

多様な特性を持つ子どもたちへの効果的な算数・数学教育の在り方について —ディスカリキュリア、ワーキングメモリと認知負荷理論の視点から—

小池 嘉志*

Effective Approaches to Arithmetic and Mathematics Education for Children with Diverse Characteristics: From the Perspectives of Dyscalculia, Working Memory, and Cognitive Load Theory

KOIKE Yoshiyuki

要 約

学校の教室には学習に困難を抱える子どもたちが一定の割合で存在する。とくに読み・書き、算数に困難を抱える子どもたちは、それぞれディスレクシア、ディスカリキュリアと呼ばれ、学習活動全般に支障をきたす。これら学習障害をもつ子どもたちは、ワーキングメモリ (WM) に課題があることが知られている。WMの容量が小さい子どもは、複数の情報を同時に処理するのが困難であり、それが学校で一般的に行われる従来型の授業と相まって学習を困難にしている。この学習スタイルは、WMの制限がある子どもばかりではなくすべての学習者にとって、情報処理の負担が増す。この問題に対する解決策の一つとして、認知負荷を軽減させる効果があるとされる「部分提示」に着目した。そして小池 (2021) による発見的追跡法の有効性を認知負荷理論の視点から考察し、算数障害の子どもたちばかりではなくすべての子どもにとって学びやすい実用可能な授業方法として提案する。

キーワード：ディスカリキュリア、ワーキングメモリ、認知負荷、部分提示

1. はじめに

学校の教室には様々な特性をもった子どもたちが在籍している。その中には、知能には問題はないが特定の学習に困難を抱える子どもたち、いわゆる学習障害と呼ばれる子どもたちが一定の割合で含まれている。学習障害の中でも学習に直接影響を及ぼす障害として読字障害・読み書き障害 (ディスレクシア) と算数障害 (ディスカリキュリア) が知られている。学校教育における読み・書き・算数のスキルは、他教科の学習の理解および技能の習得の基盤と

なるなど学校学習にとってはなくてはならないものである。したがってこれらの基本的スキルが身についていないと学習への大きな障害となる。また明らかな障害があるというわけではないが、学習中のいろいろな場面で先生や友達の話の内容が理解できない、よくわからないといったことは往々にしてある。

算数学習に的を絞ると、ディスカリキュリア研究の歴史はディスレクシアと比較して新しく、その認識と研究が進むのは2000年代以降になってからである。近年では、個々の子どもが抱える様々な困難に対応する具体的な方法が提案され、学校の教育現場に広まりつつあるが、それらの対策はまだまだ緒に就いたばかりである (河村, 2022; Shalev,

* 中部大学現代教育学部現代教育学科

2004)。

これら学習に困難を抱える子たちの多くはワーキングメモリ（以下WMと表記する）に問題を抱えていることが知られている（湯澤, 2019）。WMの、学習における働きは、情報を一時的に保持しながら他のタスクをこなすというものであり、算数の学習においても重要な役割を果たす。したがってWMの容量が相対的に小さい子どもは、処理できる情報量が通常の子たちと比べて限られるため、提示された情報を処理しきれなかったり、処理に時間がかかったりする。そのため学習内容を理解しきれずにオーバーロード状態に陥ってしまい学習が困難になってしまう。

一方学校で伝統的に行われている従来型と呼ばれる授業スタイルは、教師と一部の子どもの間での対話を中心であり、多くの子どもはその対話を聞くことで学習が進められる。このような受動的な学習スタイルは、WMの容量が制限されている子どもにとって、多くの情報を同時に処理する負担が増大する。その結果、能動的な学習や深い理解を促す「精緻化」が困難となり、学習は表面的で浅いものに留まってしまう（小池, 2021）。WMの容量が小さい子どもにとって、このような授業スタイルは学習の困難性を一層高めてしまう。

本稿ではこのように、WMの影響で算数学習に困難を抱える子たちに対して、与える情報を制御して提示するという方法の有効性を考察する。具体的には情報をいくつかのまとまりのある部分に分けて提示する部分提示である。これによって子どもたちの認知負荷を軽減し、学習に困難を抱える子たちを中心として、すべての子どもたちが学びやすい学習環境を創り出そうというものである。本稿では認知負荷の視点から部分提示の効果について理論的に考察し、実際の授業で実用可能な方法を提案するものである。

2. ディスカリキュリアとワーキングメモリ(WM)

2-1 ディスカリキュリアについて

ディスカリキュリア (Dyscalculia) は、算数や数学に関する学習障害の一つであり、1970年代に

その概念が初めて提唱された。ディスカリキュリアに関する研究は、読字・読み書き障害であるディスレクシア (Dyslexia) に関する研究よりも遅れており、2000年代に入ってから研究が急速に進展し始めた。この学習障害は、基本的な算数のスキルだけでなく、数の認識、計算の手順、数学的推論に至るまで多くの側面に影響を与えるとされている。この分野の研究はまだ新しく、理解が進んできたばかりであり、さらなる研究が必要である (Butterworth, 2005)。

