

# 注意欠如・多動症の支援に脳科学の知見を活かす

庭 野 賀津子<sup>1), 2)</sup>

神経発達症には何らかの脳機能障害があると考えられている。近年、さまざまな脳機能画像計測法が開発されており、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るようになってきた。そのため、脳機能計測を用いた神経発達症の神経基盤を解明する研究がこれまでに多くなされてきている。しかし、脳機能計測によって得られた神経発達症の脳科学的知見が特別支援教育の現場に活かされる機会は少ない。そこで、本稿では神経発達症の中でも特に注意欠如・多動症（ADHD）に焦点をあて、近年の脳科学におけるADHDの研究成果を紹介し、ADHDの理解と支援に脳科学の知見をどう活かしていくか、その可能性を検討する。

キーワード：脳科学、神経発達症、機能的近赤外線分光法（fNIRS）、注意欠如・多動症（ADHD）、トリプル・パスイ・モデル

## 1. はじめに

我が国では平成17年（2005年）に発達障害者支援法が制定され、平成19年（2007年）より特別支援教育が本格的に実施されたのに伴い、発達障害の認知度が高まった。教育現場は元より広く一般社会において、発達障害への理解や支援が進んできている。しかし、発達障害の行動面での特性や困難さ、そして特別な支援の必要性は理解されるようになって、発達障害の脳内における高度処理機構の獲得における障害については、まだ十分な理解が得られていないのではないだろうか。Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders（DSM：精神障害の診断と統計マニュアル）の第5版であるDSM-5（American Psychiatric Association, 2013）より、発達障害は、Neurodevelopmental Disorders（神経発達症）という名称となり、脳機能に何らかの障害があることがより強く示唆されることとなった。神経発達症の一つであるAttention-Deficit/Hyperactivity Disorder（ADHD）は、不注意、多動性、衝動性を中核症状とする。このADHDの診断は、対象者の行動特性と、診断マニ

---

1) 東北福祉大学大学院教育学研究科

2) 東北福祉大学教育・教職センター特別支援教育研究室

アルに記載されてある診断基準の症状とを照らし合わせ、さらに発達歴を含めたさまざまな情報をもとに総合的に判断されることが多い。一方で、ADHDの生物学的研究が、神経心理学、神経解剖学、神経生理学、神経薬理学、遺伝学などさまざまな見地から行われており、多くの知見が発表されている。著者が参加する神経科学会、臨床神経生理学会、小児精神神経学会等でも、脳機能計測によるADHDに関する研究発表が年々増加しており、活発な議論が展開されている。しかし、脳科学的なアプローチを基にした研究は、わが国の特別支援教育関連の学会ではほとんど発表されておらず、また、特別支援教育の現場で脳科学の知見はほとんど活かされていない。著者は、脳科学から得られる障害に関する知見は障害のアセスメントや理解に役立ち、延いては子どもたちへの適切な支援につながるものと考えている。そこで本稿では、脳科学を用いたADHDに関する国内外の研究を総説し、特別支援教育への応用について検討する。

なお、DSM-5における用語の日本語訳についてであるが、disorderについては、児童青年期の疾患においては「障害」とせずに「症」とすることが日本精神神経学会精神科病名検討連絡会（2014）において提案された。「障害」とすると、不可逆的な状態にあると誤解され、児童や親に大きな衝撃を与えることになる、ということが主な理由である。その一方で、それまで「発達障害」という名称が診断名として定着していたことから、「神経発達症／神経発達障害」のようにスラッシュで「障害」を併記する方法も提案された。同様に、神経発達症に含まれるAutism Spectrum Disorder（ASD）や、Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder（ADHD）もそれぞれ日本語の表記では「自閉スペクトラム症／自閉症スペクトラム障害」「注意欠如・多動症／注意欠如・多動性障害」のように併記されることがある。本稿では障害名に関しては「～障害」ではなく「～症」に統一して論じていきたい。また、特別支援教育においては現在も「発達障害」という用語が用いられているが、本稿では脳科学の見地から検討を進めるため「神経発達症」とする。

