

デジタル化されたドリルの現状と今後の課題

—算数・数学に焦点を合わせて—

西岡 加名恵 石井 英真 久富 望 肖 瑶

1. はじめに

2021年8月現在、日本の学校現場では、1人1台端末の活用が急速に推進されている。新型コロナウイルス感染症への対策として2020年3月から5月にかけて多くの学校で休校措置がとられたことを踏まえて、当初5年計画だった「GIGA [Global and Innovation Gateway for All] スクール構想」が前倒し実施されることとなった。2020年度末までには、義務教育段階の学校の大半で、1人1台端末が支給されるに至っている。

「GIGA スクール構想」に先立って経済産業省が推進した「未来の教室」事業では、「学びのSTEAM [Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics] 化」「学びの自立化・個別最適化」「新しい学習基盤づくり」が、3つの柱とされている。そこでは、「知識はEdTechで学んで効率的に獲得し、探究・プロジェクト型学習(PBL [Project Based Learning])に没頭する時間を捻出」することがめざされている¹。ここで言われているように知識を「効率的に獲得」するための手段として期待が寄せられている方途の一つが、デジタル化されたドリル（以下、デジタル・ドリルと記す）、特に、何らかのAI (Artificial Intelligence: 人工知能) 的な機能を備えたデジタル・ドリルの活用である。たとえば、「未来の教室」を中心的に推進している浅野大介は、学力面で幅広い生徒が入学してきている長野県坂城高等学校において、デジタル・ドリルの一種であるAI教材を導入したことにより、「自ら主体的に個々のペースで小中学生時代に積み残してしまった単元に戻って学び直す『個別最適化学習』が可能になった」と紹介している²。

また、文部科学省の中央教育審議会の答申においても、「全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと、協働的な学び」の実現を目指すという方針が打ち出されている³。「個別最適な学び」は必ずしもデジタル・ドリルとのみ関連づけられるものではないものの、答申では「デジタル教科書・教材の普及促進」もうたわれていることから、今後、学校現場でのデジタル・ドリルの活用も進むことが予想される。しかしながら、新しいタイプの教材であるだけに、学校現場ではデジタル・ドリル、特にAIが活用されるタイプのそれに関する十分な理解が広がっているとは言い難い。デジタル・ドリルの開発者自身が意図や特長を発信した論考⁴を執筆している例や、個々のデジタル・ドリルの活用について報告した論文⁵が登場し始めている。さらに、複数のデジタル・ドリルについて、インターネット上で公開されている情報を比較して、それらの意義と課題を検討した先行研究の試みもある⁶。しかし、複数のデジタ

ル・ドリルを実際に試して比較した研究は、管見の限り見られない。

そこで本研究では、まずドリル学習の認識論的前提や論点を確認するとともに、AI の活用について情報学における研究の到達点を整理する。また、複数社のデジタル・ドリルを比較することによって、デジタル・ドリルと紙のドリルとの間にみられる違い、ならびにデジタル・ドリルの間にある多様性を明らかにするとともに、教育実践で活用するうえでの意義と課題を検討する。なお今回は、特に算数・数学のドリルに焦点を合わせる。これは、算数・数学は、ドリルの活用が重視される教科であることに加え、子どもの「つまずき」について一定の研究の蓄積があり、個々の子どものニーズに応じたドリルの在り方を検討するうえで適していると考えられたためである。

2. デジタル・ドリルに関する論点の整理：AI 教材の定義の試み

デジタル・ドリルに関する論点は、ドリルについての観点と、デジタル技術⁷の教育分野への応用としての観点から大別される。本節では、それぞれの観点についての論点を整理する。また、後者に関連し、AI 教材の定義に関する論点も整理する。

(1) ドリル学習の歴史と論点

ドリル学習は、20 世紀初頭に数の研究を行い、行動主義の代表的な研究者であり、教育心理学の父とも言われるソーランドイク (E. L. Thorndike) の研究に起源を持つ⁸。どのような複雑な行動も S-R 連合に還元できると考えるソーランドイクは、計算や問題解決過程を下位の手順や構成要素に分解し、それを段階的に配列し、それぞれの要素を繰り返し練習・強化することを主張したのである。こうしたドリル学習の発想は、スキナー (B. F. Skinner) によるプログラム学習、あるいは、日本においても百ます計算などのように、様々な形で歴史的に立ち現れてきた。しかし、ドリル学習に対しては、常に、機械的訓練の限定的な効果や弊害、部分の総和が全体とイコールではない点、できること（手続的知識）が必ずしもわかること（概念的知識）を伴わないことなどが指摘されてきた。たとえば、日本における 2000 年前後の百ます計算ブームを検討した松下佳代は、計算に習熟していく上で、①計算の意味がわかること、②計算の手続きができること、③計算の手続き（ステップ）をまとめてパッと答えが出せるようになること（縮約化）の三つの段階があり、計算の反復練習が意味を持つのは、主に③の自動化（速く・正確に、すらすらできるようになること）の段階であると述べる。そして、③ができて②ができていないとは限らず、まして、①は保障されないし、さらに必要以上の速さの追求が意味理解の深化（立ち止まりやわかり直し）の機会を奪いがちであること、その結果、手際よくやり方を学ぶ定型的熟達化には至っても、応用の利く柔軟性をもった適応的熟達化には至りにくい点を指摘している⁹。AI を活用したデジタル・ドリルがこうしたドリル学習をめぐる論点を乗り越えうるものであるのか、分析の視点となる。

(2) デジタル技術の教育分野への応用

本稿ではデジタル化されたドリルをデジタル・ドリルと呼んでいる。しかし、歴史的には、ドリルのデジタル化が進んでデジタル・ドリルが生まれたのではなく、デジタル技術の教育分

野への応用の試みの一つとみなすのが適切である。

一般に、コンピュータを用いた教育活動のためのシステムは CAI (Computer Assisted Instruction, Computer Aided Instruction : 教育支援システム) と呼ばれ¹⁰、1950 年代から活発に研究されてきた。その端緒は、プログラム学習をスキナー自ら実装したティーチング・マシンや、それを発展させ、学習者の選択に応じた適切な学習コースの提供を目指したイリノイ大学の SOCRATES であろう。これらは伝統的 CAI と言われ、行動主義的な設計思想に基づいている。

その後、認知心理学や発達心理学の知見を取り入れ、伝統的 CAI に対する様々な批判を乗り越えるべく開発が行われ、SCHOLAR、WEST のようなシステムが開発された。当時の AI の技術や考えも利用して開発されたこれらの CAI は知的 CAI (Intelligent Computer Assisted Instruction, ICAI : 知的教育支援システム) と言われ、1970 年代に盛んに研究された。

知的 CAI は、依拠する学習観を変えながら変化・発展してきた。1980 年代以降、知識伝達により重点が置かれ適応的な (adaptive) 個別指導を目指した ITS (Intelligent Tutoring System : 知的チュータリングシステム) や、現実を反映した仮想世界を築くマイクロワールドやシミュレーションシステムなどがある。情報ネットワークが普及した 1990 年代からは、社会構成主義的学習観 (social constructivism) に基づき複数の学習者間での学び合いを提供する CSCL (Computer Supported Collaborative Learning : 協調学習支援システム) などが発展した¹¹。

一方で、伝統的 CAI の開発と同時期には、教育情報を整理・加工・運用・管理するための CMI (Computer Managed Instruction) も開発され¹²、システムに収集されたデータを教育活動へ生かそうという試みがしばしば試みられてきた¹³。これは、GIGA スクール構想の先に重要な問題として議論されている教育データ利活用¹⁴の先駆けと考えられる。

ここまで取り上げてきた様々な試みは、今回のデジタル・ドリルを分析・考察するうえでの重要な視点を提供するものである。

(3) AI 教材とは何か

本稿の冒頭で述べたように、デジタル・ドリル、特に AI が活用されるタイプのそれに関する十分な理解が学校現場で広がっているとは言い難い。しかし、これらの教材が新しいタイプとして社会に認知されつつあるのは最近である半面、CAI に AI が導入されたのは (2) で述べたように 1970 年代であった。もっとも、当時の AI にできたことに比べると、深層学習 (deep learning) のブレイクスルーを経た 2010 年代後半以降の AI にできることは、極めて広がっている。

それでは、AI 教材 (AI 型教材とも呼ばれる) とは何であろうか。最も素朴な答えは、「AI を応用した教材」を AI 教材とすることであろう。この定義では、伝統的 CAI を離れて以降、AI を応用して生まれた知的 CAI はすべて AI 教材と見なすことができる。

AI 教材 Qubena を開発した (株) COMPASS 代表である神野元基は、「生徒の学習データを集めて、それを用いて教育効果を高める教材」を「AI 型教材」とし、「AI 型教材」は「各個人の状況に基づいて最適形で教材を提示するような適応学習 (アダプティブラーニング) の教材」も含むとしている¹⁵。この定義に基づいても、適応学習を目指した ITS や、CMI 上のデータを

教育活動に生かす 1970-80 年代の試みで生まれた教材も、AI 教材と見なすことができる。

もっとも、神野は上記の直後に「AI は蓄積された大量のデータから有意義なものを抽出し、機械学習を用いることによってアウトプットの最適化を実現する」としているが、この文脈で想定されているような大量のデータを機械学習で扱うことは、1970-80 年代の AI には不可能であった。このため、1970-80 年代に開発された知的 CAI 以降のデジタル教材を、現代でも AI 教材と見なすことは難しいであろう。結局、年代によって、何を AI の技術と見なすかが変化することに、AI 教材の定義の難しさがある。

