

原著

注意課題の脳波特性 θ / β 比からみた定型閾値の有用性とPASATの正答率からの検証

EEG Profile during Attention Tasks Testing the Usefulness of Typical Threshold Value Based on θ/β Ratio and PASAT Correctness Rate

高橋 泰子¹⁾ 石川 健二²⁾ 木村 秀生¹⁾ 亀井 一郎³⁾

Abstract : In this study, we recorded the brain waves of students at rest and during attention tasks. Resulting θ / β values of all students lied within the threshold value range for typical developments. Therefore, EEG during attention tasks was useful for identifying typical developments. It was suggested that, among the attention tasks, PASAT, an auditory processing task, was significantly effective for detecting specific EEG.

After conducting PASAT on students again, we found some students whose correctness rates fell below our cutoff value. For these students, alpha wave was the dominant rhythm during resting state with eyes closed. Yet, brain wave content profile showed no clear dominant waves. This was because theta wave, a type of slow wave, appeared. In other words, as an explanation why slow wave becomes the dominant wave, immaturity of brain activity is suspected. We have guessed this to be the reason why attention deficit behavior by these students were frequently observed. It was suggested that specific support be considered for students who have processing auditory difficulty.

Key words : EEG(Electroencephalogram), θ / β (Theta per Beta), Attention Task, PASAT(Paced Auditory Serial Addition Task), Working Memory

要 約 : 本研究では、安静時と注意課題遂行時における、学生の脳波を測定した。その結果、全対象学生の θ / β 値は、定型発達者の閾値内にあった。それゆえ、注意課題における脳波は定型発達の同定に有用であった。注意課題のなかでも特に、聴覚情報処理課題のPASATは特異的脳波を検出するのに有意であることが示唆された。

そこで、再度学生に対してPASATを実施した結果、正答率がcut off値以下の者が存在した。それらの学生において、安静閉眼時では、脳波の優勢律動が α 波であった。しかし、脳波の含有率プロフィール

Yasuko Takahashi
E-mail : takahashiy@kawasakigakuen.ac.jp
大阪河崎リハビリテーション大学

1) リハビリテーション学部 言語聴覚学専攻
2) リハビリテーション学部 作業療法学専攻
3) 学長

ルにおいては、明確な優位律動は出現しなかった。何故なら課題遂行時は、徐波である θ 波が出現したからである。すなわち、課題中に徐波が優位律動になる理由として、脳活動の未成熟さが疑われる。彼らの日常行動でしばしば不注意な行動が観察されるのは、こういったところに起因していると推測された。聴覚情報処理の困難さがある学生へは、具体的な支援を検討していくことが示唆された。

キーワード：脳波、 θ / β 、注意課題、PASAT、ワーキングメモリ

高等教育機関における発達障害学生の在籍数が増加している¹⁾。Nagataniら²⁾は、注意欠如・多動性障害（Attention Deficit Hyperactivity Disorder：以下、ADHD）の不注意症状は見逃されやすく、学業不振や抑うつ症状との関連性があることを指摘しており、高等教育機関においては早期発見・対応は喫緊の課題であると警鐘を鳴らしている。

ADHD児は、前頭前野や大脳基底核のドーパミン作動性神経の機能異常を中心とした神経基盤が議論されており、前頭前野、小脳虫部、尾状核、淡蒼球が定型発達児より明らかに小さいと報告されている³⁾。しかし、CT（Computed Tomography（コンピューター断層撮影法））、MRI（Magnetic Resonance Imaging system（磁気共鳴画像装置））で撮影しても、ADHDであると画像で診断することは困難である。また、知的な課題の遂行時のSPECT（Single photon emission computed tomography（単一光子放射断層撮影））を見ると、定型発達児の5%が前頭前皮質で灌流が減少するのに比してADHD児は65%に明らかに減少した灌流が見られたと報告されている⁴⁾が、簡便に診断に活用できるものではない。脳の活動を観るために、CTやMRI、SPECTと比較すると、頭の表皮上におけるわずかな電気的な変動を電極でとらえる脳波が比較的簡便に測定できることから、臨床への活用が可能であるか試みられている。安静時、ADHD児は定型発達児に比べて前頭前野にて θ 波が増加し、側頭領域にて β 波が減少する。またADHD児は定型発達児に比べ θ 波の

