

知的障害と実行制御

葉石 光一*・大庭 重治**・八島 猛**

本論文では、知能と実行機能の関連、知的障害者の実行機能に関する最近の研究を概観し、両者の関連についての知見を整理した。まず知能と実行機能は関連し合うものだが、その詳細は不明である。ワーキングメモリと知能の関連が強く示唆されているが、知的障害者についてまとめた知見はない。知的障害者の実行機能は一律に低いわけではなく、精神年齢を一致させた定型発達者よりも機能的に低い部分があることが指摘されている。知能と実行機能の状態にアンバランスがみられる場合もあり、両者を総合的に把握しておくことが知的障害者の認知および行動上の特性を理解する上では有用であると考えられた。

キー・ワード：知的障害 知能 実行機能

1. はじめに

直面する課題に向かう際、一定の目標に沿うように認知や行動をまとめる必要がある。このような実行制御 (Executive control) の過程には、課題に応じてスキルと習慣を制御し協調させること、自分の行動を監視し調整すること、必要に応じて課題を切替えることといった内容が含まれる (Logan, 2003)。また実行制御に関連する心理機能 (実行機能: Executive function) については、①優勢な行動の抑制 (Inhibition)、②心的構えの切替え (Shifting)、③情報の更新と監視 (Updating) の三つ (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000) をあげる考え方が有力である。

知的障害者が実行制御に困難を示すことは、古くから指摘されてきた。例えば、実行機能概念の先駆者の一人であるルリヤは、知的障害児の基本的特徴が複雑な心理過程の一般化と調節の機能の障害 (Luria, 1963) であるとしている。また近年になって本格化し始めた、知的障害者の実行機能の研究においても、彼らの実行制御の困難が報告されている (知的障害者の実行機能の特徴については、葉石・八島・大庭・奥住・國分 (2010)、池田・奥住 (2011) のレビューがある)。

いくつかの研究は、実行制御に係るプロセスが知能と相関をもつことを示している (例えば Davis, Pierson & Finch, 2011; Roca, Par, Thompson, Woolgar, Torralva, Antoun, Manes, & Duncan, 2010)。知的障害者が実行制御に困難を示すのは、このような指摘からすれば十分に予想されることである。しかし一方で、知能と実行機能の関係をより詳細に分析すると、そのような相関が常に成り立つわけではないことも報告されている。知能と実行機能の関連を解明していくことは、知的障害者の認知および行動の特性を理解する上で重要なことであろう。

本研究では、知能と実行機能の関連性についてのこれまでの知見をいくつか概観しつつ、知的障害者の実行制御機能の理解に重要と思われる観点を整理する。

2. 知能と実行機能の関連

実行機能は基本的に知能と関連すると考えられている。特に、Updatingの機能は知能と強い相関をもつことが知られている。例えば、Friedman et al. (2006) は、234人の成人 (平均IQ 103、レンジ73~142) を対象に流動性知能、結晶性知能、実行機能の関連を調べた。その結果、InhibitionおよびShiftingの機能については流動性知能や結晶性知能との間に有意な関連が見出されなかったのに対し、Updatingの機能は流動性知能、結晶性知能のいずれとも有意な関連をもつことが明らかとなった。

これと関連する内容として、ワーキングメモリ課題に集中的に取り組むことによって流動性知能が向上するという報告がある。Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, and Perrig (2008) は、平均年齢25.6歳の大学生70人を対象として、dual n-back課題を用いたトレーニングが流動性知能の向上につながることを示した。n-back課題は、基本的に提示される刺激系列を記憶し、再生する課題だが、再生するのはn個前の刺激である。例えばアルファベットの音韻情報を用いた2-back課題で「a→t→c」の順に刺激系列が提示されたとする。「c」が提示された時点で再生するのは、2つ前の「a」となる。Jaeggiらの課題はdual n-back課題なので、刺激系列のモダリティは二つであり、一つはコンピュータ画面上の視覚刺激の位置情報、もう一つはアルファベットの音韻情報であった。トレーニング期間 (8日間、12日間、17日間、19日間の4種) 前後で流動性知能を測定すると、いずれのトレーニング期間であっても流動性知能を測定する課題の成績が向上することが報告された。

Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, and Shah (2011) は、同様のトレーニング効果を子ども (ワーキングメモリをトレーニングする平均年齢9.12歳の実験群32人。対照群は平均年齢8.83歳の32人) にも期待できるか検討し、ワーキングメモリのトレーニング効果の大きかった者で、やはり流動性知能を測定する課題の成績が向上することを示した。

