

# 原 著 論 文

## 機能的近赤外線分光装置 (fNIRS) を用いた ADHD の研究

庭野賀津子

東北福祉大学

### The Application of Functional Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) in The Study of ADHD

NIWANO Katsuko

Tohoku Fukushi University

#### Abstract

Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) is a non-invasive and low-restrictive functional brain mapping method using near-infrared light. It is widely used as a research and diagnostic aid for mental disorders, dementia, and higher brain dysfunction. In addition, fNIRS can also be used for studies of cognitive development of infants and young children because near-infrared light is absorbed very little by biological substances and heat is hardly generated in principle. In recent years, studies using fNIRS have been conducted in research on neurodevelopmental disorders, and are expected to be biomarkers of neurodevelopmental disorders. If information on brain functions of neurodevelopmental disorders is obtained, it will be used as basic data for providing appropriate support in special education. Therefore, in this paper, the author reviewed previous studies using fNIRS for children with ADHD, which is one of neurodevelopmental disorders. The possibility of applying the knowledge obtained from fNIRS research to special education was discussed.

Keywords : functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), brain mapping, neurodevelopmental disorder, ADHD, special education

#### 1. はじめに

近年、様々な脳機能画像計測法が開発され、医学的診断の目的だけではなく、脳科学や生理心理学の研究にも応用されている。代表的なものとして、CT（コンピューター断層撮影: computed tomography）、PET（陽電子放射断層撮影: positron emission tomography）、fMRI（機能的核磁気共鳴画像: functional magnetic resonance imaging）、SPECT（単光子放射線コンピューター断層撮影: single photon emission computed tomography）、MEG（脳磁図: magnetoencephalography）、fNIRS（機能的近赤外線分光法: functional near infrared spectroscopy）等がある。これらの脳画像検査は、それぞれ、時間分解能と空間分解能の精度や、侵襲性の有無などの違いがあり、臨床や研究の目的に応じて選択される<sup>1)</sup>。

これらの中でも、非侵襲的で被検者の拘束性が低く、比較的簡便に脳の血流動態を計測できる方法として fNIRS があげられる。近赤外光（波長約700～1000nm）は生体の骨や皮膚に対して高い透過性を有するとともに、血中のヘモグロビン（Hb）によって吸収され、その吸収の程度は Hb の酸素化状態によって変化する。この Hb の変化を測定することで、主に頭表から2～3 cmの深さの大脳皮質における脳血流量変化を知ることができる。fNIRS 装置には、近赤外線を照射するプローブと、照射された近赤外線が

頭部内を反射して戻った光を検出するプローブがある。fNIRS 装置は照射プローブと検出プローブの間の酸素化 Hb (oxy-Hb) と脱酸素化 Hb (deoxy-Hb) の濃度、そして oxy-Hb と deoxy-Hb の変化の和である総 Hb (total-Hb) を測定することができる。医療現場では fNIRS は、心臓手術中の脳の酸素飽和度をモニターするなど、生体組織の酸素化状態を直接モニターする<sup>2)</sup>、あるいは、脳外科手術の術前検査として言語優位半球を特定する<sup>3)</sup> などの臨床目的で研究開発されてきたが、脳活動にカップリングした脳血流変化をとらえる脳機能計測を目的とした臨床あるいは研究での応用も進められている。脳活動は、賦活部位の酸素消費の増加とそれを上回る血流の増加を伴うため、oxy-Hb が敏感に神経活動を反映しており、脳活動の指標として oxy-Hb が最も信頼できる指標とされている<sup>4)</sup>。fNIRS は空間分解能が低く、fMRI のように賦活部位を詳細に解剖学的に位置づけることはできないという限界がある一方で、時間分解能が高いため、脳波と同様に脳活動の時間を追った変化をリアルタイムで測定できる。