ディスカリキュリアの子どもたちは算数の基本的な概念の理解が不足している。数値や記号を正確に認識する能力が低く計算の手順や数字そのものを覚えることが難しいケースも多い。さらに、量感が乏しく空間認知に問題を有していることもあり、物のサイズや量を正確に比較することが難しい場合もある。またディスカリキュリアの子たちは言語能力にも問題を抱えている場合が多い。数学に関連する言葉や表現を理解し、それを使って複雑な問題を説明する能力が低い。また心的にも、多くのディスカリキュリアの子どもたちは、算数・数学に対する苦手意識をもっており不安やフラストレーションを感じ、自信を欠いている。さらに日常生活の中でも、お金の計算、時間の計測といった基本的な数学のスキルに困難を抱えていることもある。この障害はしばしば他の学習障害や注意障害 (ADHD) と共存することがあり、専門家による診断と個別化された教育計画が必要である。これらの子どもたちは総合的な評価と個別のニーズに応じた教育的サポートが必要とされる (アロウェイ, 2023)。

2-2 ディスカリキュリアの子どもたちが抱える学習への困難性

私たちは通常2と5が提示され、どちらが大きいかと問われれば瞬時に5と答えることができる。それは私たちには数の大小に関する概念ができあがっており、2と5などの数の大小を判断することができる心的イメージをもっているからである。またどのような心的イメージをもつかは人それぞれによる。

例えば2と5と言われれば、数直線を思い浮かべ2と5の大小を判断する人もいる。2と5のどちらが右に位置するかで数の大小を判断するのである。あ

るいは●や■など、具体物や半具体物を思い浮かべ、その個数の多少などのイメージが思い浮かぶ人もいるだろう。またソロバンなどの映像を思い浮かべる人もいるかもしれない。いずれにしても私たちには2という数と5という数の心的なイメージをもっているのである。ところがディスカリキュリアの子どもたちは数の大小の判断が私たちほどスムーズにはできない。それはディスカリキュリアの子どもたちは、数の大小に関わる心的なイメージができあがっていないからだと考えられる。

河村（2021）はディスカリキュリアの子どもたちが抱える算数学習への困難性について、1, 2, 3……という数の順序性を、「いろはにほへと……」の順序性に例えて述べている。私たちは通常「いろはに……」という文字の並びには慣れていない。すなわち「へ」と「ほ」はどちらが大きい（どちらが後に出てくるか）と問われても瞬時には判断できない。判断するためには「いろはに……」と唱えてみて、改めてどちらが先に出てくるかを考え判断する必要がある。

ディスカリキュリアの子どもたちの数の大小比較の困難性についてもこれと同じだという。そのためディスカリキュリアの子どもたちはしばしば文章題における演算決定がうまくいかないことがある。例えば「とりが7わいました。2わとんでいきました」という場面を表す数式を $2-7$ と表記してしまう子がいるという。文章を数式に表すためには文章が表している場面をイメージできなければならない。ディスカリキュリアの子どもたちはこれがうまくいかず、数の大小比較の困難性と相俟ってこのような表記をしてしまうと考えられる。すなわち意味がうまく捉えられない、精緻化できないのである。

またディスカリキュリアの子どもたちはしばしば $4+3=12$ と答えることがあるという。これは4と3を見て 4×3 という九九が思い浮かんだためである。私たちは加法九九を習得しており、一桁たす一桁のたし算は答えを暗記しているため、いちいちイメージを思い浮かべたりすることなく自動的に答えが出てくる。ディスカリキュリアの子どもたちは、この加法九九とかけ算九九の使い分け、シフティングがうまくいかないことがあるのである。このようなことはすべてWMの弱さに起因している（河村、

2021）。

3. ワーキングメモリ（WM）と算数・数学の学習

3-1 ワーキングメモリ（WM）研究の歴史

WMとは、様々な課題を遂行中に、その処理に必要な情報を一時的に保持しておく記憶システムのことであり、私たちの複雑な思考のための能力を支えている。例えば私たちが友だちに、最寄りの駅から自宅までの行き方を教えるといったとき、私たちは駅から自宅までのルートのイメージを思い浮かべ、友だちにわかりやすい言葉で行き方を説明する。このように、ルートのイメージといった情報を一時的に保持しながら、説明というタスクをこなす。この一連のタスクを支えているのがWMなのである（バドリー、2012）。

