

# 脳性麻痺児の実行機能特性と脳病理の関連

葉 石 光 一 埼玉大学教育学部特別支援教育講座

キーワード：肢体不自由、実行機能、脳病理

## 1. はじめに

脳性麻痺とは、「病気の名称ではなく、一定の定義のうえに成り立つ脳性運動障害の集まり」(吉橋, 2005)を指す言葉である。脳性麻痺の本邦での定義としては、1968年に厚生省脳性麻痺研究会で定められたものがある。この定義は「脳性麻痺とは受胎から新生児期(生後4週間以内)までの間に生じた脳の非進行性病変に基づく、永続的なしこしこ変化する運動および姿勢の異常である。その症状は満2歳までに発現する。進行性疾患や一過性運動障害または将来正常化するであろうと思われる運動発達遅延は除外する。」(近藤, 2014)というものである。また国際的には、2004年にアメリカ合衆国メリーランド州のベセスダで開催された脳性麻痺の定義と分類に関する国際ワークショップで確認された定義に基づくものとして「脳性麻痺は運動と姿勢の発達の永続的な障害(disorders)をもつ一群を指す。この障害は胎児ないし新生児の発達途上の脳に生じた非進行性の障害(disturbances)に起因し、活動の制限をもたらす。脳性麻痺による運動障害(disorders)には、しばしば、感覚、知覚、認知、コミュニケーションおよび行動の障害(disturbances)、てんかん、二次的な骨格筋系の問題が伴う。」(Rosenbaum, Paneth, Leviton, Goldstein, and Bax, 2007)といったものがある。いずれの定義にも共通して示されているように、脳性麻痺には何らかの脳障害が存在する。それに伴う心理機能の問題が生じると考えられるが、脳性麻痺にはサブタイプがあり、それぞれに脳障害の状態に違いがあるため、脳性麻痺者の心理機能をそういった考慮なしに一概に論じることはできない。そのため、障害の原因となっている脳病理と心理特性、行動特性との関連を明らかにしていくことは、脳性麻痺者の教育支援を考える上で、重要な課題のひとつといえよう。本研究では、脳の構造と機能を対応づける測定技術の近年の進歩に伴って蓄積され始めている、脳性麻痺の脳病理と心理特性との関連について、知見を概観する。

本研究では、特に人の認知・行動を方向付ける実行機能と脳性麻痺の病理との関連に着目する。近年、脳性麻痺者において、日常生活上の実行機能の問題と認知的な実行機能課題の成績の低さとが関連しているといった指摘(Whittingham, Bodimeade, Lloyd, and Boyd, 2014)が見られ始めるなど、脳性麻痺者の実行機能に関する研究の蓄積が進みつつある。脳性麻痺者においてこれまでに指摘されてきた心理・行動特性、例えば転導性、抑制困難、固執性(川間, 2014)といったことがらについては、実行機能の問題との関連が推測される場所であるが、現在のところ、本邦では脳性麻痺者にみられる心理・行動上の問題と実行機能の関連が積極的に論じられている状況とは言えない。そこで本研究では、脳性麻痺者に対する教育支援を考察する上での基礎的資料としうよう、脳性麻痺者の実行機能の問題に関する知見を概観・整理することを目的とする。なお、実行機能に限らず心理機能の問題の理解においては、その影響要因として少なくとも環境的なものと生物学的なものとの二側面を考慮しておく必要がある。脳性麻痺者については、前述の通り、

その原因に脳障害が関与している。そのため本研究では、脳性麻痺者の実行機能の問題を、背景にある脳の病理と関連づけて論じている研究に着目して知見を概観する。

## 2. 脳性麻痺と実行機能

### 2-1 実行機能の神経基盤とその発達

実行機能は、進行中の目的指向的行動の基礎をなす複雑な認知諸過程の総称である (Best and Miller, 2010; Meltzer, 2007)。考えられる認知過程としては、①目標の設定とプランニング、②時間にそった行動の組織化、③柔軟性、④これら諸過程を導く注意と記憶のシステム (例えばワーキングメモリ)、⑤セルフモニタリングなどの自己調整過程 (Meltzer, 2007) が指摘されている。実行機能の下位機能については、①切り替え (shifting: 心的構えの切り替え)、②アップデートイング (updating: ワーキングメモリの情報の更新とモニタリング)、③抑制 (inhibition: 優勢反応の抑制) からなる Miyake らのモデル (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter and Wager, 2000) がよく知られている。現在、このモデルには修正が加えられている (Miyake and Friedman, 2012) が、実行機能に関する多くの研究が Miyake らの 2000 年のモデルを参考にしており、以下にこのモデルに基づいて実行機能の神経基盤を概観する。