活動が全体の脳波に対して占める割合が高く、 β 波の活動が低い傾向にあるとの報告もされている⁵⁾。その一方で、ADHD児が視覚性持続課題を遂行しているとき、課題の前後に比べ β 波が発生している割合が高いという報告もある⁶⁾。これらの先行研究から、ADHD児は定型発達児に比べ、 θ 波の割合が高い、もしくは、 β 波の割合が低いいため、 θ / β の比率が高くなり、覚醒が低い可能性が示唆されている。

そこで本研究では、定型発達者の課題遂行時の脳活動に着目し、情報入力の違いによる脳波を比較することで、注意集中が困難な学生の支援方法を検討していくことを目的とする。ついで、研究1では、定型発達者の課題遂行時の脳活動を脳波測定し、先行研究との比較、ならびに研究2のパイロットスタディとする。

また、ADHDは多動、衝動、不注意の症状を呈することから、学習不振を示しやすい。学習を修得するには、長期記憶する必要があるが、長期貯蔵庫に至る前のワーキングメモリの機能が必須不可欠である。長期記憶の貯蔵庫に入るためには、ワーキングメモリとの間で検索・リハーサルを繰り返すことにより長期貯蔵庫に至ると考えられている。本研究の測定時に用いる注意集中課題は、ワーキングメモリとの関連がある。ワーキングメモリとは、様々な思考や認識、課題作業時の情報を一時的に保持しながら、操作するための構造や過程を指す構成概念である。その機能が適切に働くためには注意が効率的に関与する必要がある。複数の課題を同時に行う場合に必要であり、情報の取捨選択や注意

の配分、個々の作業情報の把持・消去といった一連の情報処理機能が含まれる。それらを測定する PASAT (Paced Auditory Serial Addition Task) は、提示された数字を記銘、保持させながら加算し答える課題である。このことは注意の中でも分配性と制御機能が必要であるため情報処理能力が問われる課題である⁷⁾。松下ら⁸⁾は、PASAT 遂行時に NIRS (Near Infra- Red Spectroscopy) で測定したところ、課題の難易度が高すぎると脳の賦活が少なくなり、効率的な前頭葉の活性化には対象者の能力に合わせた適切な難易度の課題の設定が重要であることを示唆している。

そこで研究2では、研究1の脳波測定時に用いた注意課題で正答率が高い学生と低い学生の脳波を比較し、注意集中が困難な学生の支援方法を検討していくことを目的とする。

なお、本研究は本学倫理委員会にて承認(承認番号 OKRU27-A016)されており、参加者へは予め研究の同意を得て実施した。

研究 1

目的

定型発達者の課題遂行時の脳活動を測定し、情報入力の違いによる脳波を比較・定量化することで、注意集中が困難な ADHD 等の検出のためのパイロットスタディを行う。

方法

対象は本学学生 12 名(男 7 名、女 5 名: 年齢 21.0 ± 0.8 歳)。いずれも発達障害の診断を受けたことはない。

閉眼および開眼で安静時 1 分間の脳波を測定(ベースライン)。その後、下記の課題遂行中に 2 分間脳波を測定し、 θ 波、 α 波、 β 波の定量

化分析を行う。

Paced Auditory Serial Addition Test (以下 PASAT)⁹⁾

検査用 CD で連続的に聴覚提示される 1 桁の数字について、前後の数字を順次暗算で足していく課題。このとき両眼は開眼状態である。この課題は作動記憶の関与が大きく、情報処理の速度、効率性が要求される⁷⁾。