## 2. 前頭葉機能とADHDの症状

人の脳は大腦・小脳・脳幹によって構成されており、さらに細分化された部位別に異なる機能を担っている。脳については未だ解明されていない事が多いが、特定の領域が特定の機能を担うという「脳機能局在論」には多くの脳科学研究によるエビデンスがある。霊長類の大腦は高次の機能を担っていて他の動物と比較して大きく発達しており、人においては特に前頭葉の発達が顕著である。前頭葉は、前方から後方へ向けて、前頭前野、高次運動野、一次運動野の3領域に分けられる。前頭前野は、実行機能、ワーキングメモリ、自発性、意思決定、自己制御、注意集中、社会性等の重要な役割を担っており、人を人たらしめる最高中枢とされている。DSM-5におけるADHD診断基準の症状として挙げられている「綿密に注

意をすることができない」「不注意な間違いをする」「課題や活動を順序だてることが困難である」「日々の活動を忘れやすい」等は、前頭前野の機能と関連していることから、ADHDの脳内責任部位の一つが前頭前野であり、ADHDの行動特性の多くが、前頭前野の機能不全によるものとする見方が多い（庭野，2010；庭野，2020）。

そのため、持続的な注意力や集中力を要するストループ課題のような作業課題を与え、課題遂行中に脳機能計測を行ったところ、定型発達者と比較してADHD者の前頭前野の賦活が優位に低下していることが確認された（Bush et al., 1999）。脳の発達 は全体が連動して発達するのではなく、領域ごとに発達の速度が異なることが知られている。各脳領域の中でも特に前頭前野の発達は遅く、ほぼ完成するのは20歳前後とされている。しかし、神経発達症があるとさらに前頭前野の発達が年齢相当の発達段階に比して顕著に遅く、前頭前野が担う諸機能の不全によってさまざまな不適応が起こっていると考えられる。

神経発達症の中でも、特にADHDにおいては、実行機能の問題が指摘されることが多い。実行機能とは、計画的に物事を遂行するために、論理的に考えて順序だてて準備を進めたり、時間的な見通しを持ったりしながら、物事をやり遂げる力を指す。ADHDのある子どもは、しばしば宿題を忘れたり、宿題があることを覚えていても締め切りに間に合わせることができなかつたりすることがある。ADHDの成人の場合も、出勤時間や取引先との約束の時間に間に合わない、忘れ物や失くし物をする、部屋の片づけができない、状況を把握して臨機応変に判断したり行動をとったりすることができない、という、いわゆる「段取りの悪さ」が生じる。神経発達症を有していても、幼少期からの失敗経験を基に自分なりの改善策や対応策を身に着けて、成人になるまでに症状が軽減していることも多いが、多くの失敗経験から自己評価が低下してしまうと、自信や意欲を喪失したり、うつ的な傾向になったりするなどの精神的な問題が生じることもある。

ADHDの脳の構造画像からは脳の機能障害を呈するような責任病巣が明確にみられるわけではないが、事故や疾患により前頭前野に何等かの損傷を受けた患者に診られる高次脳機能障害と、ADHD児・者の行動特性に類似する点が見出されるため（Levin et al., 2007）、ADHDの行動特性と前頭前野の機能不全との関連が示唆されている。また、ADHD児の前頭前野の成熟の遅れは、脳の体積の研究でも裏付けられている。ADHD児と定型発達児の脳の部位ごとの体積をMRIで調べた結果、ADHD児は定型発達児と比較して、前頭前野を始め、脳の多くの部位で体積が小さかった（Frodl & Skokauskas, 2012）。そのことから、ADHD児の脳は定型発達児と比較して成熟が遅延していると考えられている。