#### (1) 実行機能と前頭前野

一般に、実行機能は、目的にそって認知や行動をコントロールする機能とされる。実行機能の働きは、生物学的には、大脳皮質の連合野である前頭前野 (Pre Frontal Cortex: PFC) と深く関連している。前頭前野 (PFC) は人の大脳皮質の 3 分の 1 を占め、その働きについては、「関連する知識を表象することにより、思考、感情、行為を導く」 (Lightbourne, and Arnsten, 2017) こととされる。上述の実行機能の三つの下位機能と結びつけて言えば、認知・行動のプランニング、プランの実行プロセスにおける抑制と切り替えを支える表象を作り出す機能が前頭前野の重要な働きといえる。ところで、前頭前野はいくつかの部位に分けられ、実行機能は前頭前野内のネットワークの上に成り立っている。また、他の脳部位との結合による部分も大きい。以下では、主に前頭前野の関わりとともに、他の脳部位との関連も視野に入れて、実行機能の神経学的基盤をみていく。

#### (2) 抑制機能とその発達

抑制機能は前頭前皮質前部 (anterior PFC) の様々な部位と結びついており、Hunter, Hinkle, and Edidin (2012) によれば、腹側前頭前野 (ventral PFC)、前頭前野眼窩部 (Orbitofrontal Cortex: OFC)、前頭葉下部 (inferior frontal cortices)、前帯状皮質 (anterior cingulate cortex: ACC) が関与していることとともに、右半球に側性化されていることが指摘されている。

抑制機能の発達に伴う脳活動の変化には、活動の増加と減少の二側面が並行して生じるとみられる知見が得られている。近赤外光を用いた脳血流の計測装置を NIRS (Near Infra-Red Spectroscopic topography) というが、NIRS を用いて Go/Nogo 課題遂行中の脳血流を測定した研究では、抑制の発達に伴う脳活動の上昇を報告している。Go/Nogo 課題では、眼前に提示される刺激の種類や提示パターンに応じて、ボタン押しなどの決められた反応を起こすか (Go)、抑制するか (Nogo) を判断する必要がある。抑制機能が未発達な子どもには Nogo 刺激に対して反応してしまうフォルス・アラームが多く見られる。Mehnert, Akhrif, Telkemeyer, Rossi, Schmitz, Steinbrink, Wartenburger, Obrig, and Neufang (2013) は、子ども (4 歳から 6 歳) の課題成

績は大人よりも低いこと、およびNogo刺激に対する前頭-頭頂領域の活動が低いことを示した。また脳内の機能的結合について分析し、大人に比べて子どもでは、前頭領域内のショートレンジの結合が強いものに対して前頭領域-頭頂領域間のロングレンジの結合が弱いことを示した。このことから、抑制機能の発達にとって、前頭領域内の機能的連結に加え、前頭-頭頂領域のように他の領域との間の結合の成熟が重要であることが示唆される。

一方で、抑制機能の発達が脳活動の低下という形で現れることもある。Go/Nogo課題遂行に伴う事象関連電位のうちのN2成分（刺激提示から200-400ミリ秒で現れる陰性電位）は、Go刺激に対して生じる場合よりもNogo刺激に対して生じるときに振幅が増大することから、葛藤モニタリングと関連すると考えられている。しかしLamm, Zelazo, and Lewis (2006) は、このNogo刺激に対するN2成分の振幅が年齢の上昇とともに減少することを報告している。発達に伴う脳活動の減少については、neural efficiency仮説に立った説明が試みられている（例えばDunst, Benedek, Jauk, Bergner, Koschutnig, Sommer, Ischebeck, Spinath, Arendasy, Bühner, Freudenthaler, and Neubauer, 2014）。Neural efficiencyは知的機能と脳の活性に関する仮説であり、知的機能が高い人においては、課題成績と脳の活性の間に負の相関がみられるという知見に基づいている。こういった脳活動の減少の背景には、シナプスの刈り込みといった神経系の退行的変化が関連し、広範囲に拡散していた脳活動が、心理機能や行動に直接関わる脳領域に局在化し、効率化するプロセスがあると考えられている。Durstun, Davidson, Tottenham, Galvan, Spicer, Fossella, and Casey (2006) は、Go/Nogo課題の際の脳活動をfMRIによって縦断的に分析し、背外側前頭前野（Dorsolateral prefrontal cortex : DLPFC）の活動が減弱する一方で、前頭前野腹側部においては課題成績と関連して限局された活動が増加することを明らかにした。これは抑制機能の発達過程におけるneural efficiencyの向上と捉えられる。