fNIRS は fMRI と比較して簡便に測定できる上に、低拘束性で、被検者は椅子に着座するなど、日常生活と変わらない自然な姿勢のままで測定することができる事が大きな利点である。また、fMRI では測定中に大きな騒音がするため騒音に対する脳反応への影響も考慮しなければならないが、fNIRS では測定中の装置からの騒音はほとんど生じないという点も利点としてあげられる。fNIRS による脳機能計測は新生児から高齢者まで、ほぼすべての年齢層で可能である。また、fMRI のような特別な測定室を必要とせず通常の室内で測定できるという点も、大きな利点として挙げられる。fNIRS 装置は使用目的や測定チャンネル数によって大きさは様々であるが、ほとんどが可搬式で、装置をベッドサイドなど、被検者の傍へ移動して測定することも可能である。さらに、現行では検査において医療職等の専門の資格を必要としないことから、医学の臨床や研究への応用だけではなく、生理心理学の分野においても活用が進んでいる。

2014年からうつ病の診断と治療に役立つ臨床検査の一つとして、fNIRS を使った検査（光トポグラフィ検査）が厚生労働省に適用を承認され、精神科医療の臨床現場で実用化されている。その他、統合失調症、認知症、高次脳機能障害等の研究においても、fNIRS が用いられている<sup>5)6)</sup>。うつ病や認知症等の精神疾患のある患者は、健常者と比較して、より、環境の変化や閉塞感のある検査室、あるいは検査中の身体拘束に大きな不安を覚えるため、fMRI 検査においてはストレスによる影響が生じる可能性が高い。その点、fNIRS は被検者への心理的・身体的ストレスが少ないため、精神疾患の患者にも適用しやすい。しかし、うつ病患者への検査としての適用は、あくまでも鑑別診断のための補助検査という位置づけであり、先に抑うつ症状への十分な臨床評価が行われている必要がある。現在、臨床現場で行われている検査は言語流暢性課題と言われるもので、前頭葉機能検査として診療において使用されてきた課題を NIRS 測定用に修正したものである。

また、認知症の早期発見のための前頭前野の計測についても注目されている。超高齢社会に突入したわが国では認知症は増加の一途をたどっており、新しい診断技術の開発が求められている。認知症は先に前頭前野機能から障害されることから、前頭前野機能の測定に適した fNIRS による計測は認知症の早期発見の補助的手段となることが期待される。前頭前野機能として、注意集中力、注意配分能力、複数の作業の緊急性・重要性の順序付け、推理・見積り能力、抽象化・具象化能力、感動・鑑賞の能力、高次の意欲などがあげられる<sup>7)</sup>。認知症ではこれらの脳機能が低下していくが、認知症は軽度の状態で発症し、数年をかけて中度、重度と進行していく。そのため、軽度の状態のうちに発見し、認知機能に働きかける脳活性化訓練をすることによって、認知症による脳の萎縮を予防あるいは遅らせることが期待される。その早期発見の手段として、神経心理学的なテストと併用して fNIRS による脳機能計測の試みがなされている。

fNIRS は非侵襲性、低拘束的に脳機能を測定できる上に、近赤外光は生体物質による吸収が非常に少なく、原理的に熱が発生しにくいことから、照射しても生体内の温度を上昇させる心配がない<sup>8)</sup>。また、侵襲性のない fMRI や MEG でもやはり計測中被験者は動くことができず拘束されるため、覚醒状態の乳児