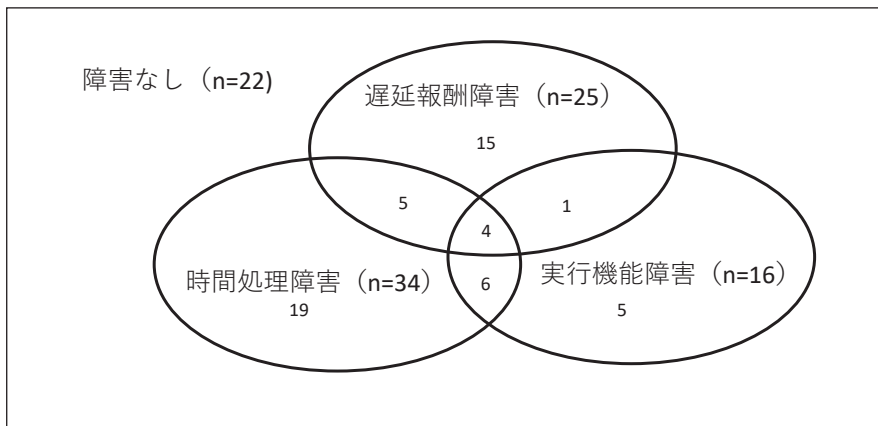
### 3. トリプル・パスウェイ・モデル

神経発達症の神経基盤の解明が進み、前頭前野だけではなく、さらに他の領域における障

害もあることがこれまでの研究で明らかになってきた。Dicksteinら（2006）は、機能的磁気共鳴機能画像法（Functional magnetic resonance imaging：fMRI）と陽電子放射断層撮影（Positron Emission Tomography：PET）を用いて、ADHD者の実行機能課題遂行時の脳活動を調べた。その結果、ADHD者は定型発達者と比較して、前頭前野の機能の低下だけではなく、前頭皮質－線条体及び前頭皮質－頭頂野の神経回路の活性が有意に低下していることを明らかにした。さらに基底核や頭頂皮質での有意な賦活の低下もみられ、脳の広範囲にわたる機能不全が示唆された。

ADHDの行動を観察すると、実行機能の障害だけではなく、先を見通して今は我慢をするというような状況、たとえば、将来欲しいものを手に入れるために今手元にあるお金は使わずに貯金しておく、というような報酬を先延ばしにすることが苦手であるという特性もみられる。そのため、Sonuga-Barke（2003）はADHDには実行機能の障害と報酬系の障害の、2つの障害があるとする、Dual Pathway Modelを提唱した。脳内で報酬を報酬として受容し、情報処理する領域は報酬系と呼ばれる。報酬系にかかわる領域は一部位ではなく、複数の部位が報酬系に含まれている。その中でも、特に、腹側被蓋のドーパミン細胞から側坐核に投射する繊維が確認されており、腹側被蓋と側坐核の報酬系への関与が快の情動にかかわっており、薬物依存等、さまざまな依存症との関連性が指摘されている（Aharon, et al., 2001; Berns, et al., 2001）。側坐核は感情的な行動抑制にもかかわっているとされ、側坐核が正常に機能することにより、望ましい行動を学習して記憶し、継続することにもつながると考えられている。さらに、ADHD者の時間管理能力の不足は、小脳の働きと関連があるとされている。小脳は従来運動の制御にかかわるとされてきたが、近年の研究により、情動の制御や計画立案、そして、時間的な見通しにも関与していることが明らかとなった。このようにADHD者の行動特性には前頭前野だけではなく脳の広範囲にわたる機能が関与していると考えることによって、ADHD者の行動の理解につながるものと考えられる。

さらにSonuga-Barkeら（2010）は以前、自身が提唱していたDual Pathway Modelを改め、ADHD者の行動特性は、前頭前野の実行機能の障害、報酬系の障害、小脳の抑制機能の障害の3障害が相互に関与しあうとする、Triple Pathway Modelを提唱した。Sonuga-Barkeら（2010）はADHD患者71名について、遅延報酬障害、実行機能障害、時間処理障害を有する人数を調査した。結果より、3つの障害をすべて合わせ有する人は全体の約5%であり、あとは3つのうちの1つ、あるいは2つを有しているという結果であった。その結果の概念図を図1に示す。また、ここで注目すべき点は、この3つのいずれも有していないADHD患者も約30%いるということである。ADHD者の行動特性は個人差が大きく、皆一様ではない。そのことを支援者は念頭に置いておく必要がある。



