

NIRSを用いた知的生産性評価タスク実施中の脳活動計測

國政 秀太郎^{*1} 宮城 和音^{*1} 大石 晃太郎^{*1} 下田 宏^{*1}
石井 裕剛^{*1} 大林 史明^{*2} 岩川 幹生^{*2} 齋藤 孝^{*2}

Measurement of Human Brain Activity by Near-infrared-spectroscopy
when Performing the Task for Evaluation of Intellectual Productivity

Shutaro Kunimasa ^{*1}, Kazune Miyagi ^{*1}, Kotaro Oishi ^{*1}, Hiroshi Shimoda ^{*1},
Hirotake Isihi ^{*1}, Fuminori Obayasi ^{*2}, Mikio Iwakawa ^{*2}, and Takashi Saito ^{*2}

Abstract – In order to evaluate intellectual productivity caused by the work environmental change, subject experiments have been conducted in the conventional studies where specially designed tasks were given and the task performance were measured. In one of these studies, the tasks for evaluation of intellectual productivity have been developed. It is expected that intellectual productivity such as concentration on mental works can be measured quantitatively by the developed tasks. However, the brain areas activated by these tasks have not been yet confirmed. Therefore, in this study, the authors aimed at evaluating human brain activity by Near-infrared-spectroscopy when performing the developed tasks. As the result of the experiment, it was found that the brain areas corresponding to working memory and visual sensation were activated in 2-digit addition and word classification task respectively.

Keywords : Intellectual Productivity, Near-infrared-spectroscopy

1. はじめに

現代社会において、研究機関、オフィスなどのさまざまな場で人間が行う作業は知的作業が大半を占めており、その社会的価値は年々高まっている。したがって、知的作業の効率や正確さなどの知的生産性の向上によって得られる経済的・社会的利益は大きい。しかし、そのためには知的生産性の評価方法の確立が急務であり、これまで多くの研究がなされてきた。大林らは、評価ツールとして、タスクセットCPTOPを開発しており、知的生産性の定量的評価を行っている^[1]。また、大石らはCPTOPに基づいて、作業への集中に着目した知的生産性評価タスクを提案しており、更なる定量的評価を目指している^[2]。しかし、このタスクが提案時に想定された知的能力の検討はされていない。一方、宮城らが過去に行った研究において、CPTOPタスク実施時の脳活動評価に近赤外線分光器(Near Infrared Spectroscopy: NIRS)が用いられており、プロダクティビティ研究にNIRSを用いることの可能性が示唆されてきた^[3]。NIRSとは近赤外線の分光特性を利用して脳血流量を測定するもので、複数の脳部位の血流量を計測することができる。この研究の他にも、認知タスク実施時の脳活動評価にNIRSを用

いた研究がある^[4]。そこで本研究では、NIRSを用いた計測によって、大石ら^[2]の提案するタスク実施中の脳活動を評価し、想定された知的能力を活用しているか確かめることを目的とし、被験者実験を行った。

2. 知的生産性評価タスク

2.1 検討対象のタスク

本研究で検討するタスクは大石ら^[2]の提案した単語分類タスク、2桁加算タスクの2種類である。

単語分類タスクでは、1つ単語が提示され、その単語が「植物・動物」、「地名」、「人工物」のいずれであるか、頭文字が「ひらがな」、「カタカナ」、「漢字」のいずれであるか、またその先頭母音が「い」、「う」、「お」のいずれであるかを分類し、分類表(計 $3 \times 3 \times 3 = 27$ グループ)に分類結果を入力するものである。本タスクは連続実施時間を約30分間までと設定しており、各グループに約40単語ほど用意し、難解なものを極力避けて選定した。また、関連性の強い刺激が続くことで記憶想起に影響が与えられるというプライミング効果^[5]は、本タスクの難易度の均一性を阻害する要因となり得る。この効果を排除するために、タスク中に一度提示した単語は最低100語以降までは提示せず、また同じ分類グループの単語を連続して提示しないように設定した。

