

脳性まひ児の算数困難とワーキングメモリに関する研究動向 学習の困難と心理および生理・病理的要因との関連について

河村 暁*

Review of trends in research on the arithmetic difficulties and working memory of children with cerebral palsy : Focusing on the relation between learning difficulties and psychological, physiological, and pathological factors

Satoru KAWAMURA

Children with cerebral palsy (CP) are reported to have learning difficulties, particularly with arithmetic. This paper outlines the psychological, physiological, and pathological background of children with CP and reviews the literature on working memory deficits among them. Periventricular leukomalacia is common in patients with CP and may be associated with a wide range of visual perceptual deficits and visuospatial working memory (WM) deficits. Although not all children with CP have difficulties with mathematics, children with CP who also have WM deficits are more likely to develop them. Information about the role WM plays in mathematics skills among children with CP is limited. Working memory tests must be formatted in a way that prevents them from being affected by movement disorders.

keyword : 脳性まひ cerebral palsy、脳室周囲白質軟化症 Peri-Ventricular-Leukomalacia、算数困難 mathematical difficulties、ワーキングメモリ working memory

1 はじめに

肢体不自由は脳性まひのような脳性疾患、二分脊椎のような脊椎脊髄疾患、神経性筋萎縮のような末梢神経の疾患、進行性筋ジストロフィーのような筋原性疾患、先天性骨形成不全症のような骨系統疾患、ムコ多糖代謝異常症のような代謝性疾患、ペルテス病のような骨関節疾患などさまざまな原因によって生じる。中でも脳性まひは肢体不自由の最大の要因となっており肢体不自由特別支援学校ではおよそ3割が脳性まひを原因とする児童生徒が在籍している（三嶋ら，2018；全国特別

支援学校肢体不自由教育校長会，2020）。

脳性まひとは、受胎から新生児期（生後4週以内）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及び姿勢の異常である（厚生省特別研究，1969）。現在は1000人の出生に対しておよそ2人に生じる（當山・當山，2008；鈴木ら，2009；小寺澤ら，2016）とされる。脳性まひは単一疾患ではなくその原因はさまざまである。例えば出生前の遺伝子・染色体異常、TORCH症候群のような感染症、周産期の低酸素血症などである。特に原因として多く見られるのは低酸素による脳室周囲白質軟化症（PVL：Peri-Ventricular-Leukomalacia）である（小寺澤ら，2016）。PVLは脳室周囲の血管の未発達な領

* 広島文化学園大学 学芸学部 子ども学科

域が脳低灌流の影響を受け軟化が生じると考えられ、PVLの好発部位が錐体路を含んでいるために痙性麻痺となりやすい（本山，2015）。また脳室付近に下肢への神経線維が通るので下肢麻痺が生じやすく、病変がさらに視放線に広がっている場合は視覚認知障害が生じやすい（本山，2015）。

脳性まひのある子どもでは肢体不自由以外に知的障害の併存や認知、学習の困難などを示すことが知られている。最近の日本の3県における悉皆調査では知的発達に関してはおよそ8割が知的障害の範囲にあり内訳として最重度26.8%、重度22.5%、中等度18.2%、軽度11.3%となっているが、一方で14.7%は知的障害を伴わない（公益財団法人日本医療機能評価機構，2018）。認知的な困難としては古くから現在に至るまで視覚認知の困難、あるいは知覚－運動の障害のあることが知られてきた（e.g., 昇地，1971；亀口，1972；小枝，1995；渡邊，2009）。手の心的回転課題を用いて運動イメージに障害があることも示されている（Steenbergen et al., 2007）。こうした障害は早産児のPVLを伴う5人の子どもや脳性まひのある子どもでWISCの言語性IQに比べ動作性IQが低下していること（Jacobson et al., 1996；Goodman et al., 1996）、PVLによる視知覚障害があると推定される超低体重出生児1例がWISC-IIIの言語性IQは平均範囲にあるのに対して動作性IQが著しく低いこと（伊達・宇野，2014）からも示唆されるように、言語的な情報の処理にくらべて相対的に視空間的な情報の処理の困難が見られる。