を計測するのは難しい。しかし、fNIRSは前述のように拘束性が低く姿勢の制限も少ない上に、少しの体動であれば計測に影響しないため、覚醒状態の乳幼児を対象とした研究でも多く利用されている<sup>1)</sup>。新生児や乳幼児を対象とした研究では、母親と他人の音声を聞いているときの脳反応の違い、あるいは母親と他人の顔を見ているときの脳反応の違いなど、聴覚刺激や視覚刺激に対する反応を測定する研究など、認知能力の発達に関する研究が行われている<sup>9)10)11)</sup>。fNIRSは乳幼児のコミュニケーション発達、言語獲得、社会的認知発達などの様々な認知機能の発達解明に活用されることが期待される。仰臥位のままでも脳反応を計測できるため、定頸前の乳児では仰臥位で測定することが多い。また、乳児の定頸後は座位の状態で視覚刺激や聴覚刺激を提示し、そのときの脳反応を計測することが可能となる。乳児を対象とするNIRSを用いた実験のデザインでは数秒から数十秒程度の刺激をブロックデザインで提示することが多いが、このようなデザインはfNIRSにおいて実施しやすい方法である。また、fNIRS装置による計測チャンネルの数は、研究目的や研究対象によって変更できるので、乳児には少ないプローブを用いて、負荷の少ないように前額部だけ、あるいは側頭部だけの局所的な測定も可能である。近年は、fNIRS装置の各メーカーとも、乳児の頭部への負担が少ないソフトで軽量なプローブキャップの開発を進めており、チャンネル数が多くとも乳児の脳機能の測定が可能になってきている。そのため、乳児の頭部全体を覆うようにプローブが配置されたホルダーを用い、聴覚刺激や視覚刺激に対して、全頭が時間差で順次反応を起こしている位相を確認した研究も行われている<sup>12)13)</sup>。

また、fNIRSは前述のうつ病患者を対象とした言語流暢性課題のように、発話を伴う課題の遂行中にも脳機能を計測することができる。もちろん、大きな開口や大きく頭部を振るなどの体動によってはアーチファクトが生じるが、開口を小さくする、頭部を動かさない、などの指示を事前に行うことである程度アーチファクトを防ぐことができる。そのため、fNIRSを用いた臨床や研究では、被験者が受け身的に提示刺激を視聴する課題だけではなく自発的に発話をする課題も可能である。庭野<sup>14)</sup>、田邊・庭野<sup>15)</sup>は、諸条件下において被験者が音声言語を表出している間の脳機能計測を行って、脳の賦活部位を特定する研究を行っている。

fNIRSによる測定時の脳の関心領域は研究目的によって異なるが、主に認知能力やワーキングメモリ、注意集中、遂行機能などの前頭前野の機能を見るために、提示刺激が視覚刺激あるいは聴覚刺激であっても、測定部位は前頭前野のみに設定する研究が多くみられる。fNIRSは前頭葉機能の測定に適しており、さらに非侵襲的、低拘束的に脳機能計測を行うことができるため、近年は、神経発達障害の小児を対象とした研究への応用が行われている。神経発達障害は脳機能の障害であることから、fNIRSによって得られる脳機能のデータは、障害の診断の補助となるだけではなく、その後の個別の教育計画や支援計画を策定する上でも有用な参考資料となると考えられる。近年、国内外の脳科学関連の学会や学術雑誌では、発達障害児・者を対象とした脳機能計測による研究が多く発表されている。しかし、残念ながら、それらの脳科学で得られた知見が、特別支援教育の現場には周知されておらず、活かされていない。そこで本稿では、これまでに行われているADHDをはじめとする発達障害のある子どもを対象とした、fNIRSを用いた脳機能計測の研究について概観し、fNIRS研究の特別支援教育への応用について検討する。

## 2. fNIRSを用いたADHDに関する研究

### (1) 発達障害の定義

わが国では、発達障害は「自閉症、アスペルガー症候群その他の広汎性発達障害、学習障害、注意欠陥多動性障害その他これに類する脳機能の障害」と発達障害者支援法で定義されており、文部科学省でもこの法令上の定義にならって、これらの障害を「発達障害」と表記している<sup>16)</sup>。教育現場では、2007年度以降、発達障害も特別支援教育の対象とされているが、その契機となったのが、文部科学省が2003年に全国



の370校の小中学校を対象として行った調査である。その調査では、通常の学級で学ぶ児童生徒のうち、6.3%の子どもが行動面または学習面で発達障害の特性を示す、つまり、発達障害の可能性のある児童生徒が6.3%いるということが示唆される結果となった。その10年後にも同様の調査を実施したが、やはり、6.5%という結果で大きな変化は無かった<sup>17)</sup>。発達障害に見られる学習面での著しい困難や、不注意、多動性・衝動性、対人関係の問題、強いこだわりなどの症状は、脳機能の障害によるものと考えられている<sup>18)</sup>。