### (3) 切り替え機能とその発達

切り替え機能と関連する神経学的基盤は多様である。Wager, Jonides, and Reading (2004) が行なったメタ分析によると、様々な切り替え機能の研究において活性化が指摘されてきた脳部位として、背外側前頭前野（DLPFC）、島皮質前部（anterior insula）、内側前頭前皮質（medial prefrontal cortex）、上頭頂小葉（superior parietal lobule）、下頭頂小葉（inferior parietal lobule）、右前運動皮質（right premotor cortex）、後頭葉が指摘されている。広範囲にわたる関連部位のうち中核となる部位について、Chun, Weyandt, and Swentosky (2014) は頭頂皮質をあげている。

Moriguchi, and Hiraki (2009) は、これらのうち特に前頭葉の働きに着目し、切り替え機能の発達との関連を検討している。カード分類テストを行っている際の脳血流の測定・分析を通して、Moriguchi, and Hiraki (2009) は、認知的な切り替えが前頭前野の活性化と関連していることを示した。またMoriguchi, and Hiraki (2013) は、課題に通過した群と通過しなかった群の縦断的な比較を通して、右下前頭前領域が切り替え機能に中心的な役割を果たし、左下前頭前領域はそれを補う役割を果たすことを示唆している。また、Best, and Miller (2010) は、前頭前野と前帯状皮質（anterior cingulate cortex : ACC）のネットワークが葛藤のモニタリングと同定を行っており、切り替えにとって重要であることを指摘している。

### (4) ワーキングメモリとその発達

前頭前野は、ワーキングメモリの神経基盤としても知られている。このうち特に、外側前頭前野（lateral PFC）（Carlson, Zelazo, and Faja, 2013）が重要な部位とされるが、中でも背外側前

頭前野 (dorsolateral PFC : DLPFC) との関連性の強さが指摘されている (Rottschy, Langner, Dogan, Reetz, Laird, Schulz, Fox, and Eichhoff, 2012)。他にも左中前頭回 (left middle frontal gyrus) と下前頭回 (inferior frontal gyrus) などがワーキングメモリ課題の成績と強く関連する部位として指摘されている (Hunter, Hinkle, and Edidin, 2012)。ただし、ワーキングメモリと関連が深い脳部位は前頭前野に止まらない。例えば、下前頭接合部 (inferior frontal junction : IFJ)、背外側前頭前野 (DLPFC)、前補足運動野 (pre supplementary motor area)、背側前帯状皮質 (dorsal anterior cingulate cortex)、頭頂間溝 (intraparietal sulcus) を含む前頭-頭頂ネットワーク (frontoparietal network) (Harding, Yücel, Harrison, Pantelis, and Breakspear, 2015) は、ワーキングメモリと密接に関連する部位として知られている。このシステムは、様々な認知的負荷に対して、適応行動を柔軟にコントロールする上位システムとされる。Kwon, Reiss, and Menon (2002) は、ワーキングメモリの発達的变化に伴い、このネットワークの活動が増大することを指摘している。前頭葉と頭頂葉をつなぐこのネットワークとワーキングメモリの関連は、fMRI等で測定された脳活動の機能的側面からだけでなく、このネットワークを構成する部位間の物理的な繋がりから指摘されている。例えば、拡散テンソル画像(diffusion tensor image) 法を用いた脳の構造的発達に関する研究 (Nagy, Westerberg, Klingberg, 2004) において、①左前頭葉領域および②上前頭皮質と頭頂葉の間の領域の白質の成熟が、ワーキングメモリの成績と相関をもつことが報告されている。