Sonuga-Barke et al. (2010)を基に作成

図1 ADHD患者 (n=71) の3つの障害の割合

また、人の脳の研究では、何かの課題に取り組んでいるときの脳活動ではなく、安静にしているときの脳の状態に着目した研究も行われている。脳は安静の状態でも無意識のうちに活動が続けており、この安静状態時に活動している全脳的なネットワークをDefault Mode Network (DMN) と呼ぶ (Raichle et al., 2001)。人は一般的に、安静状態から目的を持った活動に取り掛かる際に、脳内でその活動に向けた切り替えが起こる。安静状態においても脳の部位間が機能的に結合し、default-mode、いわゆるアイドリング状態になっているために、活動を起こすときにはスムーズに切り替えができると考えられる (Buckner et al., 2008)。ところがADHD者は定型発達者と比較して、DMNの脳の部位間の機能的な結合が低下しているため、安静時から活動への移行が困難となり、課題に取り組むまでに時間がかかったり、あるいは課題に取り組み始めても課題に集中できずに他のことを考えてしまったりする。さらに、このDMNの弱さと、ADHD児の大脳皮質の発達が定型発達児より遅いことにより、思春期のADHD児が前頭前野による抑制機能がうまく働かずにゲーム依存に陥りやすいことも指摘されている (Lee et al., 2017)。このように、ADHD者の行動特性を理解する上で、課題遂行中の脳の賦活だけではなく、安静時におけるDMNについても理解することが必要であろう。

#### 4. fNIRSを用いた検討

神経科学の分野では脳機能の測定や脳科学的な解明の研究を行う際、脳内の生物学的要因や薬物の効果の確認のために実験動物の脳を使うことが多い。しかし、人の脳で確認を行う場合は、できるかぎり非侵襲的な脳機能計測を用いる必要がある。その方法の一つとして、近年注目されているのが、機能的近赤外線分光法 (functional near-infrared spectroscopy:



fNIRS)である。fNIRSは、非侵襲的で被検者の拘束性も低く、比較的簡易に大脳皮質の賦活の様子を計測することができる。そのため、新生児の脳血流を測定することも可能である(庭野, 2013)。fNIRSは近赤外光(波長約700~1000nm)を頭皮に照射し、大脳皮質の血流動態を計測する。近赤外光は生体の骨や皮膚に対して高い透過性を持つとともに、赤外線のように熱を発生する心配がほとんどないため、医療目的だけではなく脳科学、生理心理学の研究においても幅広く応用されている。被検者はfNIRS装置の光ファイバーの長さの範囲内で多少の行動は可能なため、刺激動画の視聴や、計算ドリルへの取組等、課題に取り組んでいるときの大脳皮質の賦活を調べる事が可能である。また、近年は軽量小型化し、被検者が移動しながら計測できるタイプの装置もある。

医療現場における臨床研究では、ADHD児の薬物治療反応性の確認のためにfNIRSを用いた症例報告がなされている。2020年現在、ADHD治療薬として保険適応となっている薬は、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)、guanfacine(商品名インチュニブ)、lisdexamfetamine(商品名:ビバンセ)の4種類である。これらはそれぞれ、異なる薬理作用を持つため症状に応じて医師が選択・処方するが、いずれもADHD児の注意欠如や、多動性・衝動性の改善効果が認められている。辻井(2010)は、ADHD児にメチルフェニデートの服用前後に言語流暢性課題を実施し、課題遂行中の脳活動をfNIRSで計測したところ、服用後の方が有意に脳が賦活するとともに、課題の成績も向上したことを確認した。また、太田(2019)は同様にアトモキセチンの服用前後に課題遂行中の脳活動をfNIRSで計測し、服用後の方が脳の賦活が上昇するとともに成績も向上したことを確認した。

その他、fNIRSをADHDのバイオマーカーとして活用しようとする動きも出ている。現在はADHDの診断は家族や教師等からの情報や医師による行動観察や発達歴を基に、診断基準と照らし合わせて総合的に判断をする。しかし、行動の観察においては主観が入ったり、あるいは環境に左右されたりする可能性もあり、また、成人の診断においては幼少時の発達歴の情報が正確ではなかったりするなど、正確な診断が困難であることも多い。そこで、脳機能計測をバイオマーカーとすることにより客観的な指標を得ようとするものである。既にfNIRSを診断の補助とすることは、精神科領域ではうつ病等の診断において承認されており、今後ADHD者に対してもfNIRSによる診断の妥当性が検証されれば、使用可能になるであろう。