2桁加算タスクでは、2桁の整数が画面に提示され、タスク実施者は2桁の整数を記憶し、エンターキーを入力する。その後別の2桁の整数が提示され、これら

*1: 京都大学大学院 エネルギー科学研究科

*2: パナソニック株式会社

*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

*2: Panasonic Corporation

2つの整数を暗算し、答えをPCへ入力する。また、難易度が均一になるようにこのタスクで提示される2つの2桁の整数は、加算時に繰り上げが発生しないように選定されている。

2.2 知的能力・運動と脳賦活部位の検討

単語分類タスクでは、言語の分類を行うタスクであり言語機能が要求されるため、図1に示すような感覚性言語野(ウェルニッケ野・角回)が活性化すると考えられる。また、かな文字と漢字を読む脳の回路は異なっており、かな文字は視覚野から左角回を通り、ウェルニッケ領野へ、漢字は視覚野から左側頭葉後下部を通り、ウェルニッケ領野へ情報が伝えられていく[6]。さらに語彙に直接関係する皮質領域は左側頭葉前端から下部にかけての領域であり、前端部は人名、中間部は動物名、後部は道具名という区分で語彙が格納されている[8]。しかし、本研究で扱う分類タスクはプライミング効果を抑えるために同じグループの単語が連続して提示されないよう設定されており、これらの異なる脳賦活部位の詳細な議論はできないが、本タスクでは視覚野からウェルニッケ野および側頭下部の賦活が認められると考えられる。また、指や腕の動きが要求されるために、中心溝前面にある体性運動野が活性化すると考えられる[9]。

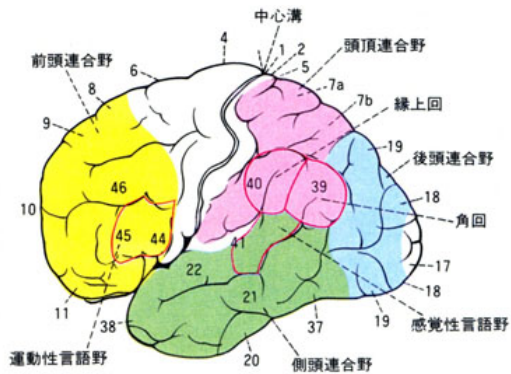


図1 ブロードマン脳地図 (図出典:医学書院[7])
Fig.1 Brodmann's areas.

2桁加算では被加算数を一時的に記憶するため、作業記憶(ワーキングメモリ)が要求されると考えられる。作業記憶とは、ある課題を遂行するために必要な情報を自己の記憶から選択し、それを一時的に貯蔵し、目標に向けて考えを統合・処理し、課題への解決に向かう機能を指しており、賦活部位は図1に示すブロードマンの脳地図の第46野とされている[6][7]。また、加算を行う際は数理的・論理的推論が必要とされ、前頭連合野の左側が特に賦活すると考えられる。前頭連合野は、思考、意志、創造などの高次認知機能を司り、特に左側は言語・論理などの分析・数理的認知に優れている[9][10]。従って、加算作業時には前頭連合野の

左側の賦活が認められると考えられる。また、答え入力時にテンキー操作で数字を打ち込むため、指の運動が要求され、単語分類タスクと同様に体性運動野の部位が活性化すると考えられる。

3. NIRS 測定実験

3.1 目的

NIRSを用いた被験者実験を行い、大石ら[2]の提案するタスク実施中の脳賦活を評価し、想定された知的能力を活用しているかを確認することを目的とする。

3.2 手順

実験は2012年7月5日に行った。被験者は、母国語が日本語の健康な男性3名(年齢23~38歳、平均年齢28歳)で、全員右利きであった。計測は図2のような流れで、2桁加算と分類タスクを行った。

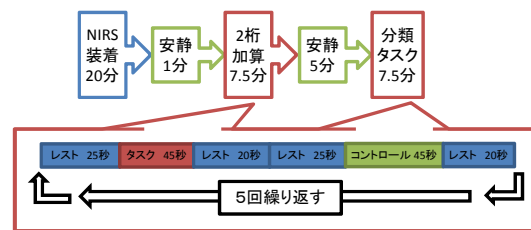


図2 測定の流れ
Fig.2 Flow of the measurement.