1970-80 年代における最先端の AI が用いられていた知的 CAI と異なり、現在の AI 教材と呼ばれるものが、未来の教育を変えうるものとして注目されるのはなぜであろうか。その両者には明確な違いがあり、その違いをもって AI 教材の定義をすることは可能だろうか。これらも、本研究の分析を通して考察を行ううえでの分析の視点とする。

3. 調査方法

次に、本研究の調査方法を説明しよう。本研究では、まず、現在の学校現場で用いられているデジタル・ドリルを把握するため、学校現場の教師が多く参加している SNS の情報交換グループなどで、学校現場で使われているデジタル・ドリルは何かについての質問を投げかけた。次に、そこで名前のあがった 14 社のドリルについて、インターネット上に公開されている情報を踏まえて、比較表を作成した。そうしたところ、デジタル・ドリルの中でも、AI の活用をうたっているものと、AI については触れていないものがあることがうかがわれた。

そこで、AI 活用をうたっているドリルと AI 活用に触れていないドリルの両方を調査対象とすることを旨として、7 社に調査への協力を依頼した。デジタル・ドリルの多くは個人への販売が行われていないため、特例的にアカウントを発行してもらえよう依頼した。依頼に際しては、学校現場に普及しているデジタル・ドリルの現状を調査し、デジタル・ドリルと紙のドリルの異同、デジタル・ドリル間の違い、デジタル・ドリルの意義と課題などについて明らかにすることを目指していること、小学校中学年・高学年の算数、中学校の数学について各 1 単元ずつ程度、アルバイトの学生たちが児童・生徒のつもりになって実際に問題を解いてみるといった作業を行い比較・検討することを予定していることを伝えた。7 社中 1 社からは回答がなく、別の 1 社からは断りの回答があった。断りの回答だった 1 社は、本調査が予定するような模擬的な利用ではドリルの有効性は検証しきれないため、当社が想定するような「学びの環境（公立の平均的小中学校）」での効果検証であれば協力することだった。

かくして、2021 年 6 月から 7 月にかけて、5 社のドリルを調査することとなった。以下、5 社のドリルを、ドリル A～E と示す。ドリル A と B は AI の活用をうたっている。ドリル E は、提供している会社自体のサイトでは AI の活用に触れられていないものの、そのドリルを採用している自治体のサイトでは、「AI ドリル」として紹介されている例がある。

5 社のドリルの調査に先立ち、調査を担当した学生たちには、まず算数・数学についての「つまずき」研究について知見を共有した¹⁶。一方、デジタル・ドリルの分析視点としては、こちらからは仮説的な概要のみを示し、調査で感じたことに基づいて分析の観点そのものも検討してもらうこととした。ただし、AI 的な機能がどこに使われうるかをある程度判断できる

よう、人工知能の中核技術と言える機械学習と、教育データ利活用における応用例について、30分程度のレクチャーを通して共有した¹⁷⁾。そのうえで、各社のドリルについて、それぞれ5時間ずつ程度、実際に使用した結果を報告してもらった。算数・数学の学習内容上の要素であり、かつ、つまづきやすい単元に焦点を合わせるため、具体的には、小学校中学年の割り算の文章題、小学校高学年の割合の文章題、分数の割り算、中学校数学の二次関数のドリル問題を中心に調査することとした。

なお、ドリルAの会社については、単に調査結果を届けるだけでなく、調査のプロセスで積極的な意見交換をしたいという要望があった。そこで、オンラインで計4回の共同研究会を行った(2021年5月20日、5月27日、7月1日、8月3日)。さらに、ドリルAを実際に利用されている塾での授業の様子について、約2時間、見学する機会をいただいた。また、ドリルAを利用する別の塾関係者(複数名)からもインフォーマルな会話の場で情報提供いただいた。ドリルBについては、ドリル活用の際に事前のオリエンテーションを含めて学校に提供しているとのことだったので、事前のオリエンテーションについても模擬的に実施して下さるようお願いした(2021年7月13日に実施)。

並行して、既にデジタル・ドリルを活用している小学校の先生方3名に、下記の日程でインタビュー調査を行った。

- 備前市立香登小学校 津下哲也先生(2021年5月17日)
- 新潟大学附属新潟小学校 志田倫明先生・岡田健先生(2021年6月24日)

津下先生は、複数のデジタル・ドリルを利用した経験があり、ドリルの出題内容だけでなく、「画面の作り方」(文字の大きさ、1問ずつ出題されるかなど)が、子どもたちの学習への取り組みに大きな影響を与えることなどをご指摘いただいた。また、志田先生・岡田先生には、本調査の依頼に対して回答のなかった会社のドリルF(AIの活用をうたっているもの)について、授業で使用した感想などを伺った。さらに、執筆者の一人(石井)は、実際にドリルを用いている公立小学校での算数の授業2時間を観察する機会を得た。

なお、以下で報告する調査結果は、調査対象も算数・数学の4つの単元に限られていることから、他の教科・単元においては異なる傾向がみられる可能性も否定はできない。そこで、以下で掲載している表1~4については、2021年8月に各社に検討を依頼し、追記すべき情報をご指摘いただいた。ご指摘があった場合は、再度、機能を確認するよう努めたが、追加調査においても確認できなかった情報については、「(～とのこと。)」という伝聞情報として記載している。

また、本調査は、あくまで2021年6・7月現在の実態に基づくものである。日進月歩でシステムの改善が図られていることから、1年後に同じ状況だという保証はない(既に、今回の調査対象のうち、1社からはAI機能を追加した大幅な刷新が本調査以降にリリースされ、別の1社では入力方法の追加が2022年1月末から2月に予定されている)。さらに言えば、本調査への協力を断った会社が指摘した通り、教材の有効性については、より本格的には学校現場での実態調査において検証されるべきであろう。

しかし、限られた調査とはいえ、複数社のデジタル・ドリルを比較・検討することが一般の教師や保護者には極めて難しいことを考えると、大学の研究者である私たちが検討した結果を

公表することには、一定の意義があると考えられる。学校現場におけるデジタル・ドリルのより良い活用のみならず、デジタル・ドリルの開発者にも今後の改善のための示唆を提供したい、と考えつつ、調査に取り組んだ。

4. 調査結果

文献研究やインタビュー調査、5社のドリルを体験する作業を通して、次の4つが分析の観点として浮かび上がった。

- ① 画面の作り方：メモや答えの入力の仕方、解答時間の制限の有無、達成・報酬に関わるゲーミフィケーションのデザインなど
- ② 問題プール：問題がいかなる学力の質を試すものであるのか。特に、問題の種類や中身等によって、どのように子どもの数学の意味・概念の理解が促されるか、それともなされていないか、といった意味・概念の理解促進の度合い
- ③ レコメンド・フィードバック機能：問題へのアクセスの過程、解説の多寡とその質、学習者・教師の参与の度合いなど
- ④ 教師用の学習状況管理システム：教師が把握可能な情報の種類、クラス・個人指導への活用可能性など

各観点に対応した5社のドリルの比較結果は、表1～4に示した通りである。以下、要点を解説しよう。

（1）観点1. 画面の作り方

まず、5社のドリルについて、画面上でのメモの可否、答えの入力方法、解答時間の制限の有無、達成・報酬のゲーミフィケーションに注目した（表1参照）。

算数・数学のドリルを解く際には、単に答えが合うだけでなく、計算や問題解決のプロセスでの思考が重要な意味を持つ。画面上でメモを取れるかどうかを確認したところ、メモが残せないもの（A、B）と、メモができるもの（C～E）があった。ただし、メモができる場合も、再起動後にはメモが消えてしまうため、学習者自身が自分の思考過程を再確認したりすることはできない状態であった。一方、ドリルAについては、デジタル上ではメモ不可であったが、むしろノートを併用して記録を残すことを重視して、コーチに指導を求めているとのことであった。

答えの入力方法については、PC キーボード入力、ドリルのキーパッド入力、手書き入力の三種類がみられた。手書き入力には、たとえばグラフを描くといった、より自由度の高い解答を可能にする点で意義が認められる。ただし、調査では、必ずしも正しく識別されない例も見られた。小学校の先生方へのインタビュー調査でも、特に小学校低学年においては、手書き入力が正しく識別されないといった困難もみられるとの声が聞かれた。

解答時間の制限の有無については、ドリルAでは診断問題の解答時間が2分程度に制限されていた。ドリルCについては、診断問題の解答時間が10分とされていたものの、10分を過ぎても続けて解答することが可能であった。その他のドリルでは解答時間の制限がなかった。ただし、ドリルBについては、問題ごとの平均解答時間が表示される機能があった。