## 2-3 脳性麻痺と実行機能

### (1) 脳性麻痺児の実行機能

Bodimeade, Whittingham, Lloyd, and Boyd (2013) は、生活年齢を揃えた片側性脳性麻痺児 (平均年齢11歳1ヵ月) と定型発達児 (平均年齢10歳10ヵ月) の実行機能を比較した。対象児の知的機能がWISC-IVによって測定されており、全検査IQで右片側性脳性麻痺児 (22名) は平均84.95 ± 14.65、左片側性脳性麻痺児 (24名) は平均86.75 ± 17.96、定型発達児 (20名) は平均116.5 ± 10.7であった。実行機能の評価は、大きく認知的柔軟性 (cognitive fluency)、目標の設定 (goal setting)、注意制御 (attention control)、情報処理 (information processing) の4領域について行われた (表1)。定型発達児と比較した結果、すべての領域において脳性麻痺児の成績が低いことが明らかとなった。麻痺側による成績の違いはなかった。

表1 Bodimeade et al (2013) で実施された課題

領域	課題
認知的柔軟性	数字の逆唱課題 / Trail makingテスト / 言語流暢性課題 / ストループ課題
目標の設定	言語流暢性課題 / Rey-Osterrieth複雑図形課題 / タワー課題
注意制御	Code transmission課題 / Trail makingテスト / 言語流暢性課題 / ストループ課題
情報処理	記号探し課題 / 抹消課題

Whittingham, Bodimeade, Lloyd, and Boyd (2014) は、Bodimeadeら (2013) と同一の者を対象として、日常生活における実行機能の特徴を把握することを試みている。実行機能の測定には、実行機能に関する行動評価尺度 (Behavior Rating Inventory of Executive Function : BRIEF) (表2) を用いた評価とともに、神経心理学的テストバッテリーを用いた測定が行われた。また、日本では心の健康尺度として知られている強さと困難さのアンケート (Strength and

Difficulties Questionnaire:SDQ) が実施された。BRIEFの結果は、行動調整指標 (抑制、シフト、情動制御の総合指標) とメタ認知指標 (開始、ワーキングメモリ、計画/組織、整理、モニタの総合指標) に分けられる。また、教師評価と養育者評価とが可能である。Whittinghamらによる脳性麻痺児のBRIEFの結果は、教師評価と養育者評価のいずれにおいても、行動調整指標とメタ認知指標ともに定型発達児よりも評価が低かった。またSDQについては、情緒の問題、行為の問題、多動・不注意、仲間関係の問題において、定型発達児よりも弱いとみられる結果であったが、向社会性においては定型発達児と差がなかった。また、BRIEFの結果にみられた脳性麻痺児の行動調整指標とメタ認知指標の評価の低さ、およびSDQにみられた行為の問題と多動・不注意の問題は、部分的には神経心理学的テストバッテリーによって測定された実行機能の低さによって説明されることが明らかとなった。

表2 行動指標による実行機能評価尺度 (BRIEF) の構成

区 分	構 成
行動調整指標	開始/ワーキングメモリ/計画・組織/整理/モニタ
メタ認知指標	抑制/シフト/情動制御

上述の二つの研究は、脳性麻痺児の実行機能を包括的に検討している点、神経心理学的検査による評価のみでなく、日常生活レベルの実行機能を評価している点で重要な知見を提供するものとなっているが、対照群である定型発達児と比較して知的機能の差が大きい (約2標準偏差分)。実行機能は知的機能と関連する傾向があることから、この点を考慮に入れて結果をみる必要がある。一方、Bottcher, Flachs, and Uldall (2010) は、少なくともWISC-IIIの言語理解において当該年齢の平均値 (100) と統計的に成績の差がない片側性脳性麻痺児 (平均 $88.3 \pm 23.0$ ) と両側性脳性麻痺児 (平均 $95.5 \pm 22.7$ ) を対象とした検討を行なっている。実行機能については随伴的名付けテスト (contingency naming test: CNT) と教師評価によるBRIEFによって評価している。CNTは、色と形の二次元の要素からなる図形を用いて行う切り替え課題である。課題は、①図形の色を命名する試行、②図形の形を命名する試行、③ルールに従って色か形のいずれかを命名する試行、④③のルールを変えて色か形を命名する試行から構成されている。CNTの成績、BRIEFの評価のいずれにおいても、脳性麻痺児は標準的な水準を下回っていた。