また、NIRSによって計測される脳血流量は各タスク実施時の知的活動に起因する成分と、指や腕などの運動に起因する成分があると考えられる。本実験では知的活動に起因する成分を抽出するのが目的であるので、運動による成分は除去する必要がある。そのため、本実験ではタスク条件とコントロール条件を設け、タスク条件では通常通りタスクを実施させ、コントロール条件ではタスク条件時と同じような指・腕の動きのみを行わせることで、知的能力を要求しない操作をさせた。その後、タスク条件での脳賦活からコントロール条件での脳賦活を減算することで、知的活動に起因する成分を抽出した。また、血流量のベースライン測定のためにレスト条件を設け、この時緑色の十字が描かれた白いビニール板を被験者の前に提示し、その十字を注視し何も考えないように指示した。

3.3 測定対象

送光プローブ、受光プローブを各16点用意し、3cm間隔で図3のようにフォルダに配置し、6×30cmの領域に位置する50チャンネルの酸素化、脱酸素化、総ヘモグロビンを測定した。さらに、プローブを設置したフォルダを図3の受光プローブ2番が国際10-20法におけるFz位置に合うようにし、被験者の頭部左側に図4のように装着した。本実験で頭部左側にフォルダを装着したのは、2.2節で述べたように脳の左側に



図3 プローブの位置
Fig. 3 Locations of probes.

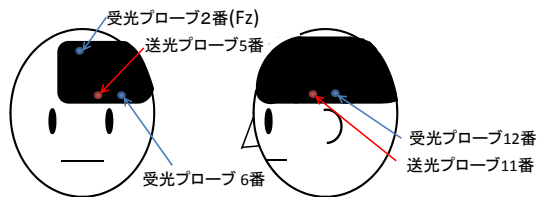


図4 フォルダの装着位置
Fig. 4 Locations of headband.

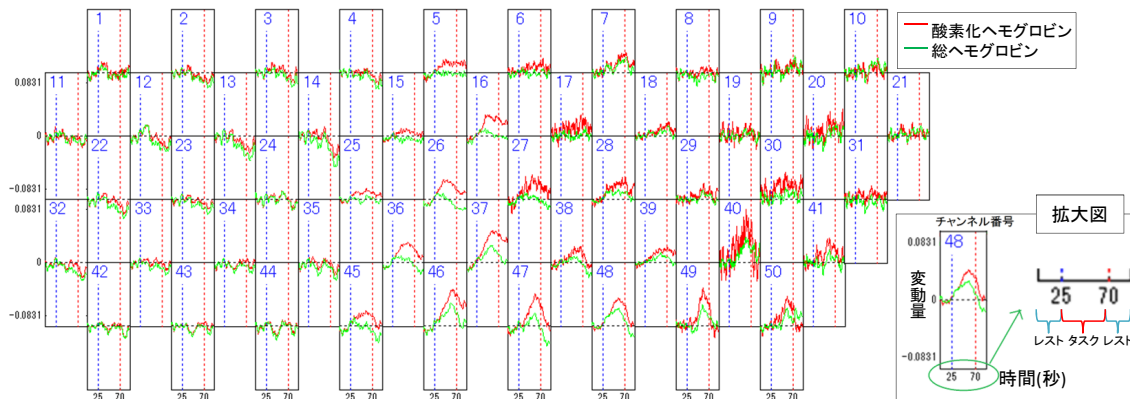


図5 分類タスク時の脳賦活の例
Fig. 5 An example of brain activity in word classification.