Baddeley & Hitch（1974）は、当時までの認知心理学において主流だった「短期記憶」と「長期記憶」の2つのモデルに、WMという新しい概念を組み入れたモデルを提唱した。それによって、単なる情報の一時的な保持だけでなく、情報の処理や操作も含めたより複雑な認知活動を理解するための基礎を築いた。それまでのモデルでは、短期記憶は情報を一時的に「保存」する場所として認識されていたが、BaddeleyとHitchのモデルによるWMは、情報を「操作」する場所として位置づけられるようになった。これにより、単なる記憶容量だけでなく、問題解決や計画など、より複雑な認知タスクに焦点を当てる研究が進展することになった（Baddeley & Hitch, 1974）。

WMのモデルについてBaddeley（1981）は、WMは複雑な課題や計画、意志決定に関わる中央実行系、心内音声リハーサルによって言語的情報を一時的に保持する音韻ループ、そして視覚的または空間的な情報を一時的に保持する視空間スケッチパッドの3つのサブシステムからなるとしている。その後Baddeley（2000）ではWMの4つ目のコンポーネントとしてエピソードバッファを追加した。それまでのWMのモデルでは、容易には捉えられない現象が多く存在していた。とくに視覚的と言語的な情報が統合される過程や、長期記憶との相互作用に

についての説明が不足していた。それらを補うために追加したのがエピソードバッファというコンポーネントである。

エピソードバッファの主な役割は、複数のモードでコーディングされた情報を一時的に保持し、それらを統合することである。このバッファはまた、WMと長期記憶との橋渡しも行う。すなわち長期記憶から取り出した情報と新しく取り入れた情報を結びつけ、新しいエピソードや知識の構築に役立てる、すなわち新情報を精緻化する役割をもつ (Baddeley, 2000)。これらを踏まえてWMの仕組みを図で表すと図1のようになる。¹⁾

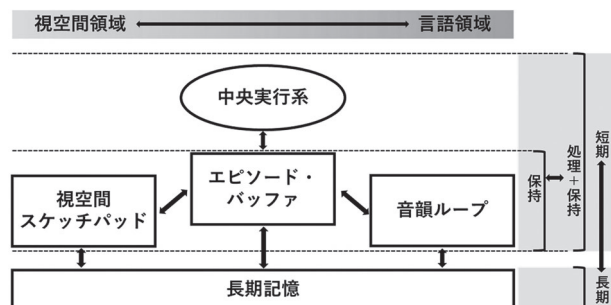


図1 ワーキングメモリのモデル (河村, 2021)

注1: WMのモデルはもとも Baddeley (2000) による。それをもとに湯澤等 (2014)、河村 (2021) が説明を加えたものが図1のモデルである。

3-2 音韻ループと算数・数学の学習

音韻ループはWMのサブシステムの一つであり、言語的な情報を一時的に保持し、反復することでその情報を活用可能な状態に維持する働きをもっている。したがって我々が日常的に行う多くの認知活動や学習にとって大変重要な役割を果たしている。

算数・数学の学習では数学的な概念や計算の手順などを一時的に保持し、理解や適用の過程で利用することが重要となる。例えばたし算の筆算の計算方法の習得の場面では、桁数がいくら多くなっても、一桁たす一桁の計算を手順に従って機械的に繰り返せばよい。筆算の学習をし始めた頃の子どもたちは、この計算の手順のきまりを心的に保持しながら計算を行う。手順を心の中で何度も繰り返し、計算を進めていくのである。しかし慣れてくればその手順は自動的に行うことができるようになる。また方程式の学習でもそうである。中学校での方程式の学習は、等式の性質や移項を使って機械的に処理をする。初

めのうちは等式の性質や移項のルールを心的に保持し、解を求めるというタスクをこなしていく。しかしこれも慣れてくれば心的な負担もなくなり、自動的にこの処理ができるようになる。

このように計算のルールや、意味を心的に保持しながらタスクをこなしていくときに支えとなるのが音韻ループである。音韻ループはこのような場面で活動し、必要な情報を一時的に保持するという役割をもつ。その結果情報は長期記憶に移行し、計算活動や問題解決に関わる代数的な処理活動の身体化 (鈴木, 2022) に繋がる。音韻ループはそのような学習の基盤を作る (Baddeley, 1981)。

3-3 視空間スケッチパッドと算数・数学の学習

視空間スケッチパッドもWMのサブシステムの一つであり、視覚的や空間的な情報を一時的に保持しておく役割を果たしている。例えば我々は地図を眺めながら目的地までのルート进行を描くことができる。また初めての部屋に入ってすぐに出てきたとしても、その部屋にどのような家具がおいてあったか、またそれがどのような配置だったのかということを知覚している。このように我々が視覚的なタスクや空間的な問題解決に取り組む際に、必要な情報を利用できる状態に保っておくのが視空間スケッチパッドの役割である。