Continuous Performance Test (以下 CPT)⁹⁾

Test1: 反応時間課題 (Simple Reaction Time: SRT 課題) 一数字の「7」のみが、1~2 秒のランダムな間隔で、1 秒間、ディスプレイに表示されるので、「7」が表示されるたびに、素早くスペースキーを押す課題。

Test2: X 課題—1~9 までの数字がランダムに表示されるが、「7」が表示されたときにだけ、素早くスペースキーを押す課題。

Test3: AX 課題—1~9 までの数字がランダムに表示されるが、「3」の直後に「7」が表示されたときにだけ、素早くスペースキーを押す課題。

上記の課題を実施後、ベースライン (BL) と同様に閉眼および開眼で安静時の脳波を 1 分間測定。使用した機器は、フューテックエレクトロニクス社製 3 電極平衡型センサーバンドタイプの脳波測定器。得られたデータは、各周波数帯域に定量化し解析ソフト (software brain-pro.) を用いて平均電圧・含有率を算出した。

なお、統計処理は SPSS II により、2 変数の比較は t 検定、多重比較は分散分析を用いて算出した。

結果

対象者 12 名の安静時の閉眼時と開眼時の前頭前野の脳波を各 1 分ずつ測定したところ、表 1 に示すように、閉眼時は θ 波、開眼時には α 波が優位律動を示す一般的な脳波が全員に出

現したので、対象者は妥当性があると考え実験を遂行した。

表1 脳波の各周波数帯域

13Hz~ 33Hz	β波帯域	緊張、覚醒	分散
11Hz~ 13Hz	α3波帯域	ややリラックス	集中
9Hz~ 11Hz	α2波帯域	リラックス	超集中
8Hz~ 9Hz	α1波帯域	リラックス	うとうと・眠りかけ
~ 8Hz	θ波帯域	リラックス	無意識、まどろみ

実験の結果、図1に示すとおり、安静開眼時に比べPASATならびにCPTの課題遂行時は、平均電圧のβ波には差が認められないが、θ波は上がった。しかし、含有率で比較するとθ波は上がりβ波は下がった（平均電圧θ波：F=7.22 p<0.01 含有率β波：F=5.00 p<0.05）。

また、PASATとCPTの課題遂行時、課題遂行後の安静閉眼・開眼時、それぞれの平均電圧のθ/β値を算出すると、大村らの研究¹⁰⁾

で示されている 2.5 ± 1.0 の定型閾値内にあった（図2、3）。その中でも、PASAT遂行時脳波が大村らの定型平均値に最も近似していた。そのことから、いずれの課題も有用であると考えられるが、聴覚入力の方がより注意集中時における特異的脳波の検出精度が高いと示唆された。

課題遂行時の脳波を測定するにあたっては、アーチファクトが検出された。これは、開眼で課題を遂行したため、瞬きによる眼瞼の動きや眼球運動による要因が干渉されたと推測する。本機材のスペックでは、眼球運動のフィルターカット機能がないためその影響は免れなかった。そのため、1名から一部の周波数帯域が検出されなかった。また、指標値であるθ/β値も検定において棄却を要する値が検知された。