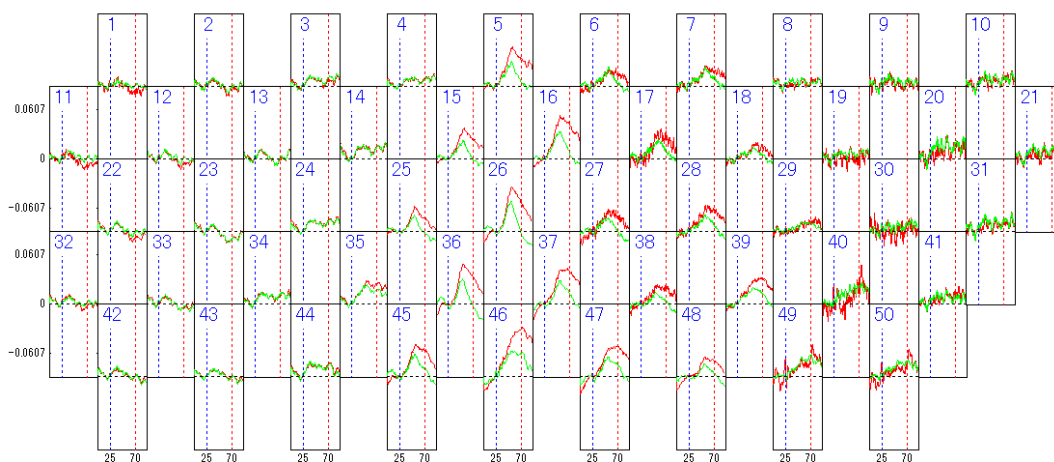


図6 2桁加算時の脳賦活の例
Fig. 6 An example of brain activity in 2-digit addition.

主な賦活があると考えられたからである。また、計測には島津製作所の NIRStation3000 を使用した。

3.4 計測結果

単語分類タスク、2桁加算のそれぞれの脳賦活のグラフの1例を図5と図6に示す。各図では、脳賦活を反映する酸化ヘモグロビンと総ヘモグロビンのベースラインからの時間変化を示している。これらのグラフは以下の処理を通して作成された。本実験は1つのタスクにつき、タスク条件とコントロール条件での試行を5回ずつ行っており、脳血流量にアーチファクトが認められた試行は除外した。本実験でのアーチファクトとは、酸化ヘモグロビンと脱酸化ヘモグロビ

ンのデータの対称かつ急激な変化のことで、これは測定プローブの位置ずれが原因の1つとして挙げられる。このようなデータを除外したのち、各条件の加算平均を取り、タスク条件のデータからコントロール条件のデータを減算処理し、9点の移動平均をかけ、最後に各チャンネルごとの場所に各データを配置した。

4. 考察

単語分類タスク時では作業記憶に関連するチャンネル35の活性が図6からは認められないため、作業記憶には負荷がかかっていないと確認できる。さらに言語系を司る左側頭下部の活性が見られるため、単語分類タスクは言語処理を行っていると考えられるが、ウェ

ルニッケ野に相当する部位、つまりチャンネル 29,30 付近の活性は認められない。2.2 節では、この部位も賦活すると考えられていたが、本実験で賦活が認められなかったため、今後検討が必要である。また、チャンネル 40,49,50 付近で活性が見られたが、この部位は視覚野および紡錘状回に近く、タスク時に視覚情報を得て処理する際に活性化したと考えられる。単語分類タスクでは、提示された単語を見て分類表に対応した分類結果を入力するという作業を行っているため、2 桁加算タスクに比べ視点の移動が大きく、取り込む情報量が多い。そのため、これらのチャンネル付近の部位が活性化したのだと考えられる。