表 1. 観点 1「画面の作り方」による比較結果

	相違点					類似点
	ドリル A	ドリル B	ドリル C	ドリル D	ドリル E	
画面上でのメモ	メモ不可 紙でメモすること が重視されている。	メモ不可 (2022 年 1 月末か 2 月に機能を追加予定 とのこと*)	メモ可 再起動後に消えるた め、後で自分の思考過 程を再確認したり、見 直したりすることがで きない。	メモ可 再起動後に消えるた め、後で自分の思考過 程を再確認したり、見 直したりすることがで きない。	メモ可 再起動後に消えるた め、後で自分の思考過 程を再確認したり、見 直したりすることがで きない。	
答えの入力方法	選択式 PC キーボード入力	ドリルのキーパッド 入力 PC キーボード入力 手書き入力	ドリルのキーパッド 入力 PC キーボード入力 (数字のみ) 手書き入力	ドリルのキーパッド入 力	PC キーボード入力 手書き入力	
解答時間の制限の有無	解答時間の制限があり、2 分で設定されている。(問題によって制限時間は異なるとのこと。)	解答時間の制限はないが、問題ごとの平均解答時間が表示されている。	診断問題の解答時間は 10 分で統一されているが、10 分を過ぎても続けて解答することが可能である。	解答時間の制限はない。	解答時間の制限はない。	
達成・報酬のゲーミフィケーション	各単元をクリアするごとに最初の目標設定に照らした達成度が数値とバーで表示される。単元一覧でクリア済みの単元は色が変わる。シンボルとしての報酬はない。	クリア済みの単元は色が変わって表示される。また、正解率によつて、金銀銅のメダルが表示される。 特定の進捗を満たすことでアバター・アイテムを獲得し、プロフィールのカスタマイズやゲームに利用できる。	各問題に付されているマークが、その正解率に応じて 2 段階の色で表示される。 教科・学年別に問題を解いた回数をカウントし、10 回毎にメダルが取得できる、教科メダルを 10 枚集めるとゴールメダルが取得できる。	一連の問題の正答率の数値とドーナツグラフで表示される。クリア如何にかかわらず取り組んだ問題は色が変わって表示される。 問題に取り組むごとにポイントが加算される。連続正解で加算ポイントが増える。このポイントに応じてランクが上がる。	各問題に、クリアした回数に応じて 3 段階のマークが表示される。 問題に取り組むごとにポイントが加算される。このポイントに応じてキャラクターが進化する。	その場で、問題の成否に応じて異なる音が鳴る。 問題をクリアすると、数値が増えたり選択ボタンの色が変わったりと、画面上に何らかの変化が起こる。

※ 今回の調査では、デジタル・ドリルのすべての機能を確認できなかった場合もありうるため、表 1～4 については各社に確認・検討を依頼し、加筆・修正が必要な箇所をご指摘くださるよう依頼した (2021 年 8 月)。ご指摘いただいた箇所については、再度、機能を確認するよう努めたが、追加調査においても確認できなかった情報については、「(～とのこと。)」という伝聞情報として記載することにした (以下、同様)。

達成・報酬のゲーミフィケーションに注目すると、いずれのデジタル・ドリルについても、解答の正誤に応じて、即座に異なる音が鳴るなどのフィードバックが提供される。また、ドリルB・C・D・Eについては、問題を解くごとにポイントが加算される、新たなアイテムやキャラクターが得られるといったゲーミフィケーションが取り入れられていた。こういった機能は、子どもたちの学習を動機づけるうえで、一定の効果が認められる（実際に、これまで以上に、子どもたちは進んでドリルに取り組んでいる）という声が、小学校の先生方へのインタビュー調査では聞かれた。退屈になりがちなドリル学習において、即座のフィードバック、ポイントの加算といった形での励ましを与えられることには、一定の意義が認められると言えよう。

ただし、ゲーミフィケーションによる動機づけには、目的と手段が転倒する懸念もある。筆者の一人（石井）が観察した授業（授業内容の習熟場面での活用）においては、授業内容とは関係なくポイントの加算を目指して、途中式の計算も必要ないような簡単な問題ばかりを多数解くという方略をとった子どもの例も見られた。また、子どもの発達段階などによっては、ゲーミフィケーションが魅力を持たなくなることも予想される。

（2）観点2. 問題プール

次に、出題されている問題がいかなる学力の質を試すものであるのか。特に、問題の種類や中身等によって、どのように子どもの数学の意味・概念の理解が促されるか、それともなされていないか、といった意味・概念の理解促進の度合いに注目した（表2）。

まず、ドリルA・Bは限られた時間で解ける問題数を絞って出題しているのに対し、ドリルC・D・Eは形式と種類の面で多くの問題を含んでいる。算数・数学の問題については、単元の種別、難易度に加えて、認知過程の複雑さや具体的な生活場面への応用といった学力の質の観点からも分析することができる。石井英真は、学校で育成すべき「資質・能力」をとらえる枠組みの中で、教科の学力について「知っている、できる」（事実的知識・個別的スキルの獲得と定着）、「わかる」（概念的知識の意味理解と洗練）、「使える」（知識の有意味な使用と創造）という3つのレベルを分類している。個別の知識・技能の習得状況を問う「知っている・できる」レベルの課題（例：穴埋め問題で「母集団」「標本平均」等の用語を答える）が解けるからといって、概念の意味理解を問う「わかる」レベルの課題（例：「ある食品会社で製造したお菓子の品質」等の調査場面が示され、全数調査と標本調査のどちらが適当かを判断し、その理由を答える）が解けるとは限らない。さらに、「わかる」レベルの課題が解けるからといって、「真正の学習」の中で知識・技能の総合的な活用力を問う「使える」レベルの課題（例：広島市の軽自動車台数を推定する調査計画を立てる）が解けるとは限らない。「知っている、できる」「わかる」のレベルについては筆記テストでも評価できるのに対し、「使える」レベルの評価についてはパフォーマンス課題が適していることが指摘されている¹⁸。パフォーマンス課題とは、複数の知識やスキルを総合して使いこなすことを求めるような複雑な課題を意味する¹⁹。

この点に関してドリルCは、比較的ルーチン化されてはいるが、数個のステップを踏むような演習を行う問題例がみられた。ドリルBについても、解説部分の演習問題には、同様に、数個のステップを踏む問題例が見られた。

表 2. 観点 2「問題プール」による比較結果

問題の種類	相違点					類似点
	ドリル A	ドリル B	ドリル C	ドリル D	ドリル E	
問題の種類	通常、教科書等で想定された単元より細分化された内容区分で単元が設定されており、各単元における重要問題が出題される。 経過する認知過程、一つの単元で出される問題の種類はそれほど多くない。	解説部分と問題演習部分に分かれ、前者は多くの認知段階を踏み、後者は単元を代表する問題が続く。正答か誤答かによって、出題される問題の種類が変化する。	難易度により 3 段階の問題に分かれる。第 1 段階と第 2 段階では、異なる難易度の問題で学習者のレベルを診断する。第 3 段階では図なども用いながら多くの認知過程を踏み演習を行う。	難易度により 2 段階の問題に分かれる。 第 1 段階は単元を代表する問題が数多く掲載されている。問題の種類はそれほど多くない(細かな認知過程により区分されていない)が、種類 1 つ当たりの問題数は豊富。 第 2 段階はより日常の事象に落とし込んだ問題設定からなり、多くの認知過程を含む。	問題の形式と種類は豊富である。 経過する認知過程の数はそれほど多くない。	
進行機能の概要	診断問題、問題演習、復習のすべてにおいて、ミスに応じて進行が行われる。進行先では、目標単元に関わる土台単元の講義動画が提供され、問題や問題が出題される。	進行先では、その問題を解く前提となる知識を確認する問題や問題が出題される。分野によっては、単元を超えて問題や問題が出題されるということ。	単元により異なるが、「思い出そう」というボタンより、自ら既習学年・単元の問題を選択することができ(システムによる自動的な進行機能はない)。	進行先では、目標単元に関わる土台単元や問題のプリントが提案される。	進行先では、目標単元に関わる土台単元の問題や問題が出題される。	
意味・概念の理解促進の度合い	イメージを伴った意味・概念の理解のための指導は教員によってなされている、あるいはフォローされる。前提では操作的解説・例示が多く与えられている。	イメージを伴った意味・概念の理解について、講義動画で重点的に扱っている。講義中に例題を提示し、学習者に入力促すことで、理解を確認する。	イメージを伴った意味・概念の理解について、講義動画で重点的に扱っている。	イメージを伴った意味・概念の理解のための指導は教員によってなされる前提で、問題演習においては操作的解説・例示が多く与えられている。	イメージを伴った意味・概念の理解について、講義動画で重点的に扱っている。	イメージを伴った意味・概念の理解のための指導は十分なとはいえない※。

※ 講義動画では、具体物や半具体物を用いて学習者の理解を促すような工夫も見られるが、単元によっては問題の解法についての説明が中心となっているものもある。

また、ドリルDについては、数個のステップを踏むとともに、日常の事象に落とし込んだ問題設定がみられるという特徴があった。たとえば、小学校5年生「割合」のドリルでは、「1000本のくじの中に、当たりくじが20%ふくまれています」といった場面から「もとにする量」「比べられる量」「割合」を取り出し、公式を当てはめて解くような問題だけではなく、例えば、二人の男の子について、サッカーでシュートした数と入った数を比べてどちらがシュートがうまいと言えるか答えるというような、ある二つの数量の関係と別の二つの数量の関係を比べる「割合」の意味を確認する問題が出されていた。さらに、問題場面に示されたすべてのドーナツを1個ずつ買うとき、「すべてのドーナツが30円引き」「すべてのドーナツが20%引き」「4個以上お買い上げのとき合計金額から100円引き」という割引券のどれを使うと安く買えるかを判断する「使える」レベルにつながる問題も出題されている。