わが国で発達障害と定義されている各障害は、DSM-5<sup>19)</sup>における「神経発達障害 (neurodevelopmental disorder)」という発達期に発症する一群の疾患に含まれる。DSM-5の前のバージョンである DSM-IV-TR<sup>20)</sup> では、「通常、幼児期、小児期、または青年期に初めて診断される障害 (Disorders Usually First Diagnosed in Infancy, Childhood, or Adolescence)」の中に、学習障害、広汎性発達障害、ADHD が含まれていた。しかし、DSM-5では「神経発達障害」と位置付けられたことから、発達障害は脳機能の障害であることがより強く示唆されることとなった。その中でも、特に ADHD の研究において、近年 fNIRS を使った研究が多いことから、本稿では ADHD に焦点をあてて検討をしていく。

## (2) ADHD について

ADHD は Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder の略称で、注意欠陥・多動性障害または注意欠如・多動症と和訳されている。ADHD の有病率は就学期児童の3.8%とされており<sup>21)</sup>、そのうちの65%は成人期まで持続し、成人人口における有病率は4%とされている。DSM-5の前のバージョンである DSM-IV-TR では、ADHD は子どもの反社会的・非適応的な問題行動を示す「破壊的行動障害」の一種とされていたが、DSM-5では診断基準が変更され、脳の機能障害による神経発達障害の一つとされた。

DSM-5における ADHD の診断基準では、不注意の症状と多動性・衝動性の症状の、それぞれ9項目合計18項目が列挙されている。不注意、多動性・衝動性の両方またはいずれかの症状のうち6つ以上が6か月以上持続したことがあり、その程度は発達の水準に不相応で、社会的および学業的／職業的に直接、悪影響を及ぼすほどである場合に ADHD の診断基準を満たすことになる。また17歳以上では不注意および／または多動性・衝動性の症状のうち5つ以上該当すれば ADHD と診断される。各症状のうちのいずれかが12歳になる前から存在していることが必要となる。また、重症度の区分として、軽度・中度・重度の区別が設定されている。

これらの症状の具体例として、学童期の ADHD 児の場合、不注意のため帰宅後に宿題があったことを忘れる、多動性のため授業中じっと座ってられない、衝動性のために順番を守らず列に割り込んでしまう、感情の抑制ができずに友人に暴力をふるったりする、などがある<sup>22)</sup>。そのため、対人関係に支障をきたしたり、学業成績に影響が出たりして、学校生活に不応状態となることもあり得る。近年学校現場では不登校児童生徒数が高水準で推移しており、指導上の喫緊の課題となっているが<sup>23)</sup>、その不登校を予防するためにも、学校や家庭で ADHD への正しい理解を持ち、ADHD 児が学校に対する不応を起こさないように適切な対応をすることが肝要である。

## (3) ADHD の行動特性と脳機能の関連

ADHD 児を対象とした fNIRS や脳波など、脳機能計測を用いた研究は多く実施されている。ADHD が示す症状の多く、たとえば、ワーキングメモリの脆弱さや、実行機能の不全、集中力や注意力の欠如、行動抑制の欠如等は、大脳皮質の中でも特に前頭前野の機能不全に起因すると考えられている<sup>18)</sup>。これらの ADHD が示す行動面での症状は ADHD を診断する際の診断基準に該当するが、各行動特性は ADHD のみに見られる特異的な症状とは言えず、他の精神疾患、たとえば自閉症スペクトラム障害 (ASD)、うつ

病、不安障害、強迫性障害などにも見られる。

ADHD の示す行動特性のうち、教育現場では特に反社会的・非適応的な問題行動につながる多動性・衝動性に着目することが多い。たとえば、学校で感情を抑制できずに突然、暴力や暴言を友人や教師に向けるなどの行為が問題視されている。しかし、現在では ADHD の中核的な原因は実行機能障害であるということが多くの研究から示唆されている<sup>24)</sup>。実行機能とは計画性と見通しをもって自己制御をしながら合目的な行動をすることである。そのため、ADHD の特性である多動性・衝動性も実行機能の欠如に起因すると考えられる。