算数・数学における文章題の学習では問題場面を思い浮かべることが必要となる。例えば小学校2年生で、「はじめに子どもが24人あそんでいました。そこへ友だちが来ました。みんなで35人になりました。友だちは何人来ましたか。」という問題がある。この文章題に取り組む場合、子どもが24人いるところに何人かがやってきて全部で35人になったという情景が心的に描けなければ演算決定はできない。このときに問題の情景を思い浮かべ一時的に保持するのが視空間スケッチパッドの役割である。

また図形の学習に際しては、心的に図形を描きそれを一時的に保持し考えるということが必要になる。例えば三角形についての学習をするときなどは、ある三角形を思い描きその角度や辺の長さについて考察することができる。「直角三角形」と聞けば私たちはすぐに頭の中でその形を思い描く。それらは

すべて視空間スケッチパッドの働きによる。そしてその「心的な図形」を使って、斜辺、高さ、底辺などの概念についても考察することができる。

このように視空間スケッチパッドは、算数・数学の学習に必要な問題場面や図形の形や特性などを頭の中で明確にイメージすることで、それについて学ぶ過程をサポートしてくれる。それによって算数・数学の問題を解く際や新しい概念を学ぶ基盤となり、理解深化に繋がっていく。

3-4 中央実行系と算数・数学の学習

中央実行系はWMの一部として、音韻ループや視空間スケッチパッドといった他のサブシステムと連携して、情報処理や注意のコントロール、タスクの計画といった高次の認知機能を支える。中央実行系の主な機能としてあげられるのは更新(Updating)、シフティング(Shifting)、抑制(Inhibition)の三つである。更新というのは、WMに保存されている情報を継続的に更新し、最も関連性のある情報だけを保持する役割を果たす。シフティングは、異なるタスクや考え方にスムーズに切り替える能力であり、マルチタスクを行う際や、問題解決のために新しい視点を取り入れる際に働く機能である。抑制は不要な情報や誘惑を抑えることで、目的に沿った行動をとることを可能にする機能である。これらの機能が相俟って中央実行系は様々な学習活動をコントロールする(湯澤等, 2014)。

例えば前節の問題では、視空間スケッチパッドにより問題場면을映像化した後に演算決定を行うことが必要となる。この演算決定に関わって働くのが中央実行系になる。子どもたちは問題文を読むとまず問題場면을思い浮かべる。そしてその場면을各自のスキーマと照らし合わせ、描き出されている問題場面の解決に最適と考えられる演算を選び出す。そして手順に従い解決を実行する。この解決の実行中にも中央実行系は常に更新、シフティング、抑制などの機能を働かせながら子どもたちの問題解決をサポートしていると考えられる。このように中央実行系は、問題解決のプロセスにおいて必要な、問題の理解、解決の計画、解決の実行、振り返りといった各フェーズのどれにとっても重要な役割を果たしている。

3-5 エピソードバッファと算数・数学の学習

エピソードバッファはWMの一部として働き、複数の情報源からのデータを一時的に保持し、それを統合する機能をもっている。この機能は算数・数学の問題解決において、具体的な物が目の前になくても、音韻情報や視空間情報、それに過去の経験や知識(スキーマ)を統合して、仮想のエピソードや場면을心の中で形作る役割を果たす。この機能によって、我々は問題文を読んだ後に具体的な問題状況を心で描き、その上で最適な解決策や手順を計画することが可能になる(河村, 2021)。このような能力があるからこそ我々は実際の具体物が目の前にない抽象的な問題や、文字だけで提示された問題に対しても考察が可能になり、効率的かつ正確な問題解決が可能となる。

前出の「はじめに子どもが24人あそんでいました。そこへ友だちが来ました。みんなで35人になりました。友だちは何人来ましたか。」の問題解決を例にエピソードバッファの機能を考えてみる。私たちは文章を読むと、子どもがどこかで24人遊んでいる情景、そこに何人かの友だちが加わる情景、そして全部で35人になる情景が思い浮かぶ。そしてそれらの情景は統合され、一つの数理的なエピソードとなる。それを基に我々は「24人遊んでいるところに何人加われば35人になるのだろうか」、あるいは「何人か加わって35人になるのだから、加わった人数を求めるためには35から24を引けばいい」などという思考をすることができる。この思考は先に作り上げられた一連のエピソードを保持しながらのタスクであり、エピソードバッファはこのような保持機能をもっている。

またエピソードバッファが統合した「エピソード」は、子どもたちが既にもっている数学的なスキーマや知識構造と結びつく。これによって、新しい情報が過去に習得した知識に組み込まれ、理解が深まる。この過程は精緻化の過程でもある。この過程がスムーズに行えるかどうか、しばしば数学的な理解や問題解決能力の差として現れるため、エピソードバッファの機能は算数・数学の学習にとって非常に重要である。

3-6 算数・数学の学習とワーキングメモリ (WM)