しかしながら、それ以外のドリルについては、基本的に「知っている、できる」のレベルの問題しか見られなかった。このことは、もともとドリルは、学校の授業において、「わかる」レベルの意味・概念の理解が指導されることを前提に、「知っている、できる」のレベルの問題の習熟をめざす性質のものであることを反映していると思われる。教科書教材の延長線上に作成されたドリルは、認知的により複雑な問題（一人で取り組むには困難も多い問題も含む）も含めて出題する傾向があるが、個別指導塾等での学習支援の文脈から生まれたドリルは、自分で進められることや遡行を伴う学習上のテンポ感を大事にしているように思われる。

デジタル・ドリルのいくつかにみられる最大の特徴は、子どもたちが誤答した場合に、遡行が行われる点にある。ここでいう遡行とは、必要に応じて（学年や校種を超えて）過去の既習内容へ取り組むことであり、特に、各学習者の学習状況に基づいて、システムが自動的に遡行先の問題を推薦、または強制的に提示する機能を指す。ドリルAは、通常、教科書等で想定されている単元よりも、さらに細分化された内容区分で単元を設定した上で、独自に単元間の系統図を作成し、診断問題への解答に応じて問題集を作るものとなっている。遡行先では、目標単元にかかわる土台単元の問題や類題が出題される。ドリルDについても、単元を超えた遡行がみられた。ドリルBでは、遡行先において、その問題を解く前提となる知識を確認する問題や類題が出題される（分野によっては、単元を超えて問題や類題が出題されることもあるとのことだった）。ドリルEについては、ある問題に間違えた場合、その問題を解く前提となるような知識を確認する問題がまず出題され、それをさらに間違えたら、目標単元に関わる土台単元の問題や類題へと遡行する設計となっている。一方、ドリルCについては、システムによる自動的な遡行の仕組みは見られない。ただし、単元によっては、「思い出そう」というボタンから、学習者が自ら既習学年・単元の問題を選択することが期待されている。

算数・数学の場合、初期の単元でつまづいてしまうと、その後の単元の学習に支障をきたしてしまうことが少なくない。ドリルにおいて遡行を組み込むことは、子どもたちの「つまづき」を診断したうえで、それらを克服するための学習を促す点で、大きな意義が認められる。また、ある塾の関係者からは、「特にプライドの高い高校生の場合、教師に復習を勧められても素直に聞けないものの、AI先生から勧められると素直に聞けるといった例もある」という声を聞いた。

ただし、「つまづき」が深刻な子どもの場合、遡行しなくてはならない問題量が膨大になり、

やる気をなくしてしまう懸念もある。そこでドリルAについては、学習者を支援するコーチから励ましを与えるといったことが必須とされていた。また、ドリルBについては、100%の正答を求めるよりも、ある程度の点数が取れば次に進めるといった設計が採られている。

次に、意味・概念についての理解がどの程度、促されているかに注目した。いずれのデジタル・ドリルも、学習者の解答の正誤と合わせて解説を表示する機能を有している。しかしながら、その解説の内容は、多くの場合、操作的な解き方を示すものとなっていた（たとえば、分数の割り算については、割る数の分母と分子をひっくり返して掛ける、といった説明である）。ドリルB・C・Eについては意味や概念についてイメージを伴って理解できるような講義動画が提供されており、ドリルBについては解説の途中で学習者に考えさせて解答を促すような小問を組み込むという工夫もなされていた。ただし、解説動画についても、すべての単元で、具体物・半具体物と抽象的な概念を行き来するような内容が提供されているわけではない。つまり、いずれのドリルについても、教師の指導と併用することが重要であり、教師の指導を置き換えるものとして扱うには限界が認められた。

（3）観点3. レコメンド・フィードバック機能

第3の観点として、問題へのアクセスの過程、解説の多寡とその質、学習者・教師の参与の度合いを検討したい（表3）。第2の観点では出題される問題群に注目したのに対し、ここでは各学習者の選択や学習履歴等に即したプログラムの変更に着目した。

ドリルC・D・Eの場合、最初から学習者が全学年の全単元の問題にアクセスできる設計となっていた。どの単元から取り組むかについては、教師・学習者が選択できるため、問題選択の裁量が大きい。また、正答率や誤答した問題に応じて、次に取り組む問題群がレコメンドされる。ただし、遡行した問題については必ずしも取り組まなくても、次の問題選択には影響しないものとなっている。一定の正答率に達すると、その単元をクリアしたものとみなされる。ドリルEについては、クリアした単元についても、さらに2回の復習がレコメンドされる。

一方、ドリルAの場合、教師が指定する学習単元の範囲（通常は複数の単元）を学習者が目標として設定した上で、まず当該学習単元の診断問題に取り組み、その正誤に応じて取り組む単元と問題が自動的に編成され、さらに問題の正誤に応じて、次に取り組む単元・問題が自動的に編成・アップデートされる（目標に関連する単元を全てクリアするまでこれが繰り返される）設計となっている。したがって、この機能を用いた場合、教師や学習者が問題自体を選択できる裁量は小さい。つまり、誤答に応じて組まれた遡行内容をクリアしないと、次の単元に進めない。また、いったんクリアした単元についても、適宜、復習がレコメンドされる。ただし、別機能として、すべての単元の問題に自由にアクセスできる選択肢も提供されている。どちらの機能を用いるかは、授業ごとの目的に応じて使い分けることが想定されている。

ドリルBの場合、教師が最初の目標選択を行う。すると、学習者の画面に目標の単元における問題が配列され、その中では、学習者が自由に問題を選択できる。個々のセクションで類題が繰り返され、正解するたびにメーターがあがり、それがたまればクリアとなる。一旦クリアした単元について、復習のレコメンドはなされない。なお、ドリルBの場合も、別機能として全単元の問題にアクセスすることができる。

表 3. 観点 3「レコメンド・フィードバック機能」による比較結果

相違点					類似点
ドリル A	ドリル B	ドリル C	ドリル D	ドリル E	
目標に応じた診断問題の正誤で進行内容が決定する。 一つ一つの単元に 6 段階のクリア状況が表示され、関連する単元のつながりや、習得状況に応じて、次の単元が推奨される。	教師が指定する目標単元に合った問題が配列され、学習者はそのうちどの問題にも自由にアクセスできる。 個々のセクションでは問題が繰り返される(正答・誤答により、出題される問題の数が変化する)。 合否は、想定解答と、学習者の解答が一致しているか否かで判断される。正解すると、メモーターが上がり、それが溜まりきればクリアとなる。	最初からすべての単元にアクセス可能。 各単元に 3 段階の問題があり、正答率に応じてレコメンドがなされる。 十分な正答率でクリアとなる。 取り組んだがクリアとなっていない問題のレコメンドがなされる。	最初からすべての単元にアクセス可能。 一連の問題の正誤に応じて、類題のレコメンドがなされる。 最初から各単元に進行単元のレコメンドが付される。 十分な正答率でクリアとなる。	最初からすべての単元にアクセス可能。 各問題の正誤に応じて進行単元にあたる問題に移る。間違えば進行が続くが、一度正解すれば最初の問題に戻る。進行の有無は、想定解答と、学習者の解答が一致しているか否かで判断される。最初の問題を全問正解でクリアとなる。 (学年や単元を遡って学習者が苦手を解消できるような問題をレコメンドする機能や、一度正解した学習要素は次の出題からは省く機能もあるとのこと。)	
*別機能を通して、すべての単元の問題に自由にアクセスすることもできる。	*別機能を通して、すべての単元の問題に自由にアクセスすることもできる。	クリア済みの単元について、復習のレコメンドはない。	クリア済みの単元について、復習のレコメンドはない。	クリア済みの単元について、それぞれ 2 回ずつ復習がレコメンドされる。	

解説	問題ごとに解説が出される。(文字では解説がわかりにくい問題には、解説動画が付されている場合もあるとのこと。)解説を読んでも理解できない場合、メッセージで質問を送ることができ、一人ひとりのつまずきに応じた回答がもらえる。	問題ごとに解説が出される。	問題によっては解説が出されない。解答するためのヒントが出される場合もある。	問題によって答えだけが出されたり、答えと解説がともに出されたりする。	問題ごとに解答するためのポイントが提示される。 問題の関連単元の講義動画は画面の右上に添付される。	不正解の原因にかかわらず、解説は固定的で一律なものとなっている。解説の内容は、数学の意味・概念に関する理解よりは、問題の「解き方」が中心となっている。
学習者・教員の参加の度合い	1 問題ごとにカリキュラムが自動的に組まれる。ある程度溯った土台問題のクリアが前提となっており、学習者・教員が問題を選んだり、学習計画を立てたりする裁量は比較的小さい。 (代わりに、指導者用コーチングツールを用いて学習姿勢やモチベーション管理による参加が期待されているとのこと。) *別機能を通して、学習者自身で単元を選ぶことも可能である。	どの単元のどのプリントをやるか、学習者・教員自身が選ぶことができるため、裁量は大きい。	どの単元のどのプリントをやるか、学習者・教員自身が選ぶことができるため、裁量は大きい。	どの単元のどのプリントをやるか、学習者・教員自身が選ぶことができるため、裁量は大きい。 溯行問題のプリントが提案されるが、やらなくても目標単元のドリル問題への影響がないため、強制ではない。	どの単元のどのプリントをやるか一覧画面の中から学習者・教員が選ぶことができ、問題はランダムに出題される。溯った問題を含めても目標単元の問題を練習できるという点から、学習者・教員の裁量はやや大きいといえよう。	