Yasumura et al.<sup>25)</sup> は、ADHD 児の実行機能の一つである干渉抑制機能を調べる課題として、ストループ課題と逆ストループ課題を取りあげ、課題に取り組んでいる時の脳機能を計測した。ADHD 児は障害特性から実験中に体動を起こしやすいため、fNIRS は ADHD 児の脳機能計測に適している。ADHD 児の課題遂行中における前頭前野の脳血流の変化を測定したところ、定型発達児と比較して抑制機能の脆弱性が明らかとなり、右前頭前野の脳活動の低さが影響を及ぼしていることが示唆された。

さらに Yasumura et al.<sup>26)</sup> は、ADHD 児の前頭前野における実行機能の年齢による違いを調べるため、年齢層の違う 2 群の小学生のストループ課題遂行中の脳活動を測定した。その結果、年齢の高低にかかわらず、ADHD 児は定型発達児と比較して、課題遂行中の右前頭前野の賦活が低かった。実行機能の主体を担っている脳部位は前頭前野の中でも、特に背外側前頭前野である<sup>27)</sup>。背外側前頭前野は中央に位置する前頭極をはさんで、左右に存在するが、特に右背外側前頭前野が抑制機能にかかわっていることが知られている<sup>28)</sup>。そのため、抑制課題遂行中の右背外側前頭前野の賦活が低い点が ADHD の特性であり、fNIRS によって ADHD 児が苦手とする行動の抑制を脳機能の面から裏付けることになった。

また、Monden et al.<sup>29)</sup> は、ADHD の子どもたちにおける多動・衝動性に関与する行動抑制機能障害（右前頭前野の低賦活）と、不注意に関与する注意機能障害（右前頭前野と右頭頂葉の低賦活）について fNIRS によって明らかにした。そして、ADHD 児と定型発達児の脳機能を比較したところ、判別精度は感度・特異度ともに 80% 以上を示した<sup>30)</sup>。

#### (4) 薬物療法の治療反応性の確認

2020 年現在、小児 ADHD に対する保険適応承認薬として、メチルフェニデート（商品名コンサータ）、アトモキセチン（商品名ストラテラ）、グアンファシン（商品名インチュニブ）がある。これらはそれぞれ薬理作用が違うが、いずれも ADHD の多動性や衝動性、注意欠如などの症状の改善効果が認められている。近年はこれらの治療薬の服薬後の薬物治療効果判定のために fNIRS が用いられることが多い。辻井<sup>31)</sup> は ADHD 児の言語流暢性課題遂行中の oxy-Hb について、メチルフェニデートの服用前後の比較をした。その結果、服用後の方が脳血流量が増加し、課題の成績も上昇した。また、教師や保護者による対象児の行動観察の結果、服用後に多動性・衝動性が改善され、fNIRS による測定結果と一致した。太田<sup>32)</sup> はアトモキセチンの治療後に ADHD の症状が改善し、さらに fNIRS によって血流動態反応の改善がみられことを確認している。これらの研究より、fNIRS を ADHD のバイオマーカーとして活用し、診断や治療効果判定の客観的指標として用いることができることが示唆された。著者は、薬物療法の治療効果だけでなく、行動療法などの心理療法や、教育現場における環境調整の効果の検証にも fNIRS を使用できる可能性があると考え、ADHD の症状改善は薬物療法だけでは望めない。ADHD 児をほめて自己肯定感を向上させる、得意な課題を与えてやりがいや達成感を体験させる、落ち着いて過ごせるように環境を調整する、などの心理社会的支援が必要である。

