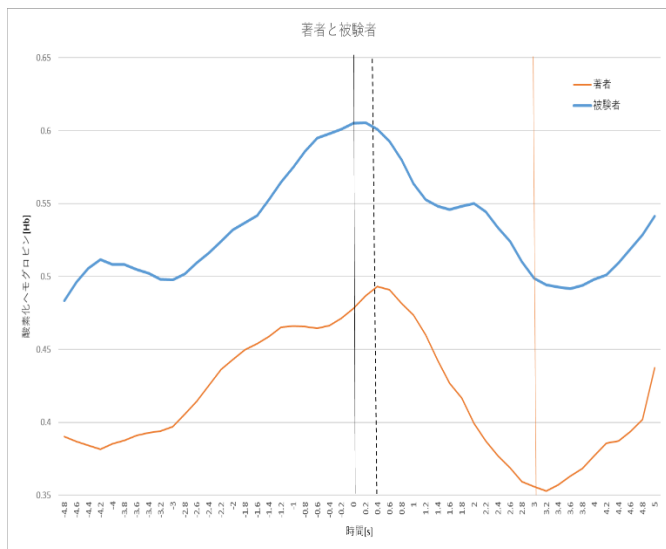


図 9 著者と被験者の 10 回分の比較

Fig.9 10 Comparisons between Authors and Subjects

4. 考察

被験者 1 の 50 回分のデータを見てみると、最初の 10 回分では、画像の切り替わりから酸素化ヘモグロビンが増加し、視覚刺激の 0.4 秒後に酸素化ヘモグロビンの量が最大になっていたが、最後の 10 回分では視覚刺激の瞬間に酸素化ヘモグロビンの量が最大になったことが分かる。

最初の 10 回分の変化に類似する事例として、P300 と呼ばれる事象関連電位がある。P300 とは、高頻度の刺激と低頻度の刺激をランダムな順位与えて、低頻度の刺激が提示された数を数えるという課題において、低頻度の刺激が提示されたときに潜時 300ms に陽性の大きな振幅のピークをもった事象関連電位のことである[8]。この P300 と似た現象が脳内血液量にも起きており、ターゲット画像か否かを判断した後に、集中力が散乱したのではないかと考えられる。

また、最後の 10 回分の変化の考察として、同じ順番のストロープ課題を繰り返し行ったため、次にターゲット画像が提示されることを予測し、次のターゲット画像に反応するというように集中したため、視覚刺激の瞬間に大きな振幅を観測したのではと考えられる。

次に、被験者 1 のデータをチャンネル別で見えてみると、ch13 のグラフと 50 回分の平均のグラフがほぼ同じだった

ため、ch13 の箇所が一番大きく影響していると考えられる。ch13 の付近には言語理解の機能を司る言語野があると言われている。そのため、言語刺激の葛藤を抑制するために、言語野が働いていると考えられるが、近赤外線を利用する NIRS 法は、近赤外線を放射して跳ね返ってきた光から酸素化ヘモグロビンの濃度を算出する手法であるため、人により頭皮や頭蓋骨、大脳皮質、脳の大きさは違うことや、データの少なさの点から、この考察は推測の域を出ないものである。

最後に被験者 2 人のデータを見比べてみると、2 人とも画像の切り替わりから酸素化ヘモグロビンが増加し、視覚刺激の約 0.3 秒後に酸素化ヘモグロビンの量が最大になっていたため、被験者の酸素化ヘモグロビンの一連の変化も、先述した考察と類似している結果となった。

5. まとめ

今回は、集中度と脳内血液量の関連性について検証するため、ストロープ課題を遂行しその際の脳内血液量の変化を NIRS により評価した。最初の段階では、視覚刺激の 0.4 秒後に脳内血液量が最大になり、集中度と脳内血液量の関連性が見られた。また、最後の段階では、次の順番の予測をしていたため、視覚刺激の瞬間に脳内血液量が急激に減少したと考えられる結果が見られた。チャンネル別では、脳機能が影響していると思われる変化が見られ、著者と被験者のデータを比較すると、似たような変化があったことが見られた。

しかし、現段階ではデータが少なく、今回の考察は確証を得ていない。そこで今後は、被験者を増やしデータの確実性を高める必要があると考える。

参考文献

- [1] 内閣府, “平成 29 年度高齢者白書,” 内閣府(2017).
- [2] 福原理宏, “光トポグラフィを用いたストロープ効果における脳活動の調査,” 同志社大学第 118 回月例発表会, pp.1-6(2010).
<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/monthly/monthly10/20100927/mfukuhara.pdf> (参照 2020-11-02).
- [3] アーカイブティップス株式会社, “NIRS (ニルス)・近赤外分光法とは?” アーカイブティップス株式会社,
<https://archivetips.com/artinis/nirs-knowhow> (参照 2020-11-05).
- [4] 志村 宇城, “近赤外分光法による前頭前野計測,” コロナ社(2009).
- [5] 脳科学の世界, “脳波の解析方法,” 脳科学の世界,
<https://brainsc.com/eeg/kaiseki.html> (参照 2020-12-12)
- [6] NeU, “WOT220・WOT100 ウェアラブル光トポグラフィ,” 日立製作所(2014).
https://www.hitachi-hightech.com/file/jp/pdf/products/ind_solutions/ict/human/brain/WOT-220_100_121002.pdf (参照 2020. 10. 12).
- [7] 湯川 彰浩, “ストロープ効果,” (株)デルタプラス(2017),
<https://psychoterm.jp/basic/perception/stroop-effect> (参照 2020-10-19).

- [8] 脳波測定マニュアル, ”P300 とは, ” 脳波測定マニュアル,
<http://eeg.cloudcomputing-navi.com/p300.html>(参照 2020-12-19).