算数・数学の学習は問題解決の過程を通して行われる。すなわち問題を解決することによって数学的な知識や技能、考え方などを身につけていく。その過程は、問題を共通理解する問題設定の段階、子ども自身による解決に取り組む自力解決の段階、解決をもとに話し合う練り上げの段階、そして授業の学習成果を明確にするまとめの段階という4つの段階で構成され、問題解決型授業と呼ばれている(小池, 2021)。

これまで述べてきたようにWMは算数・数学の学習における問題解決の各フェーズにおいて大変重要な役割を果たす。問題設定の段階ではまず問題を理解することが必要である。ここでは問題文の提示を受け、音韻ループ、視空間スケッチパッド、エピソードバッファの働きによる問題場面のイメージ化、それをもとにした中央実行系による問題の精緻化が行われ、問題の理解に至る。その過程で子どもたちは解決の見通しをもつのだが、そこではエピソードバッファと中央実行系が働くことになる。

次の自力解決においても解決の見通しを保持しながら解決の実行というタスクをこなさなくてはならない。そして練り上げの段階では解法の理解、検討が行われる。ここでは自分自身や友だちの解法を評価・統合することになる。また過去の類似した問題や解法と新しい情報を結びつけることによる精緻化を促し、深い理解に至る。これらは中央実行系やエピソードバッファの働きによる。そしてまとめの段階では学習した新しい知識を既存のスキーマに組み入れ知識の再構成が行われる。ここではたらくのも中央実行系やエピソードバッファである。

以上のように、WMは問題解決にとって大変重要な役割を担っている。したがってWMの容量が相対的に小さい子どもたちは、算数・数学の学習の各フェーズにおいて効率的な思考や問題解決が困難になる。これはとくに、問題が複雑で多くの情報を同時に処理する必要がある場合、または新しい概念を学ぶ際に顕著となることが考えられる。このような困難は、子どもたちが算数・数学に対する自信を失い、学習意欲を減退させることに繋がる。したがって私たちはそのような子どもたちに対して注意深い

対応ときめ細かなサポートをしていくことが必要である。

4. ワーキングメモリ (WM) と認知負荷

4-1 認知負荷について

WMは個人によって差はあるが容量が限られている記憶リソースである。従って一度に処理できる情報量には限りがあるため、この負荷を減らし効率よく学習を進めていくことが必要となる (Jong, 2010)。このWMへの負荷を認知負荷と呼び、認知負荷に着目し効率的な学習活動を進めようという学習理論は認知負荷理論と呼ばれている。認知負荷理論はSweller (1988) により提唱された(湯澤等, 2014)。

認知負荷には不適切な授業デザインや教材の構造によって生じる認知負荷である外在的負荷、一度に処理すべき要素の数が多いなど、課題に必要となる内的処理から発生する負荷である内在的負荷、当該の課題に利用されるリソースを使用する負荷である課題関連負荷の3つの認知負荷が想定されている。これら3つの負荷の合計が認知負荷の総計になる(湯澤等, 2014)。したがって処理すべき情報量が増え、外在的負荷や内在的負荷が高まることにより全体の容量が個人のWMの容量を超えてしまうとオーバーロードとなり学習に着いていけなくなる子どもが出てくることになる。私たちは授業の中でこれらの負荷をいかにコントロールし、子どもたちにとって学習しやすい環境を整えるかということを考えていく必要がある。

4-2 認知負荷の視点から見た従来型授業の問題点

認知負荷理論の視点から考えると、伝統的な教育環境で行われる従来型の授業は、とくにWMの容量が制限されている子どもたちに対しては、学習に対する多くの困難性を抱えている。この授業スタイルでは、教師が主導的に情報を提供する、あるいは教師と一部の子どもたちとのやり取りにより情報を提供し、他の子どもたちはその情報を受け取る形で学習が進行する。この過程で飛び交う情報に対して、WMの容量が制限されている子どもたちは、情報

を受け取りながら同時に効果的にタスクを処理することに困難を抱える可能性がある。すなわち、処理すべき情報量が多すぎ、処理が追いついていかない。このことにより外在的負荷が増す。

また教師と一部の子どもたちの対話が中心になることで、その他の子どもにとっては聞き慣れない言葉や情報が飛び交っている可能性がある。そしてよくわからなくても質問する機会がない。すなわちスキーマに結びつかない情報が多く飛び交っていることになる。そうなると飛び交う情報を有意義に捉えることが難しく、話の内容について行くことができなくなる。すなわち内在的負荷が増すことになる。

これらの負荷が増大することにより、子どもたちは情報を精緻化することができず学びを深めることが困難になる。その結果として、WMの容量が制限された子どもたちは、表面的で浅い学びに留まりがちで、クラス全体としての学習効果は高まっていかない（小池，2021）。したがって、WMの容量が制限されている子どもたちも含め、すべての子どもたちにとって認知負荷を軽減し、学びを深めることができる授業の在り方を追究していくことが必要である。