ADHDの診断基準がDSM-IVからDSM-5への改訂で変更されたことにより、診断に必要な発症確認年齢が7歳から12歳に引き上げられ、さらに、成人ADHD者の診断においては、診断基準のうち診断に必要な項目数が7項目から6項目へと減らされたことにより、成人ADHDの有病率が高くなる可能性もあり、過診断の恐れも否めない。そのため、適切な診断・

治療のためには、客観的な指標も補助的に使用することが今後の課題になると考えられる。今後のさらなる脳機能画像診断を用いたADHDの研究成果に期待したい。

## 5. 脳科学による知見の特別支援教育への応用

以上概観したように、ADHDは脳機能の障害であることが示唆されており、脳機能計測によってADHDの行動特性を裏付けることが可能であると考えられる。特にfNIRSは非侵襲的であり簡便に計測ができるため、小児を対象として測定することも可能である。前項では薬物治療の効果判定での応用について述べたが、ADHD児の行動改善には薬物治療だけではなく、さまざまな支援的介入、たとえば学校や家庭の環境調整、教師の指導法や親の養育態度の改善も大きく影響する。そのため、薬物治療の前後だけではなく、支援の介入前後においてADHD児の脳機能の計測を行うことにより、支援効果の確認にもつながるのではないかと考えられる。

また、さまざまな脳科学の知見から、ADHDの行動上の障害の生物学的要因を知ることにより、過度な指導や注意叱責を減らせるのではないかと考える。著者がこれまで臨床で対応してきたある施設の児童の中には、衝動的な逸脱行動のあとで、なぜ自分がそのような行動を取ったかの理由について「何者かが自分の中に入り込んできて勝手に僕の手足を動かすんだ」と表現していたことがあった。それを聞いた施設の職員が「適当な言い訳をしている」と疑っている様子だったが、当事者にすれば自己制御ができない状態は、実際に他者から操られているように感じられ、途方に暮れた思いをしているものと思われる。脳による制御機能が働かず自己制御が不能な状態は、それほどまでに辛いことなのだと、当事者から教えられた事例であった。また、ADHD者の中で、ゲーム依存となりゲームをやめることのできない者や、時間を守ることのできない者等も、単に本人の性格や意志の問題だけではなく、脳機能の不全から起こっていると理解することで、厳しく指導をすれば改善されるものではない、という支援者の理解につながるであろう。

そして、そのような生物学的要因を理解した上で、具体的な改善策を当事者へ指導する、あるいは一緒に考えるという支援が必要である。学校で45分間の授業中ずっと着座が続けるのが難しい場合には短時間から少しずつ着座可能な時間を増やしていく、計画的に物事を遂行することができない者に対しては無理のない実行可能なスケジュールの立て方を指導する、忘れ物をする者には持ち物のチェックリストを参照しやすい形に工夫しながら一緒に作るなど、計画的にスモールステップを踏みながら根気強く指導を重ねていくことが必要と考える。

神経発達症者への支援は、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なケースが多い。しかし、神経発達症は完全に治癒はしないとされる一方で、適切な支

援や本人の努力により症状を軽減することは可能である。そのためにも、周囲の理解や支援は必要であり、支援の根拠の一つとして脳機能計測による客観的な指標に基づく神経発達症の適切な支援をしていくことが必要と考える。そして、「障害」というよりも、脳のある部分が「未発達」「未成熟」という捉え方をして、脳の発達や成熟を待つ、そしてその発達を促進するために根気強く支援を継続していくという姿勢が必要だと考える。

また、ADHD者のすべてが全く同じ症状を示す訳ではなく、個人によって多様な症状が見られるため、個性が豊かであるということも、支援をしていく上で大事な視点である。たとえば、前述のTriple Pathwayの実行機能障害、遅延報酬障害、時間処理障害のすべてが同じようにADHD者に現れるわけではない。ADHD者であっても、計画的に物事を遂行できる人も多いし、また、日常的に時間処理がうまく行かない傾向にあっても、毎回、遅刻をしたり提出物が遅れたりする訳ではない。活動の切り替えの苦手がDMNの機能的結合の弱さに起因しているとしても、興味関心の高い活動に対してはスムーズに取り組む姿が見られる。そのため、ADHD者の脳機能を画一的にとらえる事なく、一人一人違う、あるいは状況によって異なる、という前提で考えなければならない。