流動性知能と実行機能の関連は、脳損傷患者を対象とした研究においても示されている。Roca et al. (2010) は、実行機能が前頭前野の機能と考えられていることから、前頭葉損傷患者

* 埼玉大学教育学部

** 上越教育大学大学院学校教育研究科

表1 Roca et al. (2010) の分析結果：前頭葉損傷患者において流動性知能と有意な相関のあった9課題について、対照群と成績を比較した結果をまとめた

課題および内容	対照群との差	知能の影響を除いた際の対照群との差
Wisconsinカード分類課題: カードに描かれた記号の特徴(色、形、数)に基づく分類課題。対象者は分類基準を知らず、実験者の回答から基準を探る。遂行中に基準が変更される。	有意	—
言語流暢性課題: 所与のアルファベットから始まる単語を時間内に可能な限り多く産出する課題。	有意	—
Go-No go課題: 実験者が机を1回たたいたとき対象者は同じ机を1回たたいたが、実験者が2回たたいたときは対象者は机をたたかない。	—	有意
数字の逆唱課題: 提示された2~7桁の数字を逆順に再生する課題。	有意	—
Month課題: 月の呼称をDecemberから逆順に再生する課題。	—	—
Proverbs課題: 諺の意味を説明する課題。	有意	有意
Hayling課題: 末尾の単語が省かれた文を提示される。前半は意味が通るように省かれた単語を補うが、後半では意味が通らないように単語を補う。	有意	有意
Hotel課題: ホテルの運営に係るいくつかの活動を時間内に遂行する課題。	有意	有意
アイオワ・キャンプリング課題: 4つの山からカードを引く意思決定課題。カードに応じて通貨を得るか失う。山はリスク(大きな報酬を得る事もあがるが全体的には損をする)なものと安全なものに分かれている。	有意	—

36人(平均年齢51.1歳)の流動性知能と実行機能との関連を分析した。その結果、前頭葉損傷患者では対照群よりも流動性知能が低いこと、また表1にまとめたように、流動性知能といくつかの実行機能課題の成績が相関をもつことを示した。流動性知能と相関があったのは、Wisconsinカード分類課題、言語流暢性課題、Go-No go課題、数字の逆唱課題、Month課題、Proverbs課題、Hayling課題、Hotel課題、アイオワ・キャンプリング課題の9課題であった。表1に示した課題のうち、Go-no go課題とMonth課題を除く7課題には対照群との間に有意な成績の差があり、流動性知能の影響を除いてもなお対照群との間に有意な差があったのはGo-No go課題、Proverbs課題、Hayling課題、Hotel課題であった。この結果は、少なくともこれら4課題には流動性知能から比較的独立の心理過程が関与していることを示唆している。なおこの4課題にはUpdating機能あるいはワーキングメモリ機能を測定する典型的な課題が含まれていない。この点は、流動性知能が実行機能のUpdating機能のみと関連するとしたFriedman et al. (2006)の結果と矛盾していない。

このように、知能と実行機能の関連は部分的なものであると考えられる。関連する部分について、Friedman et al. (2006)はUpdatingの機能を指摘しているが、Roca et al. (2010)は、そのような線引きが臨床的にそれほど明確ではない可能性を示している。

3. 知的障害と実行機能

知的障害者の日常行動には、目標から逸脱しやすいといった実行制御の困難とみられる特徴がよく観察される。実行機能概念の整理が進む中で、近年、知的障害者の実行機能を包括的に検討した研究が見られるようになってきた。

Lanfranchi, Jerman, Dal Pont, Alberti, and Vianello (2010)は平均生活年齢15歳2カ月(11歳~18歳5カ月)、平均精神年齢5歳9カ月(4歳6カ月~6歳10カ月)のダウン症者15人の実行機能を、精神年齢を一致させた定型発達者と比較した。実施した課題は、ワーキングメモリ、抑制、切替え、プランニング、流暢性、注意持続に関するものであった。表2に実施され