これまでの知見では、生活年齢を一致させた定型発達児と比較した場合、脳性麻痺児の実行機能には全般的な低さが認められること、さらにこの実行機能の低さは、知的機能の水準に近い定型発達児と比較した場合であっても、基本的に変わらない可能性を示唆している。

## (2) 脳性麻痺児の脳病理と実行機能

脳性麻痺は脳病変 (脳の形成異常と破壊性病変に大別される) を原因 (吉橋, 2005) とする脳原性疾患である。ここでは、上にみた脳性麻痺児の実行機能の問題が、脳病変とどのような結びつきをもっているかを概観する。

Weierink, Vermeulen, and Boyd (2013) は、脳性麻痺児の実行機能を取りあげた脳構造画像研究6編をレビューした。しかし、論文中で報告されている脳性麻痺児の脳病変は、その部位や範囲が様々であり、実行機能のパフォーマンスと関連する特定の脳部位を示唆するものではなかった。脳病変の所見が明瞭なものについて個別にみると、まずKolk, and Talvik (2000) では、大脳の左右半球の損傷の影響が検討されている。結果として、片側性麻痺がある場合、実行機能が低下すること、脳病変が右半球にある場合、左半球にある場合よりも抑制と調整の課題の成績が

低いことが明らかとなった。また、Pirila, van der Meere, Rantanen, Jokiluoma, and Eriksson (2011) は、8歳から17歳の脳性麻痺児を対象として連続遂行課題により実行機能を評価し、脳損傷部位と出生児体重との関連を検討した。結果として、両側性の脳損傷がある早産児において実行機能の問題が重いことが明らかとなった。Roze, van Braeckel, van der Veere, Maathuis, Martijn, and Bos (2009) は、在胎37週未満で脳室周囲出血性梗塞 (periventricular hemorrhagic infarction : PVHI) のある早期産児について、実行機能を分析した。実行機能の測定には、BRIEFが用いられた。その結果、頭頂-後頭領域のPVHIは実行機能の合成得点の低さと関連することが明らかとなった。これらの結果は、より広範囲な脳損傷があることや早期産であることが実行機能の問題を高める要因であることが示唆している。早期産の場合、Rozeらの研究で検討されたPHVI (脳室周囲出血性梗塞) の他に脳室周囲白質軟化症 (periventricular leukomalacia : PVL) による脳性麻痺を生じる可能性がある (吉橋, 2005)。Di Lieto, Brovedani, Pecini, Chilosi, Belmonti, Fabbro, Urgesi, Fiori, Guzzetta, Perazza, Sicola, and Cioni (2017) は、PVLの診断がある脳性麻痺児を対象として実行機能の分析を行なった。実行機能はNEPSY-IIによって評価された。分析の結果、PVLに伴うことが指摘されてきた視空間能力の問題の他、対象児の半数以上に実行機能の問題がみられること、PVLが脳梁前部 (anterior corpus callosum) に影響を与えている場合にその傾向が顕著であることが明らかとなった。脳性麻痺の原因となる脳病理は様々であり、現時点では知見を整理することが難しい状況である。今後、脳病理や損傷部位を絞った検討の蓄積が期待される。

### (3) 脳性麻痺児における実行機能の問題の影響

実行機能の問題は、学習や日常生活上の問題につながる可能性が指摘されている。数は限られているものの、近年、脳性麻痺児における実行機能の問題が学習や日常生活にどのように関連しているかを調べた研究がみられるようになってきている。そこで、ここでは脳性麻痺児の実行機能と学習、および社会性との関連をみた研究を紹介する。