このような個人内差に対応してPVLによる視知覚障害があると推定される子どもで読みには困難が見られず漢字の書きに困難が見られた（伊達・宇野，2014）。ただし脳性まひのある子どもが読みの流暢性で遅れが見られたり（Jenks et al., 2012；村松ら，2015）、知的発達に著しい遅れはないPVLが原因とされる脳性まひ児において話題の内容理解の苦手さのあることが示唆された（加藤・川間，2018）ように、言語性IQの相対的な高さは言語能力全般の強さを必ずしも示すものではない。

片まひのある子どもでは読みの困難（18.6%）に比べると算数の困難（25.4%）が生じやすいとされる（Frampton et al., 1998）。次節で述べるように算数の学習の困難は視知覚の障害や知覚－運

動の障害と関連が深いと考えられる。そして読みの学習の困難に比べると算数の学習の困難は研究が遅れてきた（Wilson & Dehaene, 2007）。本稿では脳性まひのある子どもにおける算数の困難に影響する認知的な要因について、アセスメント方法とワーキングメモリを中心に検討し研究動向を報告する。

2 算数の学習と関連する要因

近年、算数の学習に影響を与える要因について急速に研究が拡大してきている。算数困難には様々な要因が関与するため算数障害の原因はまだ明確には明らかになっていないが、数量（Number Sense: 数感覚、数覚とも）の障害は中核的な要因としてみなされている（e.g., Butterworth, 2018）。数量は数とそれに対応する量についてを示す概念であり（湯澤・湯澤（2011）を参照）、基数的である（Butterworth, 2005）。例えば序数的に「いろは」を順番を表す符号として用いるとき「は」は「3番目」を意味する。しかし「1」と「3」を見たとき私たちは量の違いの感覚を感じるが「い」と「は」を見たときは感じられない（一例として「 $1 - 3 =$ 」を見ると引けないと感じるが「 $い - は =$ 」を見てもそれほど不自然には感じない）。数がこうした量の感覚を伴うこと（Dehaene（1997/2011）を参照）、算数障害のある子どもが視空間的な短期記憶に弱さを示すこと（McLean & Hitch, 1999）は、視知覚の障害と算数の困難の直接的・間接的な関連性を示唆する。実践現場においても岡本ら（2015）らの肢体不自由児への算数学習支援も同様な認識に基づいていると言えるだろう。数量以外では指認識の障害（指失認：finger gnosis）やワーキングメモリの障害なども重要な要因と考えられている。以下では脳性まひのある子どもにおける研究で取り上げられている要因について述べていく。

1) 数量の処理

画面上に示されたいくつかのドットの数を手早く答える課題では、成人では3～4個であればほとんど同じ反応時間で答えることができ、それより大きい数では答えるまでの反応時間が直線的に

増加する (Mandler & Shebo, 1982)。3～4までの個数を瞬時に把握できることはサビタイジングと呼ばれ、ゼネラルな知的発達とは異なった、数モジュールに関連した処理であると考えられている (Reeve et al., 2012)。脳性まひのある子どもではこのサビタイジングの範囲が小さいことが知られている (Arp et al., 2006)。このような実験で用いられる数量の処理の課題では被験者が回答する際に必要な動作はボタンを押す操作のみであり運動障害がある子どもでも実施しやすい。しかし反応速度が指標となるため実験手法に工夫が求められるであろう。