なお、すべてのドリルにおいて、問題への解答とともに、解説が提供されている。ただし、この解説は、学習者の誤答の種別にかかわらず、一定のものとなっている。たとえば、学習者の誤答には、意味の理解ができていない場合、計算を間違えた場合、単位をつけ間違えた場合など様々なパターンがありうるが、そのようなパターンの種別に応じて異なる解説を提供している例は見られなかった。なお、ドリルAについては、解説を読んでも理解できない場合にメッセージを送信すれば、回答が返信されるというサービスが提供されていた。

(4) 観点 4. 教師用の学習状況管理システム

最後に、教師用の学習状況管理システムにおいて、教師はどのような情報を把握できるか、その情報をどの程度クラス・個人指導に生かすことができるかを検討したい(表4)。

まず、いずれのドリルについても、採点や達成度などの情報が自動的に集計される機能が実装されていた。従来、教師たちがノートを回収し、丸付けにかかっていた労力と時間は、一気に削減できることとなる。

今回、調査したすべてのドリルにおいて、各学習者がどの進捗・達成度になっているのかを把握することが可能であった。また、それぞれの学習者がどの程度、時間をかけてドリルや講義動画の視聴に取り組んでいるかといったデータも確認できた。ドリルAについてはさらに、十分な時間をかけていない学習者がいた場合、「学習姿勢アラーム」機能によってコーチに注意を喚起し、学習者への支援につなげることがめざされていた(後述)。なお、ドリルCについては、問題ごとの平均正答率が集計されるため、クラスにおいて間違っている学習者の多い問題は何かという傾向が把握しやすい。ドリルCについては遡行の仕組みが組み込まれておらず、多くの場合、クラスの学習者が同じ進捗で同じ問題に取り組むこととなる。このことから、クラスにおける学習者全員の傾向をつかみやすいシステムとなっていると考えられる。一方、遡行を組み込むドリルについては、学習者の進捗がバラバラになるため、クラス全体の傾向を把握するという志向性は弱くなっているのだと思われる。

次に、ドリルB・C・Dについては、個々の学習者が特定の問題について正解したか不正解だったかだけでなく、どの解答を選択したのかも表示される機能を有していた。ドリルDについては、さらに、メモを含んだ解答過程も見ることができるとため、学習者がどのようにつまづいたかを把握し、その後の指導に生かすうえで有意義だと考えられる。

ただし、小学校の先生方へのインタビュー調査では、そのような機能がデジタル・ドリルに実装されているからといって、必ずしも有効に活用されるとは限らないという声も聞かれた。従来であれば、丸付けの作業の中で個々の学習者の「つまづき」の傾向が把握されていたのに対し、現状のデジタル・ドリルでは、まず学習状況管理画面を開き、クラスの学習状況を把握する画面から、検討したい学習者のリンクをクリックし、さらにその学習者が誤答した問題の解答を見るリンクをクリックしないといけない設計になっている。実際のところは、多忙な教師がそこまでの作業をすることはなかなかないというのが実情のようである。通常の授業での指導に組み合わせるという視点から考えると、たとえば、クラスの多くの学習者が間違っている問題が自動的に表示される、学習者ごとに「つまづき」の箇所が見えやすい形で表示される、といった機能をより充実させることが有意義だと考えられる。

表 4. 観点 4「教師用の学習状況管理システム」による比較結果

		相違点				類似点
		ドリル A	ドリル B	ドリル C	ドリル D	ドリル E
クラスの 情報		学習者全員の難易度設定、目標単元の達成状況と達成率、1 週間の学習時間、学習姿勢の傾向（アラートの推移）が表示される。	目標単元について、学習者全員の目標と達成率が表示される。	学習者全員の最終学習日、累計学習回数、平均学習時間、平均点、成績変化を確認できる。 各科目のクラス全体の平均点、学習者数などの情報が集計グラフによって、見やすい統計として整理されている。	学年平均・クラス平均、また学習者全員の学習時間、解答ドリル数、正答率、正答数、解き直した問題数が集計される。	クラス全体のプリントごととの習熟度は、各レベルのトロフィーを何人の学習者が獲得したかによって判断できる。
各学習者の 情報		各学習者の学習履歴、学習時間、学習単元、単元ごとの達成度が表示される。 「学習姿勢アラート」機能によって、「不正解時に解説をきちんと見ない可能性がある」と、「講義動画の視聴時間が所要時間の半分以下である」などの情報をリアルタイムで把握することができる。 単元ごとの詳細で、どの問題に正解し、どの問題を間違えたかを確認できるが、当該の学習者がどの選択肢を選んだかは表示できない。	各学習者の詳細確認で、目標単元に関する目標ごとの達成率、単元ごとの状態（未・中断・済）と学習履歴を確認できる。 各ユニットの解答確認を通して、正解・不正解の問題だけではなく、当該の学習者が入力した解答も表示される。	各プリントの最終学習日、累計学習回数、平均学習時間、平均点、成績変化を確認できる。 各科目のクラス全体の平均点、学習者数などの情報が集計グラフによって、見やすい統計として整理されている。	各学習者の学習詳細画面では、プリントごとの達成度が、「もう一度チャレンジ！」、「パーフェクト！」、「復習カンベキ！」などの表示によって評価される。 各プリントの解答状況の詳細で、正解・不正解の問題だけではなく、メモを含んだ学習者の解答も表示される。この機能が活用すれば、学習者が解答過程のどこに間違いがあったかも把握できると考えられる。	各学習者のプリントごとの習熟度は、獲得したトロフィーの数によって判断できる。 どの問題を間違えたか、どのような間違いが表示されないため、個人指導に生かすことが難しいと考えられる。
問題の作成・問題集の配信		教員は学習状況管理システムを通して、個人もしくは学習者全員に対して、問題集を配信することができる。	教員は学習状況管理システムを通して、個人もしくは学習者全員に対して、問題集を配信することができる。	教員は学習状況管理システムを通して、個人もしくは学習者全員に対して、問題集を配信することができる。 また、教員は新規問題を作成することもできる。	教員は学習状況管理システムを通して、個人もしくは学習者全員に対して、問題集を配信することができる。 また、教員は新規問題を作成することもできる。	問題の作成・問題集の配信はできない。

ドリル A については、「学習姿勢アラート」機能によって、学習者が「不正解時に解説をきちんと見ていない」、「講義動画の視聴時間が所要時間の半分以上である」といった情報を、コーチがリアルタイムで把握できるようになっている。これは、つい手を抜いてしまいがちな学習者に対して教師・コーチからのコミュニケーションを促し、支援を即時に提供する上では、有意義な機能だと考えられる。半面、使い方によっては、学習に対する管理の側面が強くなることから、目的を明確にした上で活用することが大切との印象も残った。

なお、ドリル A・B・C・D については、教師用の学習状況管理システムを通して、個人、もしくは学習者全員に、問題集を配信することが可能であった。また、ドリル C・D については、教師が新規の問題を作る機能も有していた。教師たちがより柔軟に教材を活用・開発することを支援する上で、このように教師がアレンジできる余地を残すことは有意義なものと言えよう。

5. 考察

以上述べてきた 5 社のドリルの比較調査によって、教育現場において共有する価値のある、一定の意義深い知見が得られたと考えている。以下、5 点に分けて整理する。

(1) 明らかになったデジタル・ドリルと紙のドリルの違い

まず、いずれのデジタル・ドリルも自動採点機能、解説の表示機能、達成度の集計機能などを有していた。また、デジタル・ドリルによっては、ゲーミフィケーションが取り入れられていた。これらの機能は、採点や集計にかかわる教師の労力や時間を削減できる点、また学習者の学習履歴を一覧できるようになる点、学習者への動機づけが図られている点で、大きな魅力であろう。

しかし、最も重要な違いは、レコメンドや遡行の機能を有することで学習者の「つまづき」を乗り越える機会を拡大する可能性が認められる点である。この機能によって、デジタル・ドリルは、従来のドリルから一般に連想される範囲を大きく超えた教材となっている。

ドリルというと習熟（学んだ内容を繰り返し、自動化・身体化し自分のものにすること）の道具としての側面が強かったが、デジタル・ドリルの学年・学校段階をも超えた遡行の機能は、「つまづき」の要素（学習上の穴）を、ざっくりでも診断・可視化できる点に意味を見出せる。この機能により、2. (1) で取り上げた、ドリル学習としてソーニングダイク的主張した「それぞれの要素を繰り返し練習・強化」を超え、複雑に絡み合った複数の要素を行き来しながら繰り返し練習・強化することを実現し、より柔軟なやり方で本来の教育目標を達成しようとしている。これは、2. (2) で取り上げた ITS の目指していた機能に近い。

1980 年代には、CAI の様式を「ドリル」「チュートリアル」「問い合わせ」「ゲーム・シミュレーション」「問題解決」の 5 つに分けるのが一般的であった²⁰。このうち、当時の CAI コースウェアの主流として位置づけられていた「チュートリアル」は、「教師と学習者が一対一で教授学習を展開していく時に教師がする機能をコンピュータにさせて教授学習を進めていく」ともとされ、「一人一人の学習者の適性能力に合わせて、その適性能力を効果的に形成していく、学習の個別化、教授の最適化を実現することが目的」とされていた。デジタル・ドリルの

