

デジタルドリルによる適応学習の可能性の検討

津下 哲也

要旨

本稿では、過去の研究動向を統合的に整理し、デジタルドリルによる適応学習実現の可能性を検討した。3では、現在の使われているデジタルドリルはプログラム学習を理論的背景にもつCAI及びITSの研究の系譜に位置づけられ、開発当初より学習の個別化の実現を意図して進化発展してきたことを述べた。4では、適応学習の概念を技術、指導、学習といった視点から整理した上で、適応指導をコンピュータ側からのアプローチによって実現する取り組みが適応学習であることを述べた。5では、国内外の適応学習教材による適応学習実現に関する研究について、CAI及びITSに関するものと、適応学習教材としてのデジタルドリルに関するものについて、その成果と課題について述べた。世界的に見ると多くの研究知見が示されているものの、わが国においては、デジタルドリルを用いた適応学習に関する知見の集積は十分であるとは言えない。さらなる研究的知見の集積が求められるが、その際、本稿で述べたような視点を意識しながら、目指すべき適応学習の姿を明確にした上で、研究的知見を集積していく必要がある。

キーワード：デジタルドリル、適応学習、CAI、ITS、AIドリル

1. 研究の背景と目的

我が国では、GIGAスクール構想により、全国の小中学校に1人1台の学習端末が整備された。それに伴い、デジタルドリルを導入する自治体や学校も増えてきた。デジタルドリルの中には、AI技術を活用し、正答率や学習状況等のスタディ・ログを分析し、一人一人に応じた問題が出題される「AIドリル」と呼ばれるものがある(文科省, 内田洋行 2021)。神野(2017)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教材と定義し、各個人の状況に基づいて最適な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)の教材も含まれるとしている。

AIという言葉のインパクトは強く、一人一人に応じた問題が出題されると聞くと、どの子も一定基準の学力(例えばABC三段階評定のAまたはB)を身に付けられるかのような印象を受ける。実際に、デジタルドリルによって、正答率が向上したと報告する研究もある(平田・松本 2021)。一方で、学校現場で用いられているデジタルドリルを会社ごとに比較すると、会社によってその特徴には違いが見られる(津下・中川 2022)。西岡ほか(2022)は、各社のデジタルドリルを比較検討し特徴の違いを示した上で、デジタルドリルが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おり、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と指摘している。

GIGAスクール構想下で用いられるようになったデジタルドリルを用いることにより、適応学習は実現し得るのか。この問いに答えるためには、そもそもデジタルドリルとは一体何者で、過去の研究のどこに位置付きどのような特徴をもっているのか、そして、目指そうとする適応学習とは一体どういったもので、その実現にデジタルドリルはどのように寄与するのかについて、過去の知見を整理し、検討していく必要がある。これらについて、部分的に言及している研究は見られるものの、統合的に論じている研究は少ない。そこで本稿では、過去の研究動向を統合的に整理し、デジタルドリルによる適応学習実現の可能性を検討することを目的とする。

2. 研究方法

まず、3において現在学校現場で用いられている適応学習教材としてのデジタルドリルについて、CAI及びITSに関する研究を軸

に、これまでの開発研究の中での位置づけを確認し、その特徴について整理する。次に、4において、適応学習の概念について、過去の知見を参照しながら整理し、適応学習教材としてのデジタルドリルの位置づけを確認する。そして、5において、デジタルドリルによる適応学習の実現のために、これまでに行われてきた適応学習教材としてのデジタルドリルに関する研究知見を整理し、成果と課題について検討する。最後に6において、3～5までに得られた知見をまとめた上で、デジタルドリルによる適応学習実現の可能性を論じる。

3. デジタルドリル

(1) ドリル学習とCAI

技能や知識を習得する際に、何らかの行為を繰り返す行うことによって内容の定着を図ることをドリル学習という(岡・松山 2007)。小学校では、繰り返し学習の1つとして最も広く用いられている方法であり、これまで紙の漢字ドリルや計算ドリルを用いて、家庭学習などの場面を中心にドリル学習が行われてきた。ドリル学習による算数の計算技能向上に関しては、いくつかの研究においてその有効性が示されている(吉田 1979, 鈴木ほか 2003)。

また、コンピュータを用いてドリル学習を行う取り組みは、CAI(Computer Assisted Learning)と呼ばれ、アメリカにおいて1960年代頃から研究開発が進められてきた(溝口 1974)。ソーランドイクの行動主義を心理学的背景とするスキナーのプログラム学習(PI Program Instruction)・ティーチングマシーンは、スモールステップの原則を特徴にもち、CAIの開発研究の理論的背景とされた。我が国では、1964年に教授活動という形で神奈川大学に初めてCAIシステムが導入され(溝口 1974)、学校教育現場においては、国立教育研究所のCAIプロジェクトとして、1974年に東京都葛飾区常盤中学校にわが国最初のCAIシステムが設置され、実証研究が行われた(木村 1976)。

このCAIシステムの教育的な目的について、木村(1976)は5つの観点でまとめている。以下、ドリル学習に関連する部分を3つの観点を引用する。

・教育界の長年の夢であった学習の個別化を実現することにより、

一斉授業では実現できないひとりの学習者の学習過程と成果を効果的に改善する。

- ・学習者の特性に合致し、多様な教育環境でより効果的に学習を進めることができる「より豊かな教育環境」を実現する。
- ・CAIシステムの活用により、人間教師のより創造的な教育活動を支援する教育システムを建設する。