2) 指認識

低い年齢の子どもは計算の際に指を使うことが日常的に観察されるように、指と計算の間に密接な関連があることは従来から指摘されてきた (e.g., Fuson, 1988)。指と数に関する能力の関連は実験的にも検証がなされている。例えば幼児が物の数を数える課題を遂行するとき、同時に指を動作させる課題に取り組む場合と足を動作させる課題に取り組む場合では前者の方が数えることについての正確性が下がる (Crollen & Noël, 2015)。また指認識についても関心が向けられている。指認識を測定するために用いられる課題には幼児自身が指を見えないように箱をかぶせた上で検査者がいくつかの指を触り、箱を取り去った後にどの指が触られたか答えるものがある。この指認識課題の成績が数に関する正確性得点と中程度の相関を示すことが報告されている (Noël, 2005)。脳性まひのある子どもにおいても指認識の問題と数量処理の関係について検討されている (Thevenot et al., 2014)。脳性まひのある子どもでは運動障害によって指の操作に困難が伴いがちであり、指認識について今後さらなる検討が必要であろう。

3) ワーキングメモリ

一時的に情報を保持する働きであるワーキングメモリは算数の学習に影響することが知られている (Raghubar et al., 2010)。よく知られている例として $29 + 17$ を暗算しようとするとき一の位を計算した後に十の位を計算しているとき一の位の数を覚えておかなければ正しい答えに至ることができ

ない。暗算に限らず条件を比較したり、記号が何を表しているか覚えておいたり、元の図形の形を覚えておきながら変形させたり、算数の学習の中では情報を一時的に保持することがよく求められる。次節では脳性まひのある子どもにおけるワーキングメモリの研究について概要を述べていく。

3 脳性まひ児におけるワーキングメモリと算数との関連についての研究とワーキングメモリのテスト

近年、健常児や算数障害児を対象として算数学習にワーキングメモリがどのような影響を与えるかについては多くの研究がなされてきたが、脳性まひの子どもにおけるワーキングメモリと算数学習の関連について検討されたものは少ない。Tajadini et al. (2019) が行った脳性まひ児のワーキングメモリと算数に関する研究のレビューにおいても最終的に基準を満たした論文は7に過ぎなかった。

1) Jenksらの研究

オランダのJenksらは脳性まひのある子どもを対象として縦断研究を行った。Jenks et al. (2009)、Jenks et al. (2012) では脳性まひのある子ども57名と健常児16名を対象としてワーキングメモリや実行機能、加減算のテスト、読みテストを実施した。2年生でのワーキングメモリの得点は3年生での加減算テストと中程度の相関が見られた。また視空間的短期記憶は算数の文章題を予測したが読みの困難は予測せず、言語的短期記憶は読みを予測したが文章題を予測しなかったようにワーキングメモリのそれぞれの要素がさまざまな学習と異なる関連を示した。このように脳性まひのある子どもでワーキングメモリが算数の学習に影響することが示されている。

Jenksらは既成のワーキングメモリテストバッテリーを用いているのではなくそのいくつかを取り出して実施したり伝統的に用いられてきた課題を実施している。またワーキングメモリモデルとして基づいているのはBaddeley & Hitch (1974) のモデルであるが、ワーキングメモリの課題として採用されているのは情報の保持のみを要求するも

のであり、処理と保持とを要求する課題は実行機能の更新として位置づけられている。Jenksらが用いたワーキングメモリの課題の概要を以下に述べる（用語はJenksらに基づいて表記する）。

①音韻ループ

音韻ループ（言語的短期記憶）課題として Pickering & Gathercole（2001）が開発した Working Memory Test Battery for children（WMTB-C）の中から数唱（Digit Recall）を用いている。これはテスターがいくつかの数字を子どもに口頭で提示し、子どもがそれを順番通りに再生する課題である。

②視空間スケッチパッド

視空間スケッチパッド（視空間的短期記憶）課題としてKnox Block（e.g., Knox, 1914）を用いている。これは一列に並んだブロックをテスターが特定の順序で指差し、子どもは提示された順番通りに指差して答える課題である。視空間的短期記憶の課題としては一般的にCorsi Block（Corsi, 1972）が用いられるが、板上にブロックが分散して配置されているためにKnox Blockに比べると指差するための手の移動距離が長く動作が複雑になる。Jenksらは脳性まひの子どもが取り組みやすいことを意図してKnox Blockを採用している（Jenks et al, 2009）。