もつ遡行機能は、遡行時に提示される説明・解説の動画・スライドなどと合わせて、1980年代の知的 CAI の様式のうち「ドリル」だけでなく「チュートリアル」の機能をも目指したものであるだろう。ただし、この「チュートリアル」の機能は、あくまで行動主義的な訓練のパラダイム（ドリル）の枠内に留まるものであり、人間が行う応答的なチュートリアルを代替するものではない。

また、遡行の機能面についても、学習者の「つまずき」を教師が把握し、指導の改善に役立てるという観点からみると、現状のデジタル・ドリルの示す「つまずき」の傾向はまだ精度が粗いと言わざるをえない。この点については、算数・数学教育における「つまずき」研究の知見を活かして出題される問題や回答の選択肢をさらに工夫する余地がある。ただし、意味理解に関する「つまずき」を回復する手立てを構想することについては、統計的な処理で分析を進める AI では限界があると考えられる。この点は考察（4）で再び取り上げる。

さらに別の問題として、「つまずき」検出の精度を高めることは、学習管理の強化に直結し、学習者自身による「つまずき」発見の機会を奪う危惧がある。より広い観点からは、学習への管理が強くなればなるほど、目標に向けて自ら学習計画を立てたりする機会が代替されるため、学習者が自律的・自立的に学習を進める力を育成する機会が小さくなるというジレンマも存在している。この点は考察（5）で再び取り上げる。

（2）デジタル・ドリルにおいて操作的な解き方が強調される傾向

いずれのデジタル・ドリルについても、講義動画や解説においては、操作的な解き方が強調される傾向がみられた。これは、多くのドリルで、教科書教材等を用いた教師による指導との併用が想定されていることを反映していると考えられる。算数・数学の内容の深い理解には、具体物・半具体物と抽象的な概念とを往復しつつ学ぶことが必須であるし、そもそも単純な技能面の「つまずき」に見えているものも、手続的知識の習得に解消されない概念（手続きを支える原理）の意味理解に起因することも明らかにされてきた²¹。デジタル・ドリルを使う際にも、教師は、そういった深い理解を保障するための指導を行うことを忘れてはならない。

近年では、「使える」レベルの学力を育成するために、パフォーマンス課題の重要性が指摘されている。パフォーマンス課題は、本質的にドリルとは異なる種類の学力を評価するものである。自動採点できる範囲の学力だけで、その単元の内容を十分に達成できていると判断することには、限界があることにも留意が必要であろう。また、ドリル学習一般に通じる問題であるが、時間短縮や学習の効率化という点が強調されすぎること、学びの深さよりも浅い処理に向かう機械的学習観が無意識的に強化されること（負の学習）にも注意が必要である。

さらに、小学校の先生方へのインタビュー調査において、執筆者の一人（久富）が「ログを見て分かった傾向と、実態を見て感じる傾向が異なると感じたことはありますか？」と尋ねたところ、デジタル・ドリルのログで見た達成率から想定されるよりは、ペーパーテストをやってみると思ったよりできていない傾向があったという答えがあった。それが、出題形式の違いによるものか、デジタル・ドリルでは子どもの学びや理解が浅いためなのかは分からないとのことであったが、デジタル・ドリルの示す傾向を鵜呑みにせず、子どもの実態を捉えるうえでの判断材料の一つに留めるのがよいだろう。

（３）AI 活用をうたう教材とそうでない教材に見られる違い

デジタル・ドリルのうち、AI 活用をうたっているものと AI 活用に触れていないものの間に見られた最も大きな違いは「問題へのアクセス過程」（表 3）であろう。AI 活用を明示的にはうたっていないドリル C・D・E は、最初からすべての単元に取り組める状態で学習者に提示される。一方、AI 活用をうたっているドリル A・B は、学習者が何らかの目標に沿って問題に取り組むことが最初のステップである。ドリル A・B も、すべての単元に取り組める機能も有しているものの、基本的な設計のあり方に学習観の違いが反映されている。

加えて、それぞれのカテゴリー内でも、想定されている学習像に多様性がみられた。ドリル A では AI の活用によって抽出された「つまずき」の箇所を、遡行と自動編成されたカリキュラムによって効率よく克服することが重視されているのに対し、ドリル B の特徴は小問への解答を求めつつ講義動画を視聴したうえで問題演習へと進む点にあった。また、ドリル A は 1 問ごとにカリキュラムが自動的に組まれるが、その影響で、基本機能においては学習者・教師が問題を選んだり学習計画を立てたりする裁量が小さかった。ドリル B においては、教師が指定する目標単元に合った問題が配列され、学習者はそのうちどの問題にも自由にアクセスできた。なお、ドリル A・B とも、別機能では、学習者自身で単元を選ぶこともできる。

AI 活用を明示的にはうたっていないドリル C・D・E については、いずれも多く形式と種類の問題を有していたものの、提供されている問題の中に、数個のステップを踏む問題や日常の事象に適用された場面の問題が含まれるかどうかには違いがみられた。

したがって、デジタル・ドリルを利用する教師たちには、それぞれのドリルの特長や限界を理解したうえでドリルを選択し、不足する部分を補う知見が求められている。

（４）AI の主な活用ポイント：遡行範囲の設定

CAI に人工知能を取り込んで知的 CAI の研究が行われた 1970 年代に、知的な教育支援を実現する上で必要なシステム構成が「①いかに教えるかを表現する教授知識、②教える知識を表す教材知識、③学習者の知識状態や理解状態を推定する学習者モデル、④双方向対話を実現するユーザーインタフェース」の 4 要素にまとめられている²²。

今回の調査で浮かび上がったデジタル・ドリルを分析する上での 4 観点のうち、「画面の作り方」は④に、「問題プール」は②に、「レコメンド・フィードバック機能」は①に主に該当し、「教師用の学習状況管理システム」は CMI の機能に該当するであろう。

そのうえで、AI の機能については、主に、遡行の範囲を設定するために用いられていることが明らかになった。デジタル・ドリルと最も近い設計思想と考えられる ITS の構成²³に基づけば、遡行の範囲の設定は、学習者の振る舞いから推定された③の情報から、②に格納された基準を踏まえて AI が判断し、その結果を踏まえて①の機能として学習者が学ぶべき範囲を提示する、とまとめられるであろう（これら全てが④のもとで行われている）。

一方で、遡行範囲の設定には、まだ人間の目から見れば不十分と感じられる例も見受けられた。たとえば、「縦 3000m、横 4000m の長方形の面積は何km²か」という問題に単位換算でつまずいても、長方形の面積の求め方に一律に戻されたりする。また、「つまずき」の原因の質的な違い（例：平行四辺形の求積問題でつまずいている時に、求積公式を覚えていないからなの

か、「高さ」の意味がわかっていないからなのか）に対応するものではない。カリキュラム（問題の系列）を構成する内容の粒度においては、プログラム学習のベースとなる課題分析（学習課題を達成する前提条件や補助的な条件（例：二次関数の問題が解けるようになるには、二次方程式が解けないといけないし、因数分解ができないといけない）を明らかにしたりする）と大きな差はないのが現状であったと考えられる。

学習者の学習履歴に関するデータが蓄積されるにつれ、ある「つまずき」を乗り越えるために、どのような土台に遡ることが有効なのかについても、AI によって分析が進むことが期待される。ただし、ここまで述べたように、AI の実装はまだ細部に行き渡っていない場合があるし、4.（2）で触れたように AI の示す傾向が実態から離れているかもしれない。AI が万能な「個別最適化」を図ってくれるといったイメージは幻想とみなすべきである。実際、AI を万能とみなすべきでないことは、今回ご協力いただいた AI 活用をうたうドリルの開発者の多くとも共有でき、利用する教師への研修や子どもへの指導といった形で、人による支援を併用することを前提とした使われ方がされるよう、工夫がされていたことを強調しておきたい。

（5）AI 教材の一つとしてのデジタル・ドリルの可能性と限界

2.（3）において AI 教材の定義について取り上げ、年代によって何を AI の技術と見なすかが変化するため、AI 教材の定義が難しいことを指摘した。今回の 2021 年に行われた調査においては、遡行機能の有無が AI 教材の大きな基準の一つであったと言える。実際、遡行機能に紙のドリルとの違いが顕著に現れ、その実現のために AI が活用されていた。とはいえ、将来的にはこの基準は有効でなくなり、より高度な機能が基準になっていく可能性が高い。今回は触れなかったが、ドリル B・C・E が持っていた手書き入力機能は、1980 年代であれば AI 教材であるかどうかの重要な基準とみなされた可能性がある。このように、AI 教材の定義を機能面から定めることは難しく、社会が何を AI と見なすかに大きく依存している。

ビッグデータの統計分析が可能にする、より知性や社会性を感じるような機械や機能は、日常生活のデジタル化（データ化とその自動蓄積）の進展とともに、より利便性を高める方向で進化していだろう。たとえば、表 4 にまとめた調査結果の観点 4 「教員用の学習状況管理システム」に含まれる機能に相当する行為、1 問単位で全学習者の正答率が可視化され教師が厳密に把握するような行為は、紙の教材では難しかったし、そこまでしようという気持ちも起こらなかったであろう。しかし、端末を通じて学習データを効率的に収集し、AI の機能を用いてスマートに分析・可視化され、AI 教材を通して提示された時、その機能はデフォルトとなり、さらには、教師による学習者の把握だけでなく、学習者による自分自身の学習状況の把握にも機能を開放し、自らの状況だけでなく学習内容の連関の分析・可視化にまで応用する可能性をも追求し始めるだろう。一方で、際限なき学びのデータ化・可視化は、監視・管理・操作される感覚や、逆にデータ化されやすいところしか可視化されないもどかしさ（個別具体的な子どもの学びの全体性が見えない感覚）ももたらす。ただ、そうした現在「人間的」と思われている感覚のラインすらも、AI の生活への浸透の中で変わっていくだろう。