Jenks, de Moor, and van Lieshout (2008) は脳性麻痺児の算数の困難と実行機能、ワーキングメモリの関連を検討した。Jenksらは、年齢を一致させた、特別支援学校に通う脳性麻痺児、通常の学校に通う脳性麻痺児、定型発達児を比較した。知的機能については、言語性のものを絵画語彙発達検査 (Peabody Picture Vocabulary Test-Revised : PVT-R) で、非言語性のものをレーヴン色彩マトリックス検査 (Raven's Coloured Progressive Matrixes : RCPM) で測定している。特別支援学校に通う脳性麻痺児は言語性 $88.9 \pm 14.5$ 、非言語性 $85.4 \pm 14.4$ 、通常の学校に通う脳性麻痺児は言語性 $93.0 \pm 16.5$ 、非言語性 $98.3 \pm 16.7$ 、定型発達児は言語性 $101.3 \pm 13.0$ 、非言語性 $111.3 \pm 13.3$ であり、特別支援学校に通う脳性麻痺児と定型発達児では、知的機能の開きが大きい。実行機能については、抑制命名課題 (inhibition naming task) とシフティング命名課題 (shifting naming task) によって測定され、ワーキングメモリは数字の逆唱課題、視空間スケッチパッドはKnoxブロック課題 (Knox block)、音韻ループは数字の再生課題 (digit recall) と語の再生課題 (word recall) によって測定された。実行機能で用いられた命名課題の材料は単純な幾何学図形と数字からなっている。単純な形の命名、数字の命名に加え、抑制命名課題では大小二つの幾何学図形の組み合わせ刺激 (例えば、大きな円の中に小さな四角など) のうち、大きい図形を無視して小さい図形を命名することが求められる。シフティング命名課題では、図形の中に数字が書かれた刺激が提示される。このとき刺激が青であれば図形の命名、刺激が黄色であれば数字の命名を行うことが求められる。対象児の算数能力を縦断的 (1年次中間時点、1年次終了

時点、2年次中間時点、2年次終了時点、3年次中間時点）に追跡し、成績と実行機能の関連が検討された。算数能力は速さと正確さの点から分析され、脳性麻痺児の成績は、特別支援学校に通う脳性麻痺児を含めて次第に上昇するが、脳性麻痺児と定型発達児の差は残った。実行機能に関しては、通常の学校に通う脳性麻痺児が視空間性短期記憶の問題を示すだけであったのに対し、特別支援学校に通う脳性麻痺児では実行機能とワーキングメモリの成績の低さがみられた。また、知能指数の影響を除いても、実行機能とワーキングメモリの問題が算数の成績の低さと強く関連していることが明らかとなった。

また社会性に関わるものとして、脳性麻痺児の心の理論と実行機能の関連の検討が行われている。Caillies, Hody, and Calmus (2012) は年齢と言語理解能力を一致させた脳性麻痺児と定型発達児について、心の理論と実行機能の関連を分析した。心の理論の測定においては、一次誤信念課題として意外な中身課題 (unexpected content task) と場所移動課題 (change of location task)、二次誤信念課題としてアイスクリーム課題が実施された。実行機能に関しては、ワーキングメモリ、抑制制御の測定が行われた。ワーキングメモリについては、WISC-IVの数唱 (順唱、逆唱) と語音整列を用いて測定された。実行機能の測定には、ストループテストとNEPSYのKnock-Tapテストが用いられた。Knock-Tapテストは実験者がテーブルを拳でノックした場合、対象児は掌でタップする (またはその逆) という課題である。分析の結果、実行機能の抑制制御の点では脳性麻痺児と定型発達児に大きな差がみられなかったが、ワーキングメモリ (語音整列) と二次誤信念課題の成績は脳性麻痺児のほうが低かった。また二次誤信念課題の成績は、ワーキングメモリの成績との間で有意な相関がみられた。

これらの研究は、脳性麻痺児が学校で示す困難は、姿勢や運動に関わる領域の問題に止まる訳ではなく、学習の蓄積を進めることや、友人関係を円滑に形成することにまで及ぶ可能性を示唆するものである。先に述べたように、実行機能は知的機能と関連する傾向があるが、先行研究は脳性麻痺児の実行機能の低さは知的機能の影響を除いても残ることを指摘している。このことは、脳性麻痺児の実行機能の問題が生じる過程には、運動機能の問題や社会的環境の影響から生じる活動の制限や経験の制約が大きく関与している可能性を示唆するものである。そういった点を考慮した学習や生活上の支援を考えていく必要がある。