③実行機能の更新

実行機能の更新の課題としてPickering & Gathercole（2001）が開発したWorking Memory Test Battery for children（WMTB-C）の中央実行系課題である逆唱（Backward Digits）を用いている。これはテスターがいくつかの数字を子どもに口頭で提示し、子どもがそれを逆の順番で再生する課題である。更新を測定する目的としては一般的にn-Back課題が用いられるが、Jenksらはこの課題に計数の難しさが反映される可能性があるとして、逆唱を採用している（Jenks et al, 2009）。なおこれ以外にJenksらは実行機能の課題としてシフティングと抑制の課題も用いている。

2）Van Rooijenらの研究

オランダのVan Rooijenらも脳性まひのある子どもの算数学習についての検討を行ってきており（e.g., Van Rooijen et al., 2011）、ワーキングメモリと算数学習についての縦断研究を行ってい

る。Van Rooijen et al.（2015）やVan Rooijen et al.（2016）では56名の脳性まひのある子どもを対象としてワーキングメモリや微細運動スキル、計数、加減算のテストを実施した。ワーキングメモリや微細運動スキルの得点は1年後の加減算テストの得点を予測することが示された。なお7歳時でのワーキングメモリのテスト得点と8歳時の加減算テストの成績の関連については言語領域の課題よりも視空間領域の課題の方がより強い相関を示していた。本研究のワーキングメモリのテストの構成はJenksらと同様で、ワーキングメモリの課題として採用されているのは情報の保持のみを要求するものであり、処理と保持とを要求する課題は実行機能を測定するものとして位置づけられている。他の実行機能の課題は実施していないため、ここで言う実行機能とはBaddeley & Hitch（1974）のワーキングメモリモデルの中央実行系に相当すると言える。Van Rooijenらの用いたワーキングメモリの課題の概要を以下に述べる（用語はVan Rooijenらに基づいて表記する）。

①言語性ワーキングメモリ

言語性ワーキングメモリ課題としてAlloway（2007）によるAutomated Working Memory Assessment（AWMA）の中から単語再生（Word Recall）を用いている。コンピュータで提示される単語を子どもはコンピュータ画面上で同じ順番になるよう単語をクリックすることで再生する。

②視空間性ワーキングメモリ

視空間性ワーキングメモリ課題としてCorsi Block（Corsi, 1972）を用いている。この課題は板上にブロックがランダムに散らばったように配置されており、テスターがブロックを特定の順序で指差すると、その後に子どもは提示された順番通りに指差して答える課題である。前述のKnox Blockはブロックが一列に並んでいるため、テスターが指差した順番を子どもがブロックの位置に対応させ「3、2、4」のように言語化する方略を用いる可能性がある。Corsi Blockではそのような方略を使いにくいと考えられる。ただしJenks et al.（2009）も述べているように平面で手指を操作する必要のあるCorsi Blockよりも直線的に手指を操作するKnox Blockの方が脳性まひのある子どもには取り組みやすい可能性がある。

③実行機能

実行機能の課題としてAWMAから数の逆唱 (Backwards Digit Recall) を用いている。この課題はコンピュータで提示される数を子どもがコンピュータ画面上でそれと逆の順番になるように数字をクリックすることで再生する。

4 おわりに

JenksやVanRooijenらが行った研究ではワーキングメモリが脳性まひのある子どもの算数学習に影響していることが示されている。現在は研究数そのものが少ないが、今後、脳性まひのある子どもの学習の困難の状態と合わせてワーキングメモリの特性が明らかにされていくことが期待される。

今後の課題として、上肢の運動障害の影響を受けにくいようなテスト実施形式への配慮が必要になるだろう。またJenksらやVan Rooijenらを用いたワーキングメモリのテストバッテリーは課題の数が少なく、個々の脳性まひのある子どものワーキングメモリ特性を把握するには十分ではない可能性がある。算数だけでなく読み書きの学習支援を効果的に行うためには、より充実した課題数のワーキングメモリテストバッテリーで特性を把握することが望ましい。