表2 Lanfranchi et al. (2010) が用いた課題の内容と結果

課題および内容	対照群との差
ワーキングメモリ ①言語二重課題: 提示される2~5個の単語の最初のものを記憶する一方で、“ball”という単語が提示されたら机をたたく。 ②視空間二重課題: 4×4のマス上のカエルの位置を覚える一方で、赤いマス上のカエルが提示されたら机をたたく。	①有意 ②有意
抑制(Inhibition) Night/Day課題: 太陽の描かれたカードには“night”、月と星の描かれたカードには“day”と答える。	正答数: 有意 正答数(前半): 有意 正答数(後半): —
切替え(Shifting) ①ルール切替カード課題(セットの切替え): 前半では赤いカード“yes”、黒いカードに“no”と言う。後半ではめくったカードが前のカードと同じ色なら“yes”、違う色なら“no”と言う。 ②修正版カード分類課題(概念の切替): カードに描かれた記号の色、形、数に基づいた分類を行う。	①正答数(前半): — 正答数(後半): 有意 ②達成カテゴリー数: 有意 保続的誤り数: — 非保続的誤り数: 有意
プランニング ロンドンの塔課題: ベグにささったボールの配置を、所与のルールを考慮しつつ見本の状態に並べ替える。	正答数: 有意 試行錯誤なし正答数: 有意
流暢性(Fluency) ①言語流暢性課題(頭文字): 所与の頭文字をもつ語を時間内にできるだけ多く産出する。 ②言語流暢性課題(カテゴリ): 所与のカテゴリに入る語を時間内にできるだけ多く産出する。	①単語数: — 繰返し: — エラー数: — ②単語数: — 繰返し: — エラー: —
注意持続(Sustained attention) Self-ordered指差し課題: 身近な物の絵が描かれたノートを提示され、ページ上の絵を指差し、記憶する。新しいページでは、新しい絵を指差す。	正遂行ページ数: — エラー数: 有意 保続アイテム数: — 保続位置数: 有意

た課題の概要と結果を示した。全般的にみてダウン症者は対照群よりも低い成績を示すことが多いが、成績の差が著しかったものとしてはワーキングメモリ、切替え、プランニングの課題が挙げられている。一方、流暢性については有意な差がみられなかった。

またDanielsson, Henry, Messer, and Rönnerberg (2012)は、平均生活年齢13歳2カ月、平均精神年齢7歳5カ月の知的障害者22人と、生活年齢、精神年齢を一致させた定型発達者各22人の三群間で実行機能の比較を行った。実施した課題はワーキングメモリ、抑制、プランニング、切替え、流暢性に関するものであった。表3は実施された課題の概要と群間の成績の比較結果をまとめたものである。生活年齢を一致させた群との比較においては、知的障害者の成績はすべての課題で定型発達者を下回っていた。一方で、精神年齢を一致させた対照群との比較では、言語・非言語課題いずれについても差が有意であったのは抑制課題とプランニング課題であった。

LanfranchiらとDanielssonらの研究では、課題の特徴の捉え方が異なっている点で比較や知見の統合が難しいところがある。例えばカード分類課題について、Lanfranchiらは切替え課題として、Danielssonらはプランニング課題としている。こういった概念整理については、今後の課題としてここでは踏み込まないが、二つの研究に共通しているのは、知的障害者の実行機能課題の成績が一様に精神年齢相当の水準にあるわけではないという点である。具体的には、精神年齢を一致させた定型発達者よりもさらに低い成績となっている課題があることに注目する必要がある。この結果は、例えば①課題の難度のばらつきの影響、②知能検査プロフィールのばらつきの影響、③知能と実行機能の概念的ずれの影響などの点から、今後詳しく検討していく必要があるが、知的障害者の認知・行動特性の理解において、知能検査の結果のみでなく実行機能の特性を合わせて把握しておく必要があることを示唆している。知的障害者の認知・行動上の問題が、期待される知的水準から解離して生じることは日常の行動の中にもよくみられる。知的機能のみでなく、実行機能を把握しておくことは、この解離を埋める手掛かりの一つとなる可能性がある。