次に、2 桁加算時ではチャンネル 35 の活性が図 5 から見られるため、確かに作業記憶に負荷がかかっていると考えられる。2.2 節で述べたように、計算時は前頭連合野の左側の賦活が見られるはずであるが、この図からはそれは認められない。原因の 1 つとして、2 桁の加算の難易度が当部位の賦活を促すほど高くなかった可能性が考えられる。また、チャンネル 5,15,16,26 付近は体性運動野の指の動きに相当する部位であり、ここの活性も見られることから、指などの運動の成分が除去しきれていないことが分かる。実際、タスク条件時では答えを入力するため、正確にテンキー操作する必要があったが、コントロール条件時では入力する数字はランダムで良いために正確なテンキー操作の必要はなく、その違いが脳賦活の違いに影響を与えたと考えられる。また、チャンネル 36,46,47,48 付近の側頭下部の活性が見られるが、この部位は言語系を司り、算術課題で賦活するとは想定していなかった部位である。考えられる要因として、2 桁の数字を暗記する際、数字をイメージとして覚えるのではなく、言語化して音で覚えることでタスクを処理したと、被験者から報告があった。この場合は言語処理が働き、当部位が活性化した可能性がある。数字を扱うタスクでこのような活性化が見られることについては今後さらに検討が必要である。また、チャンネル 27,28 付近は第一聴覚皮質の部位であり、ここの賦活は数字の暗唱で生じたものだと考えられる。

以上より、単語分類タスクと 2 桁加算での脳賦活について考察を行ったが、これらのタスクの賦活部位が非常に近いことから、明確な脳賦活のタスクによる相違を論じることはできないが、今後さらに検討を深め、各タスクの要求する知的能力と脳賦活部位との関連の詳細な検討を進めていきたい。また本実験では被験者が少ないため、今後はより多くの被験者実験を行っていく予定である。

5. まとめ

本研究では、NIRS を用いた計測によって、大石ら^[2]の提案するタスク実施中の脳賦活を評価し、想定された知的能力を満足しているか確かめることを目的とした。被験者実験では、これらのタスクを用いて NIRS による脳賦活計測を行い、タスク実施中の脳賦活部位を評価した。2 桁加算タスクでは作業記憶に関連する部位の賦活が認められ、単語分類タスクでは視覚野および紡錘状回の賦活が認められた。また、これら二つのタスクに共通して側頭下部付近の賦活が認められた。しかし、これら 2 つのタスクによる賦活部位はさらに検討を進め、より詳細な議論が必要である。今後、さらに実験設計の検討や脳賦活に関する考察を重ね、各タスクの要求する知的能力と脳賦活部位との関係性について明らかにしていきたい。

参考文献

- [1] 大林, 富田, 服部, 他: オフィスワークのプロダクティビティ改善のための環境制御法の研究 - プロダクティビティ評価法 CPTOP の開発 -, ヒューマンインターフェース学会, Vol.1, No.1322, pp.151-156 (2006).
- [2] 大石, 宮城, 國政, 他: 作業への集中に着目した知的生産性評価ツールの提案; ヒューマンインターフェース学会, (2012).
- [3] 宮城, 近藤, 榎本, 他: パフォーマンステストによる知的生産性改善評価時の NIRS を用いた脳活動計測; ヒューマンインターフェース学会研究報告集, Vol.10, No.1, pp.149-154 (2008).
- [4] 白濱, 東, 友利, 他: 神経心理学的課題試行時の前頭側頭部の脳血流動態の変化; 日本作業療法研究学会雑誌, Vol.13, No.2, pp.9-14 (2010).
- [5] 箱田: 認知科学のフロンティア II, サイエンス社, (1992).
- [6] 竹下: 人間発達学, 中央法規出版, (2009).
- [7] 本郷, 廣重, 豊田, 他: 標準生理学 第 6 版, 医学書院, (2005).
- [8] Damasio,H., Grabowski, T.J., Tranel, D., et al.: A neural basis for lexical retrieval., Nature, Vol.380, pp.499-505 (1996).
- [9] 伊藤: 脳と人間の生物学, 培風社, (1988).
- [10] 吉川, 仲谷, 下田, 丹羽: ヒューマンインターフェースの心理と生理, コロナ社, (2006).