[引用文献]

- Alloway, T.P. (2007). *Automated Working Memory Assessment*. London: Pearson Assessment.
- Arp, S., Taranne, P., & Fagard, J. (2006). Global perception of small numerosities (subitizing) in cerebral-palsied children. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 28 (3), 405-419.
- Baddeley, A.D., & Hitch, G.J. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, pp. 47-89. New York: Academic Press.
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of child psychology and psychiatry*, 46 (1), 3-18.
- Butterworth, B. (2018). *Dyscalculia: From science to education*. Routledge.
- Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International*, 34, 819B.
- Crollen, V., & Noël, M. P. (2015). The role of fingers in the development of counting and arithmetic skills. *Acta Psychologica*, 156, 37-44.
- 伊達健司, & 宇野彰. (2014). 脳室周囲白質軟化症による視知覚障害が特異的書字障害の原因と推測された1例. *音声言語医学*, 55 (2), 173-179.
- Dehaene, S. (1997). *The number sense*. New York, NY: Oxford University Press.
- Frampton, I., Yude, C., & Goodman, R. (1998). The prevalence and correlates of specific learning difficulties in a representative sample of children with hemiplegia. *British Journal of Educational Psychology*, 68 (1), 39-51.
- Fuson, K. C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. New York: Springer Verlag.
- Goodman, R., Yude, C., Richards, H., & Taylor, E. (1996). Rating child psychiatric caseness from detailed case histories. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37 (4), 369-379.
- Jacobson, L., Ek, V., Fernell, E., Flodmark, O., & Broberger, U. (1996). Visual impairment in preterm children with periventricular leukomalacia—visual, cognitive and neuropaediatric characteristics related to cerebral imaging. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 38 (8), 724-735.
- Jenks, K. M., De Moor, J., & Van Lieshout, E. C. (2009). Arithmetic difficulties in children with cerebral palsy are related to executive function and working memory. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50 (7), 824-833.
- Jenks, K. M., van Lieshout, E. C., & de Moor, J. M.