### 3. まとめと今後の課題

本研究では、脳性麻痺児の実行機能の問題とその背景となる脳病理について、これまでに行われた研究を概観した。その結果、脳性麻痺児には、生活年齢を一致させた定型発達児と比較して、実行機能に全般的な問題がみられる可能性があること、この問題は知的機能を揃えた場合であっても残る可能性があることが示唆された。また脳性麻痺は脳病変を原因とする疾患であるが、その内容は多様であり、実行機能の問題と関連する特定の脳損傷部位は明確になっていない。しかし現在のところ、より広範囲に脳損傷が及ぶ場合、実行機能の低下がより明瞭であったこと、また早期産による脳室周囲の出血性梗塞や白質軟化症を生じた場合、それが頭頂-後頭領域や脳梁前部に及んだ場合に実行機能の問題がより明瞭であったことが報告されている。これらの実行機能の問題は、知的機能の影響を除いた場合であっても学習や他者理解の基本となる心の理論の獲得の困難を引き起こす可能性があることが示唆されている。

脳性麻痺の脳病理と実行機能の関連の検討においては、今後、まず知見の蓄積が求められると

ころである。これまでに行われたレビューにおいても、条件を揃えた比較検討が難しいことが指摘されている。また、実行機能は、前頭葉を中心としつつも、他の脳部位との間で形成されるネットワークを基盤として成立するものであることから、このネットワークの成り立ちを踏まえた検討が必要であろう。例えば拡散テンソル画像法等による白質の形成状況の検討などを関連させた研究が期待される。またこれまでの知見は、脳性麻痺児の実行機能の問題が、脳病変や基本的な認知能力の問題とは別に、経験上の制約から生じている可能性を示唆している。今後の研究においては、そういった点を考慮した環境整備や教育的関わりをベースとした自己理解や自己調整のための支援を考察していく必要がある。

#### 引用文献

- Best, J. R. & Miller, P. H. (2010) A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81, 1641-1660.
- Bodimeade, H. L., Whittingham, K., Lloyd, O., & Boyd, R. N. (2013) Executive function in children and adolescents with unilateral cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55, 926-933.
- Bottcher, L., Flachs, E. M., & Uldall, P. (2010) Attentional and executive impairments in children with spastic cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 52(2), e42-e47.
- Caillies, S., Hody, A., & Calmus, A. (2012) Theory of mind and irony comprehension in children with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities*, 33, 1380-1388.
- Carlson, S. M., Zelazo, P. D., & Faja, S. (2013) Executive function. In P. D. Zelazo (Ed.), *The oxford handbook of developmental psychology, volume 1, body and mind*, Oxford University Press, 706-743.
- Chun, H.J., Weyandt, L L., & Swentosky, A. (2014) The physiology of executive functioning. In S. Goldstein & J. A. Naglieri (Eds.), *Handbook of executive function*, Springer, Heidelberg, Germany, 13-27.
- Di Lieto, M. C., Brovedani, P., Pecini, C., Chilosi, A. M., Belmonti, V., Fabbro, F., Urgesi, C., Fiori, S., Guzzetta, A., Perazza, S., & Cioni, G. (2017) Spastic diplegia in preterm-born children: Executive function impairment and neuroanatomical correlates. *Research in Developmental Disabilities*, 61, 116-126.
- Dunst, B., Benedek, M., Jauk, E., Bergner, S., Koschutnig, K., Sommer, M., Ischebeck, A., Spinath, B., Arendasy, M., Bühner, M., Freudenthaler, H., & Neubauer, A. C. (2014) Neural efficiency as a function of task demands. *Intelligence*, 42, 22-30.
- Harding, I. H., Yücel, M., Harrison, B. J., Pantelis, C., & Breakspear, M. (2015) Effective connectivity within the frontoparietal control network differentiates cognitive control and working memory. *NeuroImage*, 106, 144-153.
- Hunter, S. J., Hinkle, C. D., & Edidin, J. P. (2012) The neurobiology of executive function. In S. J. Hunter & E. P. Sparrow (Eds.), *Executive function and dysfunction: Identification, assessment and treatment*, Cambridge University Press, 37-64.
- Jenks, K. M., de Moor, J., & van Lieshout, E. C. D. M. (2008) Arithmetic difficulties in children with cerebral palsy are related to executive function and working memory. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50, 824-833.
- 川間健之介 (2014) 肢体不自由児の心理 2—障害特性を中心に—. 川間健之介・西川公司 (編著), 改訂版 肢体不自由児の教育, 一般財団法人 放送大学教育振興会, 80-90.
- Kolk, A., & Talvik, T. (2000) Cognitive outcome of children with early-onset hemiparesis. *Journal*