ADHD児に苦手なことがあったり、何かにつまずきが生じたりしたときに、今この子の脳内で何が起きているのか、どのような支援や教育がこの子の脳の発達に良い影響を与えるのか、という脳科学の視点から「この子」の障害の特性を理解し、適切な支援のあり方を検討する姿勢が肝要である。脳には可塑性があり、子どもの脳機能の発達や変化が行動面の改善に良い影響をもたらすという知識があれば、保護者や教師は焦らずに脳の成熟を待つという姿勢を持つことができる。また、脳の発達に良い環境づくり、たとえば、規則正しい生活をさせて睡眠時間を十分に確保する、脳の発育に良い栄養のある食事をとらせる、脳が活性化するようにやる気を起こさせるような声かけをする、などの必要な配慮にも気づくであろう。

人の脳機能はまだ解明されていない部分が多く、脳科学ですべてを解決することはできない。神経発達症の理解に限らず、私たちは、人の行動を理解するとき、その人の生物学的要因だけではなく、心理学的要因と社会的要因（環境等）も併せて理解しなければならない。しかしそれでもなお、脳科学によって得られる知見は多くの情報を提供し、われわれの神経発達症の理解を助け、教育や臨床に寄与していく可能性がある。今後のさらなる脳科学における神経発達症研究の発展に期待したい。

## 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。



## 引用文献

- Aharon, I., Etcoff, N., Ariely, D., Chabris, C. F., O'Connor, E., & Breiter, H. C. (2001) Beautiful faces have variable reward value: fMRI and behavioral evidence. *Neuron*, 32(8), 537-551.
- American Psychiatric Association (2013) Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, fifth edition (DSM-5). American Psychiatric Publishing, Washington, DC.
- Berns, G. S., McClure, S. M., Pagnoni, G., & Montague, P. R. (2001) Predictability modulates human brain response to reward. *Journal of Neuroscience*, 21, 2793-2798.
- Buckner, R., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L., (2008) The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 1-38.
- Bush, G., Frazier, J. A., Rauch, S. L., Seidman, L. J., Whalen, P. J., Jenike, M. A., Rosen, B. R., & Biederman, J. (1999) Anterior cingulate cortex dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the counting Stroop. *Biological Psychiatry*, 45(12), 1542-1552.
- Dickstein, S. G., Bannon, K., Castellanos, F. X., & Milham, M. P. (2006) The neural correlates of attention deficit hyperactivity disorder: An ALE meta-analysis. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47, 1051-1062.
- Frodl, T. & Skokauskas, N. (2012) Meta-analysis of structural MRI studies in children and adults with attention deficit hyperactivity disorder indicates treatment. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 125, 114-126.
- Lee, D., Lee, J., Lee, J. E., & Jung, Y. (2017) Altered functional connectivity in default mode network in Internetgaming disorder: Influence of childhood ADHD. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 75, 135-141.
- Levin, H., Hanten, G., Max, M., Li, X., Swank, P., Ewing-Cobbs, L., Dennis, M., Menefee, D., & Schachar, R. (2007) Symptoms of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 28(2), 108-118.
- 日本精神神経学会精神科病名検討連絡会 (2014) DSM-5 病名・用語翻訳ガイドライン (初版). 精神神経学雑誌, 116(6), 429-457.
- 庭野賀津子 (2010) 特別支援教育支援員ハンドブック. 日本文化科学社, 2010.
- 庭野賀津子 (2013) 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.
- 庭野賀津子 (2020) 機能的近赤外線分光法 (fNIRS) を用いた ADHD の研究. 感性福祉研究所年報, 21, 3-11.
- 太田豊作 (2019) 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.

- Raichle, M. E., Macleod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001) A default mode of brain function. *PNAS*, 98(2), 676-682.
- Sonuga-Barke, E. (2003) The dual pathway model of AD/HD: an elaboration of neuro-developmental characteristics. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 27, 593–604.
- Sonuga-Barke, E., Bitsakou, P. & Thompson, M. (2010) Beyond the dual pathway model: Evidence for the dissociation of timing, inhibitory, and delay-related impairments in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 9, 345-355.
- 辻井農亜 (2010) 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.