### 3. 特別支援教育への応用

以上概観したように、ADHD は脳機能の障害、特に前頭前野の機能障害であるため、fNIRS によって脳機能を測定することにより、ADHD の行動特性を裏付けるデータを得ることができる。fNIRS は、低拘束性、非侵襲性で装置から発する騒音も無いことから、易刺激性があり多動性・衝動性のある ADHD 児においても、計測が難しくはない。また、ADHD 以外の障害、たとえば知的障害児や重症心身障害児の研究でも fNIRS が応用されている。勝二・田原<sup>33)</sup> は、知的障害児の自己決定過程における脳機能を測定し、知的障害児の選択反応が必ずしも試行錯誤を経た結果ではない可能性のあることを確認した。学校教育で推進されている自己決定の指導において、対象児の何等かの選択反応によって安易に自己決定と捉えることの問題を示唆した。また、阿部・勝二・尾崎<sup>34)</sup> は、反応の表出が微弱で不安定な超重度心身障害児の応答を、fNIRS による脳血流動態の解析によって明確化するため、対象児の手掌に接触刺激を与えたところ、脳反応が確認された。このように、fNIRS の活用によって得られた基礎資料が、特別支援教育に対する何らかの脳科学的提言を可能にし、子どもにとって有意義な教育方法の選択につなげられる可能性があると考えられる。

また、発達障害児が様々な学習活動や集団行動を苦手とする理由を脳機能計測で裏付けることにより、子どもに対して無理な指導をすることなく、子どもの特性に配慮した指導が可能となってくるであろう。たとえば、教師からの指示をすぐに忘れてしまったり、宿題の提出が遅れたりする原因が怠惰や不真面目から生じているのではなく、前頭前野機能不全によるワーキングメモリの不足に起因するということを教師が認識していれば、ワーキングメモリに負荷をかけない手立てを講じるであろう。たとえば指示事項を紙に書いて渡す、スケジュール表を作成させる、などの配慮を加えることにより、子どもの苦手なことを改善することができ、学校生活や学習活動に対する意欲が向上すると考えられる。また、注意集中力が弱いことへの理解があれば、易刺激性に配慮し、教室のカラフルな掲示物などの刺激物を減らしたり、対象児の周りの席にはおとなしい性格の児童を座らせたりするなどの、環境調整も行われるであろう。

ADHD は、DSM-5などの診断基準に示されている行動特性と照らし合わせて診断されるため、医師によって見立てに違いが出る可能性も否めない。行動特性から診断するためには、診察室だけではなく学校や家庭、学童保育など、複数の場所での行動を確認する必要があるが、すべての場面での確認をするための十分な情報がなければ、診断に差異が生じやすいと考えられる。その点、バイオマーカーとして fNIRS により脳機能を確認することができれば、ある程度客観的なデータを得やすい。そのため、従来の行動特性に基づく診断に補助的な情報として、脳機能画像計測をして生理学的な裏付けをしていくことが望ましいと考えられる。

近年では成人期の ADHD を対象とした研究も散見されており、成人期 ADHD も着目されるようになった。DSM-IV-TR が DSM-5へ改訂されたことにより、ADHD の症状発症時期が7歳以前から12歳以前に引き上げられ、さらに成人では診断に必要な症状の数を6から5へ減らすなど緩和されたため、成人の ADHD 者もいることが強調された一方、過剰診断の懸念が高まった。成人 ADHD は、注意散漫、集中力低下、課題遂行困難などの症状を示し、自閉症スペクトラム障害、双極性障害、うつ病、不安障害、強迫性障害など他の疾患と誤解されることも多い<sup>21)</sup> ことから、的確な診断方法が望まれる。その一つとして、今後、成人においても、fNIRS の ADHD 診断のバイオマーカーとしての可能性が期待される。

わが国で発達障害が社会的に認知されるようになったのは2004年に発達障害者支援法が制定されてからであり、歴史が浅いため、小児期において ADHD の症状があったにもかかわらず、ADHD と認識されずに成人となった人は多くいるものと考えられる。就学期児童生徒の3～8%は ADHD 児であるとされる一方、成人人口における ADHD の有病率は4%とされている<sup>21)</sup>。成人期 ADHD の前頭葉機能を fNIRS で測定した研究では、前頭領域の血流動態が低下しており、前頭葉機能が低下していることが示され



た<sup>32)</sup>。また、成人 ADHD にアトモキセチンによる薬物治療を行ったところ、ADHD 症状の改善とともに血流動態反応の改善も見られたことから、fNIRS は成人 ADHD 者の治療効果判定にも有効であることが示唆された<sup>32)</sup>。