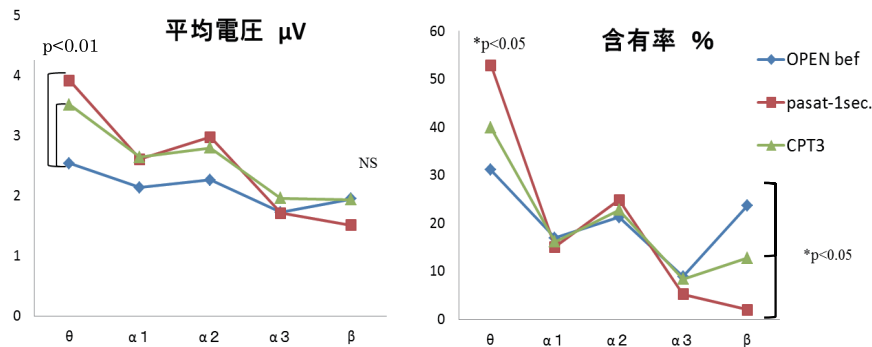


図1 脳波の平均電圧と含有率（安静開眼、PASAT、CPT）

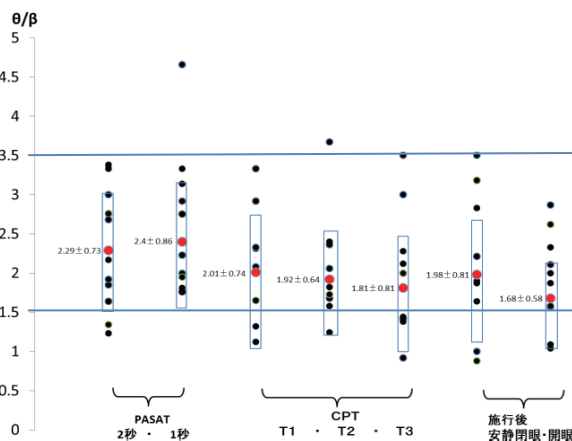


図2 各課題時遂行時における各被験者のθ/βの推移 - 先行研究による定型発達者の平均閾値との比較 -

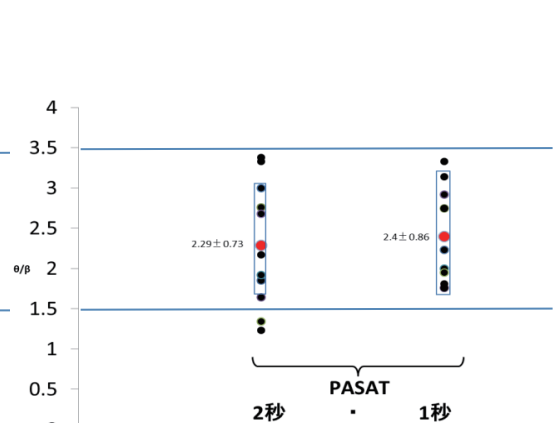


図3 PASAT遂行時のθ/β値の推移 - 先行研究による定型発達者の平均閾値との比較 -

しかし、安静時の閉眼・開眼に誘発される脳波は、一般的な脳波と同様のものが検出されたため、前頭前野の局所的な大脳皮質の電位反応を測定するセンサーバンドタイプの電極皿であっても、そこから得られる脳波を指標とすることには問題がないとした。

考 察

対象とした学生は定型発達のほぼ典型であることがわかった。また注意課題時の脳波は定型発達の同定に有用であり、特に聴覚入力課題の PASAT は特異的脳波検出の高さが示唆された。しかし、棄却を要した学生が 1 名いた。これは、アーチファクトが干渉因子になったと推測されるが、発達障害の出現率 6.5%⁽¹¹⁾ から考慮して、未成熟な脳活動電位を示した可能性も考えられる。これらの電気生理学的評価を日常の教育場面に反映させるためにも、学生の日常行動の観察が不可欠である。ADHD の不注意優勢タイプは、多動性や衝動性のように身体をそわそわ動かしたり喋り過ぎるなどの落ち着きのなさが表面化せず、むしろ静かに講義を聴いており他者を妨害するような態度は見られない。ところが、課題や活動を順序立てて行うことが困難であったり、綿密に注意して活動ができないなどの問題行動を示すため、学習の非効率さが気になることがある。このように、アカデミックスキルの習得に大きな逸脱はないものの、聴き誤りや何度も確認を求めるなどの ADHD の不注意性のような行動を示す学生がいた場合、この客観的な検出ツールをも参照しながら、教育場面における適切な学習補助を行い修学配慮していく必要がある。