- (2012). Cognitive correlates of mathematical achievement in children with cerebral palsy and typically developing children. *British Journal of Educational Psychology*, 82 (1), 120-135
- 亀口憲治. (1972). 脳性マヒ児の視覚構成行動に関する研究. *特殊教育学研究*, 10 (1), 1-8.
- 加藤隆芳, & 川間健之介. (2018). 脳性まひ児の説明的文章における話題の構成能力に関する検討. *リハビリテーション連携科学*, 19 (1), 2-9.
- Knox, H. A. (1914). A scale based on the work at Ellis Island for estimating mental defect. *Journal of the American Medical Association*, 6210, 741-747.
- 小枝達也. (1995). 未熟児脳性麻痺における認知障害. *リハビリテーション医学*, 32 (9), 594-598.
- 公益財団法人日本医療機能評価機構 脳性麻痺児の実態把握に関する疫学調査プロジェクトチーム. (2018). 脳性麻痺児の実態把握に関する疫学調査報告書.
- 厚生省. (1969). 特別研究「脳性小児麻痺の成因と治療に関する研究」. 昭和43年度第2回班会議.
- Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing: an analysis of its component processes. *Journal of experimental psychology: general*, 111 (1), 1-22.
- McLean, J. F., & Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of experimental child psychology*, 74 (3), 240-260.
- 三嶋和也, 内海友加利, 池田彩乃, & 安藤隆男. (2018). 学齢肢体不自由児の就学実態について 肢体不自由特別支援学校通学区域に着目して. *障害科学研究*, 42 (1), 185-196.
- 本山和徳. (2015). 原因と病理. In 穂山富太郎, 川口幸義, 大城昌平 (編著), *脳性まひハンドブック第2版* (pp. 8-17). 医歯薬出版株式会社.
- 村松友佳子, 夏目淳, 中村みほ. (2015). 脳室周囲白質軟化症の1例における認知および言語能力の検討. *脳と発達*, 47 (5), 363-366.
- Noël, M. P. (2005). Finger gnosis: a predictor of numerical abilities in children?. *Child Neuropsychology*, 11 (5), 413-430.
- 岡本義治, 佐藤孝二, 田丸秋穂, & 宮崎善郎. (2015). 視覚認知機能に難しさのある肢体不自由児の算数・数学科の指導-視覚特別支援学校から整理した指導方針の検証(2) 量と測定領域. *筑波大学特別支援教育研究*, 9, 9-20.
- 小寺澤敬子, 岡田由香, & 宮田広善. (2016). 姫路市における1983年から25年間の脳性麻痺発生の推移. *脳と発達*, 48 (1), 14-19.
- Pickering, S. J., & Gathercole, S. E. (2001). *Working Memory Test Battery for Children*. London: Psychological Corporation.
- Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and individual differences*, 20 (2), 110-122.
- Reeve, R., Reynolds, F., Humberstone, J., & Butterworth, B. (2012). Stability and change in markers of core numerical competencies. *Journal of Experimental Psychology-General*, 141 (4), 649-666.
- 鈴木順子, 宮嶋智子, & 藤井達哉. (2009). 滋賀県の脳性麻痺の疫学的検討—1977～2000—第1編 滋賀県の脳性麻痺の発生動向—出生体重別・在胎週数別分析. *脳と発達*, 41 (4), 279-283.
- Steenbergen, B., van Nimwegen, M., & Crajé, C. (2007). Solving a mental rotation task in congenital hemiparesis: motor imagery versus visual imagery. *Neuropsychologia*, 45 (14), 3324-3328.
- 昇地勝人. (1971). 脳性マヒ児の視覚-運動機能の分析的研究 認知と構成. *心理学研究*, 42 (2), 55-66.
- Tajadini, S., Farpou, H., & Farpour, S. (2019). The Relationship Between Working Memory and Acquisition of Mathematical Strategies in Children with Cerebral Palsy A Review of

- Literature Journal of Rehabilitation Sciences Research 63 103-108.
- Thevenot, C., Castel, C., Danjon, J., Renaud, O., Ballaz, C., Baggioni, L., & Fluss, J. (2014). Numerical abilities in children with congenital hemiplegia: An investigation of the role of finger use in number processing. *Developmental neuropsychology*, 39 (2), 88-100.
- 當山真弓, & 當山潤. (2008). 沖縄県における脳性麻痺の発生率について. *脳と発達*, 40 (5), 387-392.
- Van Rooijen, M., Verhoeven, L., & Steenbergen, B. (2011). Early numeracy in cerebral palsy: review and future research. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53 (3), 202-209.
- Van Rooijen, M., Verhoeven, L., & Steenbergen, B. (2015). From numeracy to arithmetic precursors of arithmetic performance in children with cerebral palsy from 6 till 8 years of age. *Research in developmental disabilities*, 45, 49-57.
- Van Rooijen, M., Verhoeven, L., & Steenbergen, B. (2016). Working memory and fine motor skills predict early numeracy performance of children with cerebral palsy. *Child Neuropsychology*, 22 (6), 735-747.
- 渡邊章. (2009). 肢体不自由のある子どもの認知面の困難と支援方法に関する研究動向について. *植草学園大学研究紀要*, 1, 69-76.
- Wilson, A. J., & Dehaene, S. (2007). Number sense and developmental dyscalculia. . In D. Coch, G. Dawson & K. Fischer (Eds.), *Human behavior, learning, and the developing brain: Atypical development* (2nd ed.) (pp. 212-237). New York: Guilford Press.
- 湯澤正通, & 湯澤美紀. (2011). 乳幼児期の数量の概念変化. *心理学評論*, 54 (3), 283-295.
- 全国特別支援学校肢体不自由教育校長会. (2020). 令和2年度全国特別支援学校（肢体不自由）児童生徒病因別調査.