5. 認知負荷の軽減と部分提示

5-1 わかったつもりと認知負荷軽減の必要性

ディスカリキュリアの子どもばかりでなく、子どもたちにとって、認知負荷の軽減は大きな課題である。通常認知負荷が高まると情報処理の効率が低下し、情報の一部が理解されなかったり、不完全な理解しかされなかったりする。しかし学習における子どもたちのわかり具合の実態を見てみると、情報の処理具合が必ずしもわかる・わからないと一致するわけではない。

子どもたちは認知的に過負荷になっている場合でも、自分が情報を理解しているつもりになることがある。いわゆるわかったつもの状態である（小池，2021）。自分のわかり具合が実際の理解と一致しなくても、自分の理解を過剰に評価したり友達に自分の理解をアピールしようとしたりするのである。このようなわかったつもの状態を避けるためにも、授業では認知負荷を最小限に抑え、正確な理解を促

すことが重要である。

5-2 解法理解活動における認知負荷

問題解決型授業の成否は4つの段階のうち練り上げにおける子どもたちの理解度に左右される。通常自力解決の段階では子どもたちから何種類かの解法が出てくる。仮にそれがA、B、Cの3種類であるとする、クラス全員が3種類の解法すべてを完成してるということは少ない。その場合Aの解法を完成できていない子どもをAにおける未解決者という（小池，2021）。未解決者はA、B、Cそれぞれの解法に対して必ず存在し、解法の数学的価値が高いほどその存在は多くなる。

解法理解活動はそれぞれの解法を取り上げ、解決者がどのように解決をしたのか発表し、クラス全体で検討し理解しようとする活動である。この活動では、解決者の解法の全体を提示し、解決者が解決の過程を口頭で説明するのが一般的である。そしてその説明を受けて教師や一部の子どもたちによってその解決方法が検討され、他の子どもたちはそれを聞いて理解しようとする。すなわち従来型の授業スタイルである。

また子どもたちの解法は、主に数式によって表現されるが、数式には解決の着想から構想、そして解決の手順に至るまで多くの情報が含まれている。解法を理解するためにはそれらすべての情報を、表現された数式から読み取り精緻化できなければならない。ところがこのような解法の全体を提示しての解法理解活動は一度に多くの情報を、それも連続的に処理しなければならず、多くの子どもにとって認知負荷が高い状態になってしまう。その結果解法を精緻化することが難しく、なかなか理解は深まらない。

5-3 部分提示と認知負荷の軽減

Mayer & Moreno（2003）は、マルチメディア学習において認知負荷を軽減する9つの方法の一つとしてSegmentingを提案している。Mayer & Moreno（2003）が提案したSegmentingとは、マルチメディア学習において、長い動画を連続して提示するのではなく、動画をいくつかのsegmentに分割し、学習者の理解のペースに合わせて提示するというものである。その結果、動画を連続して提示

するよりも、segmentに分割して提示する方が学習者の理解が深まることを示した。一般的に学校における授業では提示される情報は連続的（情報過多）であることが多い。したがって提示される情報量を制御し、いくつかの部分に分割して提示する方法が子どもたちの認知負荷を軽減すると考えられる。

小池（2015）は解法理解活動における情報量を制御し、子どもたちの不十分な理解の事態の解決に向けて解法の部分提示を提案している。問題解決における解法は、解決者の考えが数式（場合によっては図や表なども含む）を用いて表現される。数式には解決者の着想や意図など多くの情報が含まれており、それらすべてを全体提示から読み取ることは容易なことではない。そこで解法をいくつかに分割し、順に提示することによってその部分に含まれる情報を読み取り検討を重ね、全体として理解しようというのが部分提示を利用した解法理解活動である。小池（2015）はこの解法理解活動を発見的追跡法と名付けている。

解法理解活動の最終的なねらいは、未解決者も含めたクラス全員が解決の再体験ができることである。そのために重要なのは解決者の着想を理解することである。それは表現された解法の最初の式に込められている。したがってその式を意味づけし、解決の構想を読み取るのである。それにより解決者がどのように解決をしようとしたのかという心的過程が理解できる。その結果解決の再体験が可能となる。

5-4 発見的追跡法と部分提示

発見的追跡法とは解決者の解法を、未解決者を含めたクラス全体が、精緻的質問や協同学習など精緻化を促進させる手だてによって精緻化し、解決者の着想や解決の全体構造を推察することによって追跡し、解決者の問題解決過程を再体験することを通して理解する指導法である。