研 究 2

目 的

研究 1 で示した θ / β 値が定型発達の閾値内であった学生の PASAT 正答率に着目したところ、正答率が定型発達域から逸脱した学生がいた。本来 PASAT は臨床にて注意機能の鑑別に用いられる課題であるが、判定精度については様々な見解がある。

そこで、研究 2 では、PASAT 正答率が逸脱した学生の脳波と日常行動を評価することで、その脳波特性と行動との関係を検証し、さらに教育的対応について考察することを目的とする。

方 法

対象は学生 14 名（男 7 名 女 7 名 年齢 20 ~ 30 歳 平均 21.9 ± 2.39 歳）。いずれも発達障害の診断を受けたことはない。

安静時閉眼・開眼状態でそれぞれの 1 分間の脳波を BL として測定した。その後、標準注意検査 (CAT) の中の 1 つである PASAT を 2 秒間隔提示と 1 秒間隔提示の遂行時の脳波を測定した。使用した機器は、フューテックエレクトロニクス社製 3 電極平衡型センサーバンドタイプの脳波測定器。得られたデータは、各周波数帯域に定量化し解析ソフト (software brain-pro.) を用いて平均電圧・含有率を算出した。統計処理は SPSS II により、2 変数の比較は t 検定、多重比較は分散分析を用いて算出した。

結 果

θ / β 値と PASAT 正答率

図 1 が示す通り、全対象学生の θ / β 値は、大村らの先行研究で示されている定型発達者の

平均閾値 2.5 前後に概ね入っていた¹⁰⁾。また、PASAT 正答率は、全対象学生の平均は 75.9% であった。そこで、正答率の上位 5 名を H 群(平均 94.6%)、下位 5 名を L 群(平均 49.3%) として比較・分析した(表 2)。なお、PASAT2 秒間隔提示課題の cut off 値は 75.0% であるが、正答率の低い L 群 5 名はいずれも cut off 値より低い正答率であった。

ベースライン (BL) の平均電圧・含有率

BL の安静閉眼時脳波の平均電圧は、H 群、L 群いずれも α 帯域に頂点を描くプロフィールを示した(図 4 上)。一般的に、安静、閉眼、覚醒時は α 波が出現するといわれており、同様の結果であった。しかし、含有率においては、優位律動(脳波のすべての背景活動を構成する各

種の周波数のうち、いちばん時間的に多く出現している周波数成分のこと)が H 群は α_2 波であることが明確に示されるものの、L 群は優位律動が明確ではないプロフィールが描かれた。

PASAT 遂行時の平均電圧・含有率

PASAT 遂行時の平均電圧をみると、H 群と L 群の θ 波 (H; 3.52 μV , L; 3.82 μV) 及び β 波 (H; 1.26 μV , L; 1.76 μV) の値に有意差は認められなかった。しかし、 α_2 波(周波数帯域 10.0Hz) の平均電圧 (H; 4.30 μV , L; 3.28 μV)、含有率 (H; 47.04%, L; 23.18%) において H 群の方が高い値を示した。そして、H 群は α_2 波が優位律動であるに対し、L 群は優位律動が θ 波であった(図 4 下)。

さらに、BL と PASAT 遂行時の脳波の含有

表 2 各群における PASAT 課題の結果

H 群 : 正答率 上位 5 名 ave. 94.6%

L 群 : 正答率 下位 5 名 ave. 49.3%

学生	平均電圧(μV)					含有率(%)					正答数	正答率
	θ	α_1	α_2	α_3	β	θ	α_1	α_2	α_3	β		
A	2.8	2.6	4.1	1.8	1.5	19.7	11.8	55.3	7.9	5.3	60	100.0
B	4.0	3.2	7.9	2.0	1.2	12.8	10.3	74.4	2.6	0	60	100.0
C	3.8	3.1	3.7	1.3	0.9	62.5	0	37.5	0	0	56	93.3
D	2.6	2.4	3.9	1.4	1.4	21.8	16.4	60.0	0	1.8	56	93.3
E	4.4	3.6	5.3	2.5	1.3	10.0	40.0	30.0	20.0	0	53	88.3