表3 Danielsson et al. (2012) で実施された課題の内容と結果

課題および内容	対照群との差
ワーキングメモリ ①リスニングスパン課題: 提示された文のおかしなところを判断するのと合わせて、文末の語を記憶する。 ②Odd one out課題: 3枚の絵のうち仲間はずれのものを選ぶのと合わせて、仲間はずれの絵の位置を記憶する。	①- ②有意
抑制 (Inhibition) ①言語抑制課題: 前半は実験者が言う語 ("car"か"doll") を繰り返すが、後半は実験者が言った語と違う語 ("car"に対しては"doll") を言う。 ②運動抑制課題: 前半は実験者が作る手の形 ("fist"か"flat") を模倣するが、後半は実験者の手の形とは違う形 ("fist"に対しては"flat") を作る。	①有意 ②有意
プランニング (Planning) ①言語性: カードを言語情報に基づいて分類する。 ②非言語性: カードを図形の情報に基づいて分類する。	①有意 ②有意
流暢性 (Fluency) ①文字課題: 所与の文字から始まる語をできるだけ多く産出する。 ②カテゴリ課題: 所与のカテゴリに入る語をできるだけ多く産出する。 ③デザイン課題: できるだけ多くの異なる図形を産出する。	①有意 ②- ③-
切替え (Switching) ①カテゴリ流暢性切替え課題: 二つのカテゴリに入る語をできるだけ多く産出する。二つのカテゴリを交互に交代して行う。 ②ID/ED課題: 形、線、色に特徴をもつ二つの図形から一つの図形を選ぶ。選択に成じたフィードバックに基づいて、選択すべき基準を推測する。基準は課題遂行の途中で変更される。	①- ②-

このことについては、知的障害者の Temporal Discounting 課題の遂行に関する Willner, Bailey, and Parry (2010) の研究もまた示唆的である。Temporal Discounting とは、遅延報酬の価値割引とも言われる。即座に手に入る小さな報酬と、遅れて手に入る大きな報酬を対立させた場合、小さな報酬を取る確率は①大きな報酬を得るまでにかかる時間の長さ②二つの報酬の差によって変化する。二つの報酬の差が小さく、大きな報酬を手にするまでにかかる時間が長いほど、大きな報酬の価値は相対的に減少し、小さな報酬に手を出す確率が高まると考えられる。Willnerらは、デイサービスを利用する40歳前後の知的障害者20人(平均知能指数59.8、標準偏差5.4)を対象として、Temporal Discounting課題における意思決定と知能指数、実行機能、金銭に関する知識、語彙、記憶の関連を検討した。分析の結果、まず知的障害者には報酬の選択に一貫した法則性を見出すことが困難であった。つまり、先に説明した価値の時間割引を読み取ることのできる選択行動が観察されなかった。また、Temporal Discounting課題の成績と有意な関連のある要因は、知能ではなく実行機能であった。言い換えれば、この課題における知的障害者の意思決定行動は知的水準からは十分に予測できないということである。

4. 実行機能評価の意味

ここまで、①知能と実行機能の関連は部分的なものであること、②知的障害者の実行機能には、精神年齢を一致させた定型発達者の水準を下回る領域があること、③知能よりも実行機能が知的障害者の認知・行動特性をよく反映する場合があることを確認した。その上で、知的障害者の認知・行動特性を理解する際の、知能と実行機能の包括的評価の必要性を指摘した。これについてはより多面的な検討を要するが、その一つとして、知能と実行機能の特性を組み合わせることで区別できる群ごとに、認知・行動特性が異なることを示しておくことは大切であろう。最後に、これと関連する筆者らのデータを紹介する(現在、投稿準備中)。

筆者らは、これまで知的障害者の眼球運動特性を反応時間の点から分析してきた(例えば、Haishi, Okuzumi, & Kokubun, 2011)。その中で、知的障害者の眼球運動反応時間の平均値と

その変動性に対する影響因が異なる(前者は知能、後者は実行制御の影響を受ける)ことを示した。その上で、筆者らは、眼球運動反応時間の特徴が知能および実行制御特性とどのように関連しているかを検討した。

対象者は知能と実行制御についての評価結果を組み合わせ、知的障害が軽く実行制御に大きな問題のないⅠ群、知的障害は重い実行制御に大きな問題のないⅡ群、知的障害が重く実行制御の問題もあるⅢ群に分類された(知的障害は軽い実行制御の問題がある者は数が少なかったため分析から除外した)。

群ごとの眼球運動反応時間の特徴は、①Ⅰ群は、反応が素早くばらつきが小さい、②Ⅱ群は、反応は遅いがばらつきが小さい、③Ⅲ群は、反応が遅くばらつきが大きいというものであった。平均反応時間の群間の差はⅠ群とⅡ、Ⅲ群の間に、反応時間の変動性の群間の差はⅠ、Ⅱ群とⅢ群の間に認められた。つまり、知能と実行制御から特徴づけた群ごとに運動制御の特性が異なっていた。この結果は、視覚的探索の素早さとその安定性の特性が、知能だけでは説明できないことを示している。