- of Child Neurology*, 15, 581–587.
- 近藤和泉 (2014) 脳性麻痺の定義. 公益社団法人日本リハビリテーション医学会 (監), 脳性麻痺リハビリテーションガイドライン第2版. 金原出版株式会社, 13–18.
- Kwon, H., Reiss, A. L., & Menon, V. (2002) Neural basis of protracted developmental changes in visuo-spatial working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 13336–13341.
- Lightbourne, T. C., & Arnsten, A. F. T. (2017) The cellular mechanisms of executive functions and working memory: Relevance to mental disorder. In E. Goldberg (Ed.), *Executive functions in health and disease*, Academic Press, Cambridge, MA, 21–40.
- Meltzer, L. (2007) Executive function: Theoretical and conceptual frameworks. In L. Meltzer (Ed.), *Executive Function in Education: From Theory to Practice*, The Guilford Press, New York, NY, 1–3.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000) The unity and diversity of executive functions and their contribution to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012) The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21 (1), 8–14.
- Moriguchi, Y., & Hirak, K. (2009) Neural origin of cognitive shifting in young children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 6017–6021.
- Moriguchi, Y., & Hiraki, K. (2013) Prefrontal cortex and executive function in young children: a review of NIRS studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 867.
- Nagy, Z., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004) Maturation of white matter is associated with the development of cognitive function during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1227–1233.
- Pirila, S., van der Meere, J. J., Rantanen, K., Jokiluoma, M., & Eriksson, K. (2011) Executive functions in youth with spastic cerebral palsy. *Journal of Child Neurology*, 26, 817–821.
- Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., & Bax, M. (2007) A report: The definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49 (Suppl. 109), 8–14.
- Roze, L., van Braeckel, K. N. J. A., van der Veere, C. N., Maathuis, C. G. B., Martijn, A., & Bos, A. F. (2009) Functional outcome at school age of preterm infants with periventricular hemorrhagic infarction. *Pediatrics*, 123, 1493–1500.
- Rottschy, C., Langner, R., Dogan, I., Reetz, K., Laird, A. R., Schulz, J. B., Fox, P. T., Eickhoff, S. B. (2012) Modelling neural correlates of working memory: A coordinate-based meta-analysis. *NeuroImage*, 60, 830–846.
- Weierink, L., Vermeulen, R. J., & Boyd, R. N. (2013) Brain structure and executive functions in children with cerebral palsy: A systematic review. *Research in Developmental Disabilities*, 34, 1678–1688.
- Whittingham, K., Bodimeade, H. L., Lloyd, O., & Boyd, R. N. (2014) Everyday psychological functioning in children with unilateral cerebral palsy: does executive functioning play a role? *Developmental Medicine & Child Neurology*, 56 (6), 572–579.
- 吉橋裕治 (2005) 脳性麻痺. 篠田達明 (監), 肢体不自由児の医療・療育・教育. 金芳堂, 13–31.

(2018年10月31日提出)

(2018年11月16日受理)

# Executive Function and Brain Pathology in Children with Cerebral Palsy

HAISHI, Koichi  
Faculty of Education, Saitama University

## Abstract

This review aimed to clarify the properties of executive function (EF) in children with cerebral palsy (CP) and the relationship between the brain pathology and EF problem in children with CP. Previous studies showed that EF in children with CP were lower when compared to typically developing children. The difference in EF between children with CP and typically developing peers remained, even after controlling for IQ. Although there is insufficient information on brain pathology relative to EF impairment in children with CP, past researches showed that bilateral brain damages, lesions in parieto-occipital area or anterior corpus callosum would be associated with the properties of EF in children with CP.

**Keywords:** cerebral palsy, executive function, brain pathology