利便性はさらなる利便性への欲求を開拓しながら技術の進歩を促し、技術は生活にとけ込み、人間と機械との境界自体もゆらいでいく。考察（4）で指摘したように、画一的な遡行や、質

的な「つまずき」への対応が見られない点など、現状のデジタル・ドリルには克服されるべき点が多々見られる。しかし、それらの課題も AI が細部まで実装されることによって、ある程度は克服されるかもしれない。正確には、統計的な傾向や類型の把握によっては、個別具体的なつまずきの質を診断することは原理的には不可能であるが、人間の目による繊細な判断や応答までいかなくても、AI によるある程度の確からしさをもった診断で、「つまずき」への対応が実現したと社会的にみなされるかもしれない。20 年後にデジタル・ドリルが AI 教材とみなされるかどうかの基準の一つは、これらの機能の有無によるという可能性もある。

では、AI 教材の一つとしてのデジタル・ドリルの限界はどこにあるだろうか。今回の分析を通じて指摘できることは 3 点ある。第 1 に、デジタル・ドリルは AI 的な機能を備えても、やはりドリル学習の持つ限界に縛られている点である。たしかに、従来の「ドリル」の機能を超え、1980 年代に考えられていた「チュートリアル」の機能を部分的に実現し、学習者自身で取り組みやすく効率的な「ドリル学習」を実現しうる。しかし、2. (1) で述べた定型的熟達化へ至る道は提示するものの、応用の利く柔軟性をもった適応的熟達化には至りにくい点は否めない。計算の習熟について、計算手順の自動化に寄与しうるが、その手順の正しさは保証されず、ましてや計算手順の意味を理解し、他の計算へ応用する力を育てるとは限らない。

「ドリル」を名乗ることで「知っている・できる」レベルの学力や行動主義的な学習観といった枠に制約されがちであるが、それを克服するためには、AI の機能だけでなく、教科教育研究の蓄積にも学びながら、学習観を豊かにし、意味・概念の理解を意識した問題プールや解説などの充実が重要となるだろう。また、AI 教材を AI 教材たらしめている「レコメンド・フィードバック機能」自体は、「ドリル」に限らない自学支援教材の可能性に開かれている。「使える」のレベルも見据えたパフォーマンス課題への取り組みを支援するようなシステムの開発も期待したい。

限界の 2 点目として、デジタル・ドリルは、適応的熟達化に至りにくいだけでなく、適応的熟達化や自律的な学びを阻害する懸念がある。確かに、学習者の一定数はつまずいたことにも気づけないし、学習計画を立てることも難しい。教師が、そうした生徒一人ひとりのわからないところを把握しそれに応じて支援することも、物理的にも時間的にも非常に難しい。学習のスタートラインに立たせる上で、AI 教材がある種のセーフティネットとなり、一定数の学習者を救うことは非常に重要な価値である。しかし、たとえば、考察 (1) の最後に取り上げたように、「つまずき」検出の精度を高めることは、自らや周りの「つまずき」に違和感を覚え、立ち止まってその原因と意味を考え、回復の手段を講じたり学習計画を立てたりするといった、適応的熟達化や自律的な学びに至る機会を奪う危険がある。また、一定以上の学力を持つ学習者がお手軽に形式的な学力を身につけるため（例：受験対策、テスト対策）に活用される場合には、「日本型高学力」として問題視されてきたような、手際よく問題をこなす定型的熟達化に留まり、深さに向かわない浅い知識観・学習観を持った学習者を産む傾向を強めてしまう危険性もある。このような問題を克服するには、たとえば、不便だからこそ得られる効用である、不便益²⁴のような考え方を取り入れ、効率化一辺倒にならないような設計理念も必要だろう。

限界の 3 点目は、最終的に学習者がどうなりたいか、教師として学習者にどうなってほしいか、社会の変化に対して自律的・主体的に取り組めるような姿勢をどう育成するか、といった

教育のより深いレベルについては、ほとんど何も提供できない点である。そのような機能までをドリルに求めるのは酷でもあるが、教育において価値を判断し、ビジョンを描くといった役割は、人間にしか果たせないものである。AI 教材が教師を代替することではなく、AI を万能とみなすべきでないことを確認しておくことは重要であろう。

6. おわりに

考察を通して、現在のデジタル・ドリルは、AI 的な機能を含め、実は 1980 年代頃までの知的 CAI の枠組みにほとんど収まっていることが明らかになった。それでも、知的 CAI が備えるべき機能をうまく組み合わせ、教師の役割を代替とまでは言わなくても、ある程度は知的に教師を支援する可能性をデジタル・ドリルは持っている。その結果、ドリルという名の下で、一般的に「ドリル」から想定される範囲を超える機能が実現されていた。このような教材の進化が、未来の教育を変えうるものとして注目される一因になっているのだろう。もっとも、教育以外の様々な分野で AI の可能性が注目を浴びていることや、紙のドリルと同じくらいいつでも自由にデジタル・ドリルに取り組める 1 人 1 台環境が実現したことも、要因としては無視できない。それらも含め、AI 教材が従来のドリルと一線を画して注目される要因は、機能面よりむしろ、社会的な側面に求められるであろう。

なお、ここまで取り上げてこなかったが、デジタル・ドリルの活用に関して、学習者の学習履歴をどの範囲で収集し、利活用していくかについては議論の余地がある。学習者の解答状況に応じた適行の機能には、利便性や可能性が見出せる一方、学習者の監視・管理・操作へ行き過ぎる危険性もある。加えて、蓄積された解答状況の個人情報保護や、そのビッグデータの所有権の問題もある。デジタル・ドリルに実装される AI のため、どのような範囲・粒度の学習履歴がどのように蓄積・管理・運用されるべきか、技術的な実現性と社会的に許容できるコストや倫理とのバランスを踏まえ、多様な立場を超えた議論が必要である。また、教育データ利活用を担う人材育成も重要である。今回の研究に則して言えば、デジタル・ドリルの特徴や限界を理解でき、分析結果を鵜呑みにせず適切に教育に利用できる現場の教師の育成も急務である²⁵。

最後に、これらの特徴をもったデジタル・ドリルを活用するにあたっては、誰が費用を負担するのかについても検討しておく必要があるだろう。紙のドリルが 1 学期あたり数百円であるのに対し、デジタル・ドリルは 1 か月あたり数百円から 2000 円弱程度の価格となっている。早期からデジタル・ドリルを活用することで、子どもたちの「つまずき」を減らし、学力水準を向上させる効果は期待したいところであるが、現状では、すべての子どもたちにデジタル・ドリルが提供される保証はない。地域や家庭の経済状況に応じて利用の可否が分かれるとなると、現在、既に問題になっている格差がさらに拡大する懸念もあることに注意が必要であろう。

<謝辞>

本調査は、京都大学の GAP 臨時プログラム「ポスト・コロナの初等中等教育における ICT 活用に関する研修プログラム開発と具体的提言」（2020 年度、代表 西岡加名恵）の一環として行った。実際にドリルを体験する作業は、主に著者の一人（肖）と、教育学部生の市橋千弥

氏・糸川薫樹氏・小松佳生氏が担当した。

調査に当たっては、atama plus、すららネット、東京書籍、凸版印刷、ベネッセの 5 社に多大なご協力をいただいた（ここでは 50 音順で示しており、ドリル A～E には対応していない）。また、調査の依頼に際しては、経済産業省「未来の教室」教育・広報アドバイザーである寺西隆行氏に仲介の労を取っていただいた。さらに、津下哲也先生・志田倫明先生・岡田健先生にインタビュー調査、野田塾に訪問調査の機会をいただいた。ここに記して感謝したい。