加えて、視標を追視する際に指差しを伴わせることで生じる変化にも群ごとの特徴が認められた。指差しを伴わせることで、Ⅱ群の反応時間は、統計的に有意ではないが大幅にⅠ群の反応時間に近づいた。一方でⅢ群の反応時間は指差しを伴っても変化しなかった。一般に、指差しが注意を高める作用をもつことは、産業現場でもよく認識されている。作業対象を指差し、その名前や状態を言う指差喚呼は作業現場でのヒューマンエラーの防止に役立てられており、また指差喚呼が反応時間を短縮する効果をもつことが知られている(篠原・森本・久保田, 2009)。Ⅱ群とⅢ群との間でみられた、反応時間に対する指差しの効果の違いは、指差しの効果を運動制御に反映させる実行制御機能の差の現れと考えられる。このようにみると、Ⅱ群とⅢ群のもともとの反応時間は数値の上では同等の水準にあったが、その意味するところは異なると言える。日常生活行動の基礎である、視覚的探索行動の特性が、このように知能だけでなく実行制御の特性を考慮することでより深く考察できることの意味は大きい。

知的障害者の実行機能は、まだその本格的な研究が始まったばかりであり、測定方法が議論の対象となるほどである(例えば Willner, Bailey, Parry, & Dymond, 2010)。しかし、知能の捉え方にも近年では変化がみられつつあり、その背景には実行機能概念の研究を通して得られた知見の影響が少なくない。知的障害者を対象とする総合的なアセスメントの開発にはまだ時間がかかるだろうが、実行機能の概念とその働きをよく理解しておくことは、知的障害者の認知・行動特性の評価の質を高める上で効果的であろう。

文献

- Danielsson, H., Henry, L., Messer, D., & Rönnerberg, J. (2012) Strengths and weaknesses in executive function in children with intellectual disability. *Research in Developmental Disabilities*, 33, 600-607.
- Davis, A. S., Pierson, E. E., & Finch, W. H. (2011) A canonical correlation analysis of intelligence and executive functioning. *Applied Neuropsychology*, 18, 61-68.

- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006) Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17(2), 172-179.
- 葉石光一・八島猛・大庭重治・奥住秀之・國分充 (2010) 知的障害児・者における実行機能の問題とその関連要因, 長野大学紀要, 32(2), 39-45.
- Haishi, K., Okuzumi, H., & Kokubun, M. (2011) Effects of age, intelligence and executive control function on saccadic reaction time in persons with intellectual disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 32, 2644-2650.
- 池田吉史・奥住秀之 (2011) 知的障害児・者における実行機能の問題に関する近年の研究動向, 東京学芸大学紀要, 総合教育科学系Ⅱ, 62, 47-55.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig W. J. (2008) Improving fluid intelligence with training of working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 6829-6833.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011) Short- and long-term benefit of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 10081-10088.
- Lanfranchi, S., Jerman, O., Dal Pont, E., Alberti, A., & Vianello, R. (2010) Executive function in adolescents with down syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54, 308-319.
- Logan, G. D. (2003) Executive control of thought and action: In search of the wild homunculus. *Current Directions in Psychological Science*, 12(2), 45-48.
- Luria, A. R. (1963) The role of speech in the formation of temporary connections of the behavior of child-oligophrenics. In A. R. Luria (Ed.), *The mentally retarded child*. Pergamon Press, Oxford, 149-167.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000) The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Roca, M., Parr, A., Thompson, R., Woolgar, A., Torralva, T., Antoun, N., Manes, F., & Duncan, J. (2010) Executive function and fluid intelligence after frontal lobe lesions. *Brain*, 133, 234-247.
- 篠原一光・森本克彦・久保田敏裕 (2009) 指差し喚呼が視覚的注意の定位に及ぼす影響. 人間工学, 45(1), 54-57.
- Willner, P., Bailey, R., & Parry, R. (2010) Performance in temporal discounting tasks by people with intellectual disabilities reveals difficulty in decision-making and impulse control. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, 115(2), 157-171.
- Willner, P., Bailey, R., Parry, R., & Dymond, S. (2010) Evaluation of executive functioning in people with intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54(4), 366-379.