学生	平均電圧(μV)					含有率(%)					正答数	正答率
	θ	α_1	α_2	α_3	β	θ	α_1	α_2	α_3	β		
a	4.2	4.4	4.5	2.5	1.9	24.0	40.0	28.0	4.0	4.0	40	66.6
b	3.2	1.8	1.8	1.5	1.5	64.0	12.0	8.0	8.0	8.0	37	61.6
c	3.1	2.8	2.6	1.1	1.3	50.0	28.6	14.3	3.6	3.6	33	55.0
d	3.5	3.9	4.2	2.9	2.2	22.6	32.3	32.3	12.9	0	31	51.6
e	5.1	5.6	3.3	3.2	1.9	33.3	33.3	33.3	0	0	7	11.6

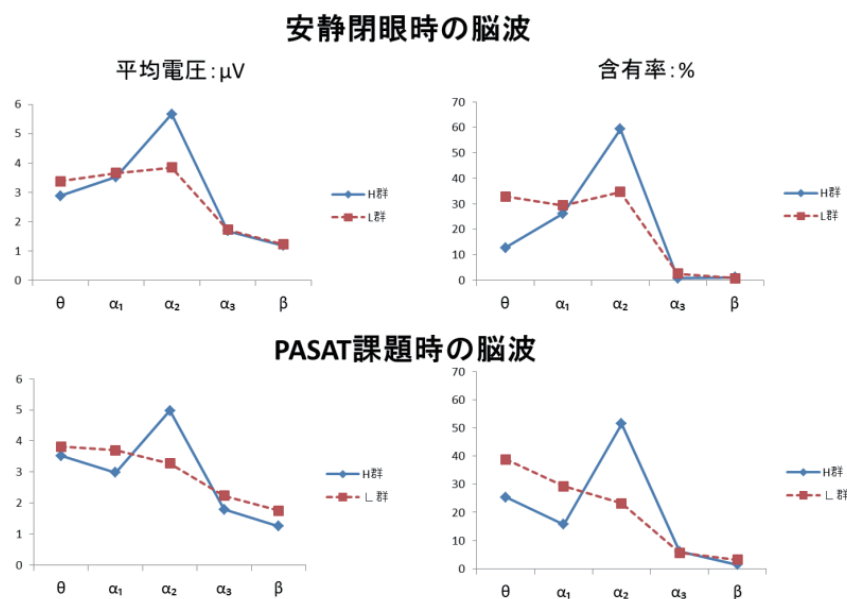


図 4 脳波の平均電圧と含有率 (上:BL, 下: PASAT 遂行時)

率を比較したところ、H 群も L 群も学習することで θ 波が上がり、 α_2 波は下がった。一般的に、視覚刺激時や精神活動時、緊張時には α 波帯域が減少する。しかし、H 群は課題が提示されても閉眼時は優位律動が α_2 波のままであるが、L 群は課題が提示されると優位律動が θ 波に移り、描くプロフィールが異なった (図 2)。

日常場面での行動特徴

L 群の学生は PASAT 課題が難度の高いものとしてとらえている。その学生の日常場面を個々に観たところ、どの学生も大学の試験は通過して来ているものの、他の学生に比して示すように、不注意性が高い、slow learner、聞き返が多い、居眠りが多いなど、ADHD の不注意型¹²⁾ が呈する症状に類似したものが見受けられた (表 3)。

表 3 学生 L 群の日常行動

学生a	slow learner。発話が遅く、話している途中で何を言いたかったかを忘れることがしばしばある。
学生b	不要な教科書を抱いっぱいに持ち歩きながらも、忘れ物が多く、物品管理ができない。
学生c	slow learner。授業中に他のことを考えている様子。見通しが悪く、学習効率が悪い。手際が悪く、整理整頓できない。
学生d	slow learner。発話が遅い。新しい語彙は何度も聞き直す。授業中の居眠りが多い
学生e	感情の抑制がききにくく、衝動性・不注意性が高い。