発達障害者への特別な支援は、就学期間だけではなく、学校卒業後の成人となってもなお必要である。その支援の根拠の一つとして、fNIRS を活用した客観的な脳機能の資料も必要と考える。発達障害は先天的なもので治癒はしないとされている一方、適切な環境や支援によって症状が軽減されることも知られている。発達段階によって必要な支援内容は変わってくるが、周囲が発達障害を正しく理解し適切な支援を展開していくためにも、脳機能計測による客観的な指標に基づく発達障害の適切な診断が望まれる。

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP18K03072 (研究代表者 庭野賀津子) の助成を受けた研究成果の一部である。

## 参考文献

- 1) 庭野賀津子「認知発達研究における脳機能イメージング法－乳児を対象とした近赤外線分光法 (NIRS) の応用－」『東北福祉大学研究紀要』 **37**, 307-318, 2013
- 2) 日本心臓血管麻酔学会「心臓血管麻酔における 近赤外線脳酸素モニターの使用指針」『日本心臓血管麻酔学会学術委員会脳脊髄部門報告』 2017
- 3) 滝沢龍・福田正人「精神疾患の臨床検査としての光トポグラフィー検査 (NIRS) —先進医療「うつ症状の鑑別診断補助」—」『MEDIX』 **53**, 30-35, 2010
- 4) 田村守「光を用いた脳機能イメージング (1)」『臨床脳波』 **44**, 389-397, 2002
- 5) 福田正人『精神疾患の光トポグラフィー検査ガイドブック：NIRS 波形の臨床判読』改訂第 2 版, 中山書店, 2017.
- 6) 石井洋平・小路純央・森田喜一郎・佐藤守・加藤雄輔・中野慎也・近藤昭彦・内村直尚「しりとり課題を用いた単一事象関連デザインによる NIRS 計測 (K-SERD) の試み：健常者と統合失調症患者との比較検討」『臨床神経生理学』 **47** (3), 139-147, 2019
- 7) 志村孚城『近赤外分光法による前頭前野計測：認知症の早期発見とリハビリテーション方法の評価』コロナ社, 2009
- 8) 牧敦「光トポグラフィの点と線 — 脳, そして人間科学へ —」『日立評論』 **88** (5), 440-441, 2006
- 9) Naoi, N., Minagawa-Kawai, Y., Kobayashi, A., Takeuchi, K., Nakamura, K., Yamamoto, J. I., Kojima, S. “Cerebral responses to infant-directed speech and the effect of talker familiarity” *NeuroImage*, **59**, 1735-1744, 2012
- 10) Sulpizio, S., Doi, H., Bornstein, M. H., Cuic, J., Esposito, G., Hinohara, K. “fNIRS reveals enhanced brain activation to female (versus male) infant directed speech (relative to adult directed speech) in Young Human Infants” *Infant Behavior and Development*, **52**, 89-96, 2018
- 11) Minagawa-Kawai, Y., Mori, K., Hebden, J.C., Dupoux, E. “Optical imaging of infants' neurocognitive development: Recent advances and perspectives” *Developmental Neurobiology*, **68**, 712-728, 2008
- 12) Homae, F., Watanabe, H., Nakano T., Taga, T., “Large-scale brain networks underlying language acquisition in early infancy” *Frontiers in Psychology*, **2** (93), 1-14, 2011
- 13) Taga, G., Watanabe, H., Homae, F. “Neural processing of repetition and non-repetition grammars in 7- and 9-month-old infants” *Frontiers in Psychology*, **2** (168), 1-8, 2011
- 14) 庭野賀津子・田邊素子・窪田美穂子・佐藤洋介・坪川宏「若年成人の対乳児発話表出時における脳反