具体的には、解法の全体を提示するのではなく、解決者の着想を表す解法の思考過程の最初の一部（式ばかりではなく図や表である場合も考えられる）を提示し、精緻的質問をすることにより、「この式（図・表など）は何を意味しているか」「解決者は何をしようとしたのか」「次にどのような式をかいていけばいいのか」などを考えさせながら、解決者が、

問題解決の着想からその解法をかき記し、表現するに至った思考過程を発見的に追跡させ、各自の理解に応じて自力で解法を完成させるという指導法である（小池，2021）。

次の問題を例に発見的追跡法の具体例を示す。

【問題】 テレビとうの高さは90mで、これは百貨店の高さの3倍です。百貨店の高さは学校の高さの2倍です。学校の高さは何mですか。

この問題に対する右の解法を発見的追跡法により進めると次のようになる。

$$2 \times 3 = 6$$

$$90 \div 6 = 15 \quad 15 \text{ m}$$

Tは教師、Cは子ども

T1：C1さん、あなたがかいた最初の式を言ってください。

C1： $2 \times 3 = 6$ 。

T2： $2 \times 3 = 6$ 。（式の板書）この式はどんな意味ですか。C1さんはどのように解決しようとしたのでしょうか。

—〈活動1〉少人数討議—

C2：テレビ塔は学校の6倍という意味。

T3：ではこの次にはどんな式が来るのでしょうか。C1さんがどのように考えて答えを出したのかを考え、各自でこの続きを考えて答えを出してみましょう。

—〈活動2〉解法の続きの完成—

簡単にまとめればこれが発見的追跡法による解法理解活動の流れである。この場合 $2 \times 3 = 6$ という式の提示が部分提示となる。

5-5 発見的追跡法の認知負荷軽減の効果

小池（2021）では、解法の全体提示による従来型の解法理解活動（統制群）と発見的追跡法による解法理解活動（実験群）とに分けて授業実践を行い、精緻化効果を学習内容の保持率・転移率によって比較した。その結果発見的追跡法による解法理解活動で授業を行った実験群では、解法の全体提示による従来型の解法理解活動で授業を行った統制群と比較して、保持率・転移率が有意に高かった。この結果から発見的追跡法は従来型授業による全体提示と比較し精緻化効果が高いことを示している。

発見的追跡法による精緻化効果は、解法を部分提示したことにより、認知負荷が軽減された結果であ

と考えられる。 $2 \times 3 = 6$ 、 $90 \div 6 = 15$ という解法が、全体として提示された場合、そこに含まれる情報は、「テレビとうの高さは学校の高さの2倍の3倍だから6倍になる」、「テレビとうの高さは90mで、学校の高さの6倍だから、学校の高さは $90 \div 6$ となる」、「90を6でわると15となるから、学校の高さは15mになる」というものである。全体提示による解法理解活動ではこれらの情報が連続的に提示され、次々に処理していく必要がある。算数・数学の解法理解では、一つ一つの数式からの情報を、段階的に精緻化していく必要があるのだが、このような連続的な情報提示ではどうしても認知負荷が高まる。

一方発見的追跡法による部分提示では、まず $2 \times 3 = 6$ という式について時間をかけ詳細に検討する。それにより子どもたちはC1が何を考え、どのようにしてこの問題を解こうとしたのかという解決の全体構想を読み解くことができる。そうなれば次の式、 $90 \div 6$ を提示することなく子どもたちは活動2により自力で解法の続きを完成させることができる。それにより精緻化が高まると考えられる。以上のように連続的に提示される情報は、いくつかの部分に分けて提示することにより認知負荷が軽減し、十分に精緻化することが可能になる。それにより全体としてまとまりのある深い理解に達することができると考えられる。

6. 包括的な学習環境の実現に向けて

6-1 包括的な学習環境の重要性

本稿ではディスカリキュリアの子どもたちの、算数学習の困難さがWMに起因しているという実態から、算数教育におけるWMの重要性について言及した。そしてWMと算数学習の関連について調査し、WMの働きの特性から、認知負荷を軽減することの重要性を指摘した。そして認知負荷を軽減する情報提示の方法として部分提示の効果について考察した。その結果次のような実態が明らかになった。

① 情報提示の在り方についての認識の転換

学校における授業では、教師は子どもたちに多くの情報を、いろいろな方法で提示する。しかし子ど

もたちは教師が思っているレベルの理解には到達していないし、教師が伝えたいことがそのまま子どもたちに伝わっているわけでもない。その原因の一つとして認知負荷が考えられる。提示される情報が処理し切れず認知負荷に陥る子どもは少なくはない。その結果子どもたちはわかったつもりになっているという実態があることを念頭に、情報提示の在り方についての認識を新たにすべきである。