<註>

1. 経済産業省「未来の教室ってなに？」(<https://www.learning-innovation.go.jp/about/>、2021 年 8 月 11 日確認)。
2. 浅野大介「経産省が『教育現場の DX』に超本気の納得理由——より社会や企業に近い省庁ならではの狙い」『東京経済 ONLINE』2021 年 5 月 5 日 (<https://toyokeizai.net/articles/-/425254>、2021 年 8 月 11 日確認)。なお、坂城高等学校の伊藤浩治校長は、「時間短縮」というよりも「生産性が上がった」とコメントしている（「地方のスタンダードな公立校、長野県坂城高校の挑戦 (2) 学習意欲がないのは、生徒の責任ではない」『リセマム』2021 年 1 月 13 日 (<https://resemom.jp/article/2021/01/13/59873.html>、2021 年 8 月 26 日確認)。
3. 中央教育審議会『『令和の日本型学校教育』の構築を目指して』(2021 年 1 月 26 日)
4. たとえば、AI 教材 Qubena を開発した (株) COMPASS の代表である神野元基は、「学校教育における AI 型教材導入のすすめ——知識教育の効率化により確保した時間で『未来を生き抜く力』を子どもたちに」(『情報処理』Vol.58、No.3、2017 年、pp.186-187) で自社の教材を説明している。また、『教育科学 数学教育』2021 年 5 月号では、特集『『1 人 1 台端末+EdTech』の ICT 活用』が組まれており、各社の教材や学習支援ツールが紹介されている。
5. たとえば、次のような研究が行われている。寺重理英子・江草章仁・長原啓三・鹿嶋達哉・斎礼「小規模効率高等学校におけるクラウド型 ICT 教材の活用事例——基礎学力と自律的に学習する態度を育てるために」『広島国際大学 教職教室 教育論叢』第 8 号、2016 年、pp.43-61。平田郁美・松本拓「AI 活用数学自習教材 Qubena をつけたアダプティブ教育の効果測定——共愛学園高等学校の実践事例を通して」『共愛学園前橋国際大学論』2021 年、第 21 号、pp.133-148。大門耕平・坂井武司・中島晃貴「数学教育におけるアダプティブラーニングを用いた効果についての研究——アダプティブラーニング教材 Qubena を用いた教育実践」『京都女子大学教職支援センター研究紀要』2021 年、第 3 号、pp.135-143。
6. 津下らは、AI 機能を備えると見られる 9 社の教材について、各社のホームページや紹介動画を参考にして特徴を整理・分類し、考察を行っている（津下哲也・佐藤幸江・中川一史「AI 教材の特徴と分類」AI 時代の教育学会『2020 年第 1 回研究会 予稿集』2020 年 8 月 31 日。<https://eduai.org/2020%E5%B9%B4%E7%AC%AC1%E5%9B%9E%E7%A0%94%E7%A9%B6%E4%BC%9A%E3%80%80%E4%BA%88%E7%A8%BF%E9%9B%86/>、2020 年 8 月 30 日確認)。
7. 「デジタル技術」の代わりに「情報技術」と呼ぶことも考えられるが、本稿では「デジタル・ドリル」に合わせて「デジタル技術」と呼ぶ。
8. ドリル学習の起源やその意義と課題については、吉田甫「20 世紀の心理学を振り返る」『教

育心理学年報』Vol.39、2000年、pp.132-145、及び吉田甫『子どもは数をどのように理解しているのか』新曜社、1991年を参照。

9. 松下佳代「百ます計算で何が獲得され、何が獲得されないか」『教育』2004年6月号、pp.20-22。

10. CAIに関しては、柏原昭博編「教育支援」人工知能学会編『人工知能学大辞典』2017年、pp.1099-1178、菅井勝雄「CAI研究の可能性と今後の課題 パラダイム論の観点からみたCAI設計思想の転換をめぐって」『日本教育工学雑誌』Vol.7、1983年、pp.171-181、林敏浩・矢野米雄「教育・学習システムにおける学習者支援の動向」『システム／制御／情報』Vol.55、2011年、pp.418-424、及び岡本敏雄「教育工学の歴史」『電子情報通信学会 知識ベース』S3群11編1章、などを参照した。

11. 注釈10の文献のうち、柏原昭博「総論」『人工知能学大辞典』pp.1100-1106より。

12. 日本中の大学に導入され、コロナ禍における教育において不可欠となっているLMS (Learning Management System：学習管理システム) は、CMIの一つと考えられる。

13. たとえば、成瀬正行・後藤忠彦「反応構造による教授項目の系列化」『日本教育工学雑誌』Vol.2(4)、1977年、pp.137-148、赤堀侃司「教授・学習行動のパターン分析」『日本教育工学雑誌』Vol.13(4)、1989年、pp.139-147、など。

14. 教育データ利活用については、日本学術会議 心理学・教育学委員会・情報学委員会合同 教育データ利活用分科会「教育のデジタル化を踏まえた学習データの利活用に関する提言——エビデンスに基づく教育に向けて」2020年、または文部科学省の教育データの利活用に関する有識者会議の議論（たとえば、「教育データの利活用に係る論点整理（中間まとめ）」、2021年）などを参照のこと。

15. 注釈4の神野の論文より。

16. 主に次の文献の内容について、共通理解を図った。注8の吉田『子どもは数をどのように理解しているのか』、吉田甫・多賀秀継編著『認知心理学からみた数の理解』（北大路書房、1995年）、吉田甫『学力低下をどう克服するか——子どもの目線から考える』（新曜社、2003年）。

17. 緒方広明研究室のホームページより「ラーニングアナリティクスによるビッグデータ時代の教育」（<https://www.let.media.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/2020/12/90199ebfc59dfc072a8616c1a6a9e882.pdf>、2021年8月30日確認）を主に利用した。

18. 石井英真『今求められる学力と学びとは——コンピテンシー・ベースのカリキュラムの光と影』日本標準、2015年。三層で学力・学習の質を捉える発想は、目標分類学に関する研究の蓄積をもとにしている（石井英真『増補版・現代アメリカにおける学力形成論の展開』東信堂、2020年）。「タキソノミー (taxonomy)」(分類学) というタームを教育研究に導入したのは、シカゴ大学のブルーム (B. S. Bloom) らである。ブルームらは、教育目標、特に、「〇〇を理解している」といった動詞部分を分類し明確に叙述するための枠組みを開発し、それを「教育目標の分類学 (taxonomy of educational objectives)」と名づけた。このブルームらによる教育目標の分類学は、一般に「ブルーム・タキソノミー」と呼ばれる。ブルーム・タキソノミーは、認知目標だけでなく情意目標についても、目標や学習成果を語る共通言語を提供するも

ので、各カテゴリーごとに、教育目標の例とその目標に対応するテスト項目の例とが紹介されている。たとえば、認知領域は、「知識」「理解」「適用」「分析」「総合」「評価」の6つの主要カテゴリーによって構成されている。しかし、大きくは、「知識」（事実に知識の記憶）／「理解」（概念的知識の理解）、「適用」（手続的知識の適用）／「分析」「総合」「評価」（さまざまな知識を状況に応じて組み合わせる高次の問題解決）として捉えることができる。

19. 西岡加名恵『教科と総合学習のカリキュラム設計——パフォーマンス評価をどう活かすか』図書文化、2016年。

20. 中山和彦・東原義訓「未来の教室：マイコン・クラスルーム C A I 教育への挑戦」筑波出版会、1986年。

21. 鈴木宏昭「算数・数学の理解」鈴木宏昭・鈴木高士・村山功・杉本卓『教科理解の認知心理学』新曜社、1989年。

22. 注釈11の文献より。

23. 注釈10のうち、溝口理一郎「知的教育システム」『人工知能学大辞典』pp.1109-1111より。

24. 川上浩司『不便から生まれるデザイン——工学に活かす常識を超えた発想』化学同人、2011年。また、川上浩司『不便益——手間をかけるシステムのデザイン』近代化学社、2017年などに詳しい。

25. 注釈14の資料などに詳しい。たとえば、日本学術会議の提言では問題点と提言が、利活用の範囲と目的、制度設計、環境整備、人材育成の4つの論点にまとめられている。また、教育データ利活用のポリシーや原則も模索されており、文部科学省の論点整理における利活用の原則には「教育・学習は、技術に優先すること」「安全・安心を確保すること」などの5点が挙げられている。

（教育・人間科学講座 教授、教育・人間科学講座 准教授、
情報関連 助教、教育方法学・発達科学コース 修士課程1回生）

（受稿2021年8月31日、受理2021年10月7日）

デジタル化されたドリルの現状と今後の課題

—算数・数学に焦点を合わせて—

西岡 加名恵 石井 英真 久富 望 肖 瑤

本研究では、「個別最適化」を促進するものとの期待が寄せられているデジタル・ドリルについて、5社のものを調査した。具体的には、「画面の作り方」、「問題プール」、「レコメンド・フィードバック機能」、「教師用の学習状況管理システム」の4つの観点から比較した。デジタル・ドリルには自動採点機能や達成度の集計機能などが備わっていることに加えて、レコメンド、遡行の機能などが備わっている例もあった。ただし、「つまずき」に応じて指導の改善につなげるという点では、機能を改善する余地がある。また、いずれのデジタル・ドリルについても、概念や意味の理解よりは、操作的な解き方が強調される傾向がみられるため、教師の適切な指導と組み合わせて用いることが求められる。なお、機能がAI的か否かの定義は困難であるものの、機能の一体性やAIという語のもつイメージがドリルの位置づけを変化させる要因となっていることが明らかになった。

Current Status of the Digitalization of Drills and Related Future Problems: Focusing on Arithmetic and Mathematics

NISHIOKA Kanae, ISHII Terumasa, KUTOMI Nozomu, XIAO Yao

In this study, we surveyed the digital drills developed by five companies, which are expected to promote the “optimization of an individual learner.” Specifically, comparisons were made among five drills from four perspectives: “How to construct a screen,” “Problem pools,” “Recommendation and feedback functions,” and the “Learning situation management system for teachers.” In addition to digital drills being equipped with automatic scoring functionality and aggregation functionality surrounding achievements, they are also examples of drills featuring recommendations for further practice and retroactive functionality. However, there is room for improvement in terms of the functionality that leads to a development in the instructions responding to “setbacks.” In addition, as operational solutions tend to be emphasized in all digital drills rather than in terms of understanding concepts and meanings, they should be used in combination with appropriate guidance by teachers. Although it is difficult to define whether functionality is AI (Artificial Intelligence)-like or not, it has become clear that its uniformity and the image of the term “AI” are factors that alter the positioning of the drill.

キーワード：ICT活用、個別最適化、ドリル

Keywords: utilization of ICT (Information and Communication Technology), individual optimization, drills