応：近赤外線分光法による検討」『感性福祉研究所年報』15, 221-230, 2014

- 15) 田邊素子・庭野賀津子「乳児の表情認知および対乳児発話表出時における若年成人の前頭前皮質の活動：近赤外線分光法による性差の検討」『東北福祉大学研究紀要』39, 145-154, 2015
- 16) 文部科学省「『発達障害』の用語の使用について」2007 [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/tokubetu/main/002.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/main/002.htm) 最終閲覧日2020/2/13
- 17) 文部科学省「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  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/tokubetu/material/\\_icsFiles/afieldfile/2012/12/10/1328729\\_01.pdf](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/material/_icsFiles/afieldfile/2012/12/10/1328729_01.pdf) 最終閲覧日2020/2/13
- 18) 庭野賀津子『特別支援教育支援員ハンドブック』日本文化科学社, 2010
- 19) American Psychiatric Association : *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition; DSM- V*, American Psychiatric Association, Washington, DC., 2013
- 20) American Psychiatric Association: *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition, Text Revision; DSM- IV -TR*, American Psychiatric Association, Washington, DC., 2000
- 21) 板垣俊太郎「発達障害における Mismatch Negativity (MMN) と脳画像解析の統合の試み」『臨床神経生理学』47 (5), 384, 2019
- 22) 榊原洋一『図解よくわかる ADHD』ナツメ社, 2008
- 23) 文部科学省「不登校児童生徒への支援の在り方について（通知）」令和元年10月25日, 2019  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/seitoshidou/1422155.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/seitoshidou/1422155.htm). 最終閲覧日 2020/2/13.
- 24) 安村明・高橋純一・福田亜矢子・中川栄二・稲垣真澄「ADHD 児における実行機能の検討：干渉抑制機能の観点から」『認知神経科学』16 (3-4), 171-177, 2015
- 25) Yasumura, A., Kokubo, N., Yamamoto, H., Yasumura, Y., Nakagawa, E., Kaga, M., Hiraki, K., Inagaki, M. "Neurobehavioral and hemodynamic evaluation of Stroop and reverse Stroop interference in children with attention-deficit/hyperactivity disorder" *Brain & Development*, 36, 97-106, 2014
- 26) Yasumura, A., Omori, M., Fukuda, A., Takahashi, J., Yasumura, Y., Nakagawa, E., Koike, T., Yamashita, Y., Miyajima, T., Koeda, T., Aihara, M., Inagaki, M. "Age-related differences in frontal lobe function in children with ADHD" *Brain & Development*, 41, 577-586, 2019
- 27) 山口修平「遂行機能障害と前頭葉ネットワーク」『認知神経科学』10 (3-4), 284-289, 2008
- 28) Aron, A.R., Robbins, T.W., Poldrack, R.A. "Inhibition and the right inferior frontal cortex" *Trends in Cognitive Sciences*, 8 (4), 170-177. 2004
- 29) Monden, Y., Dan, H., Nagashima, M., Dan, I., Kyutoku, Y., Okamoto, M., Yamagata, T., Momoi, M.Y., Watanabe, E. "Clinically-oriented monitoring of acute effects of methylphenidate on cerebral hemodynamics in ADHD children using fNIRS" *Clinical Neurophysiology*, 123 (6), 1147-1157. 2012
- 30) Monden, Y., Dan, H., Nagashima, M., Dan, I., Kyutoku, Y., Okamoto, M., Yamagata, T., Momoi, M.Y., Watanabe, E., "Individual classification of ADHD children by right prefrontal hemodynamic responses during a go/no-go task as assessed by fNIRS" *NeuroImage Clinical*, 9, 1-12, 2015
- 31) 辻井農亜「ADHD に対する塩酸 methylphenidate の効果」『児童精神医学とその近接領域』51, 164-172, 2010
- 32) 太田豊作「成人期注意欠如・多動症 (ADHD) の近赤外線スペクトロスコピー (NIRS)」『臨床神経生理学』47 (5), 384, 2019
- 33) 勝二博亮・田原敬「知的障害児の自己決定過程に関わる神経生理学的アプローチ」『臨床神経生理学』



47 (5), 389, 2019

- 34) 阿部友子・勝二博亮・尾崎久記「近赤外線光トポグラフィによる超重症児の触感覚受容評価」『茨城大学教育学部紀要』 68, 207-215, 2019