② 認知負荷の軽減の必要性

教室における学習では、多くの子どもが多い少ないの差はあるが認知負荷に陥っている。したがってすべての子どもたちが、認知負荷を軽減させ学びやすい環境を作っていくことが重要である。そのための一つの方法として、部分提示が効果的であることがわかった。提示する情報をいくつかの部分に分け、段階的に提示することにより、子どもたちはより学びやすくなり理解度も深まる。

6-2 問題設定における新たな展開

高橋（1994）は数学的問題解決において、問題設定の段階における問題の精緻化の重要性について述べている。問題の精緻化とは問題の状況を深く理解し、解決の見通しがもてることである。高橋（1994）は、問題文からの情報と既有知識が結びつき解決の見通しがもてたときに問題文が精緻化できたと述べているが、その仕組みと手だてが明らかにされていない。

筆者も問題の精緻化は、問題解決において大変重要であると考え、学校での授業を見てみると問題設定の段階があまりにもあっさりし過ぎている場面に出くわす。文章で書かれた問題を一度読むだけで解決に入ろうとする。このような導入で問題文に書かれている問題の情報をうまく精緻化できるものだろうか。

筆者は本稿のまとめとして新たな問題を提起する。それは問題文の部分提示である。問題文の情報を処理し精緻化するためには問題の状況を思い浮かべ数量関係を把握することが重要である。そのためには問題文からの情報の一つ一つを丁寧に取り出す必要がある。部分提示はその有効な手段となり得るのではないかと考える。今後は問題の文章を部分提

示することによる効果について研究に取り組んでいきたいと考えている。

引用文献・参考文献

- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Adams, A. M., Willis, C., Eaglen, R., & Lamont, E., 2005, Working memory and other cognitive skills as predictors of progress towards early learning goals at school entry, *British Journal of Developmental Psychology* 23, 417-426
- アロウェイ, T & アロウェイ, R 著, 湯澤正道・湯澤美紀 監訳, 2023, ワーキングメモリと発達障害, 北大路書房
- バドリー, A 著, 井関龍太他訳, 2012, ワーキングメモリ, 誠信書房
- Baddeley, A. D. & Hitch, G., 1974, ワーキングメモリ, ワーキングメモリの探求, 佐伯恵理奈・齊藤智 監訳, 北大路書房
- Baddeley, A. D., 1981, ワーキングメモリの概念, ワーキングメモリの探求, 佐伯恵理奈・齊藤智 監訳, 北大路書房
- Baddeley, A. D., 2000, エピソードバッファ, ワーキングメモリの探求, 佐伯恵理奈・齊藤智 監訳, 北大路書房
- Butterworth, B., 2005, Developmental Dyscalculia, *The Handbook of Mathematical Cognition*, Psychology Press, 455-467

- Jong, T., 2010, Cognitive load theory, educational research, and instructional design, *Instr Sci* 38, 105-134
- 河村 暁, 2022, 算数障害とさまざまな障害における算数の困難, *LD研究*, 31-4, 277-284
- 河村 暁, 2021, 教室の中のワーキングメモリ, 明治図書
- 小池嘉志, 2021, 算数・数学の問題解決型授業における精緻化を促進する指導法, 風間書房
- 小池嘉志, 2015, 算数・数学の授業における効果的な集団討議のための理解過程に関する一考察, *教科開発学論集* 3, 175-180
- Mayer, R. E.・Moreno, R., 2003, Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning, *Educational Psychologist* 38(1), 43-52
- Shalev, R. S., 2004, Developmental dyscalculia, *Journal of child neurology*, journals. sagepub. com
- 鈴木宏昭, 2022, 私たちはどう学んでいるのか, ちくまプリマー新書
- 高橋正典, 1994, 数学的問題解決における精緻化に関する研究, *数学教育論文発表会論文集* 27, 377-382, 日本数学教育学会
- 湯澤正道, 2019, ワーキングメモリの発達と児童生徒の学習, *発達心理学研究*, 30-4, 188-201
- 湯澤正道・湯澤美紀, 2014, ワーキングメモリと教育, 北大路書房

受付日 2023年9月29日

受理日 2023年10月17日

Abstract

There are a certain number of children in school classrooms who have learning difficulties. In particular, children with difficulties in reading, writing, and arithmetic are called dyslexic and dyscalculia, respectively, and have difficulty with learning activities in general. These children with learning disabilities are known to have challenges with working memory (WM); children with low WM capacity have difficulty processing multiple pieces of information simultaneously, which, combined with the conventional teaching style commonly used in schools, makes learning difficult. This learning style increases the burden of information processing for all learners, not just children with WM limitations. As one solution to this problem, we focused on “partial presentation,” which is believed to be effective in reducing cognitive load. The effectiveness of the heuristic pursuing method by Koike (2021) is discussed from the perspective of cognitive load theory, and proposed as a practical teaching method that is easy to learn for all children, not just those with math disabilities.

Keywords: dyscalculia, working memory, cognitive load, partial presentation