全体的考察

本研究において、対象学生の安静時と PASAT 遂行時の脳波を測定した。その結果、全対象学生の θ / β 値は定型発達者の閾値内にあった。ところが、PASAT を行った結果、正答率が cut off 値以下の学生が存在した。この学生たちは、脳波の優位律動が安静閉眼時では α 波であるもののプロフィールではあまり明確に現れず、課題遂行時は徐波である θ 波が出現した。課題遂行中も徐波が優位律動になるということは、未熟な脳波、すなわち、脳活動の未熟さが疑われる。もしくは、PASAT の課題は難度が高く、心理的作用により単調な音刺激と

なって覚醒を下げた可能性がある。いずれの学生も単に PASAT の成績が劣っているだけでなく、日常行動で聞き直し、不注意性、slow learner など ADHD の不注意型が呈するような特徴的な行動を示していたのは、こういったところに起因していると推測する。

PASAT は注意機能や作動記憶、情報処理の速度・効率性が要求される課題である。日常の行動や態度面を観察することは必須であるが、このようなツールを活用することで問題の焦点化が可能になり、早期に具体的な対応策が講じられると考察する。このような学生は他の学生に比べて情報処理能力が劣っている傾向があるため、具体的な支援として、例えば、時間を与え簡易なものからスモールステップで正答へ導いていく、覚醒を高くするために教員からの一方通行的な座学ではなく学生自身が考えたり活動するようなアクティブな学びができる授業展開をするなど、日常の教育場面の中で実践していくことが重要であろう。

[引用文献]

- 1) 独立行政法人 日本学生支援機構 (JASSO) : 障害のある学生の修学支援に関する実態調査, 報道関係通達, 2015.
- 2) Nagatani, F et al.: Assessment of BRIEF and Cambridge Neuropsychological test automated battery in young children with AD/HD, inattention type. Journal of Brain Science, Oct:39, 5-21, 2012.
- 3) Castellanos FX., Giedd JN.: Brain morphometry in Tourette's syndrome: the influence of comorbid attention-deficit/hyperactivity disorder, Neurology. Dec:47(6): 1581-3, 1996.
- 4) Daniel G. Amen., Blake D. Carmichael: High-Resolution Brain SPECT Imaging in ADHD. Annals of Clinical Psychiatry., 9, 2, 81-86. 1997.
- 5) Lubar JF, Mann CA, Gross DM: Quantitative

- analysis of EEG in boys with attention-deficit-hyperactivity disorder: controlled study with clinical implications. *Biofeedback Self Regul. Mar*; 17(1): 41-57,1992.
- 6) 大矢崇志, 飯盛健生: AD/HD 児における課題中の脳波測定, 脳と発達 37(suppl): 289-289, 2005.
- 7) 豊倉 穰: 高次脳機能障害の検査と解釈、Paced Auditory Serial Addition Task(PASAT), *Journal of CLINICAL REHABILITATION* 18: 143-147, 2009.
- 8) 松下 太, 菅原 万裕香: NIRS を用いた前頭葉機能検査遂行時の脳賦活の検討 -PASAT の 2 秒条件と 1 秒条件の比較-. 四條畷学園紀要 8, 79-87, 2012.
- 9) 日本高次脳機能障害学会編: 標準注意検査法, 2006.
- 10) 大村一史: 二者同時計測によるインタラクティブなニューロフィードバックシステムの提案, 科学研究費助成事業 研究成果報告書, 2013.
- 11) 文部科学省初等中等教育局特別支援教育課: 通常の学級に在籍する発達障害の可能性のある特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する調査結果について. 2012.
- 12) American Psychiatric Association: Diagnostic and statistical manual of mental disorders fifth edition dsm-5: 日本精神神経学会 監訳: DSM-5 精神疾患の診断・統計マニュアル医学書院. 2014.