このまとめから、CAIに期待される教育的な役割は、一斉授業では実現できなかった学習の個別化の実現であることが分かる。コンピュータによって個別化を図るという理念は、木村がこのまとめを出した1976年から約50年経過した現在においても変わっておらず、コンピュータの教育利用の重要かつ主要なテーマであると言える。この文脈においてCAIは、現在のデジタルドリルの原型であると言える。

(2) 知的CAIとITS

学習の個別化が期待され研究開発が進められてきたCAIであったが、当時のシステムの多くはドリル&プラクティス型であり、学習者の理解の状態に関係なく問題が提出されるもので、柔軟さに欠けることが指摘されていた（溝口 1989）。これに対して、知識処理技法を導入した知的CAIと呼ばれるCAIが開発されるようになった（溝口 1989）。

知的CAIは、カーボネル（1970）によって提唱された。カーボネルは、手続き的なプログラミングに代えて、AIアーキテクチャを導入することを提唱し、南アメリカの地理に関する知的CAIである Scholar を作成した（大槻 1992）。カーボネルの方法論は、その後の知的CAIに大きな影響を与え、多くの研究開発が行われた。

1970年代から1980年代にかけて開発されていった知的CAIは、ITS（Intelligent Tutoring System）とも呼ばれる。両者を区別する論文もあるが、本稿では知的CAIとITSは同じものとして扱う。

ITSは、何を教えるべきかを特定する教育内容のモデルと、どのように教えるべきかを特定する教授戦略を持つ、コンピュータベースの教育システムである（Wenger 1987）。一般にITSは、ドメインモデル、学生モデル、指導モデル、インターフェイスの4つのアーキテクチャをもつ（Wenger1978）。ドメインモデルは、数学や科学といった、ITSが対象とするドメイン知識を扱う。学生モデルは、学習スタイル、活動、行動、知識の過不足など、学生の属性に依存するもので、システムに保存されることがある。指導モデルは、学生モデルに基づいて理解が不十分な点を特定し、それを克服するための最適な教材を提供する戦略を行う。インターフェイスは、ドメインモデル、学生モデル、指導モデルを統合し、システムとユーザー間のインタラクション機能を提供する。

4つのアーキテクチャに含まれる要素にはどのようなものがあるかについて、Colby（2017）は、過去に開発されたITSをレビューするとともに、そのうち10のITSを取り上げ、4つの指標から特徴を述べている。Colby（2017）の研究から、4つの指標に関して、具体的な要素を抽出し、以下の一覧表（表1）のように整理した。

表 1 ITSの4アーキテクチャに含まれる要素（Colby2017より抽出して津下作成）

ドメインモデル	科学、技術、数学、エンジニアリング、その他、ドメイン非依存
指導モデル	【戦略】構成主義、コーチング、自然言語対話、教育ゲーム、マルチメディア、非構成主義 【戦術】フィードバック（フラグ、ステップ・アンサーベース、メタ認知行動）、ヒント配列（ポインタ・ティーチング・ボトムアウトヒント）、足場作り、フェードアウト、ワークアウト、自然言語対話、適応性、間をあけた練習、反ゲーム戦術
学生モデル	モデルトレーニング（MTT）（エキスパート（プランニング、オペレータ）、バギー等） 制約ベース（CBT）、例題トレーニング（ETT）、努力重視モデル（要求ヒント数、試行回数、時間） 収集データ 【細粒度データ】（タイムスタンプ、キーストローク、マウスクリック） 【粗粒度データ】（最終的な解答、継続的な影響、ユーザーの好み） 【静的変数】（学習分野、学習シナリオ、目標コンセプト、嗜好等）、 【動変数】（マスタリー値、タイムスタンプ、ヒントレベル、待ち時間、韻律等） エンゲージメント（ゲーム化行動等） 感情【測定方法】顔認識、感圧マウス、姿勢適応型チェア、自己報告測定等、 【感情の例】退屈、フラストレーション、混乱、集中、それ以外
インターフェイス	(a) ウェブベースかデスクトップベース、(b) タイプ入力か音声入力か、 (c) 教育エージェントを含むかどうか、(d) ゲームベースかどうか、 (e) ユーザーエクスペリエンス

この一覧表の要素のそれぞれについて本稿で取り上げる余裕はないため、各要素の詳細については割愛するが、例えば指導モデルを見ると、構成主義やメタ認知や足場作りといった心理学的研究の知見がITSの開発や特徴に含まれていることが分かる。また、学生モデルを規定するための戦略として、制約ベースや例題トレーニングといった工学的な手法が取り入れられており、収集データについても様々な粒度のデータや変数が収集されていることが分かる。なお、ITSのインターフェイスについて、2010年代頃までは、デスクトップベースが主流であったが、近年ではウェブベースも多くみられるようになった。

以上、CAIからITSへの進化とITSの概要を述べてきたが、知的CAIには「知的」の文言が、ITSには「Intelligent」とあるように、その開発には、当時の人工知能技術が活用されていた。上に整理したような戦略や戦術は、現在のデジタルドリルの開発にも生かされていると推察され、また、収集されるデータについても、当時と同じようなデータが収集されていると推察される。以上のことより、現在学校現場で用いられている、適応学習の機能をもつデジタルドリルの枠組みは、1980年頃には形作られていたことが分かる。

(3) 適応学習教材の変遷

学習の個別化を図ることを目的に、デジタルドリルはCAIからITSへと進化してきたが、その後、インターネットの登場や、人工知能技術の進化、コンピュータの高性能化を伴い現在に至る。この一連の歴史的変遷について、Liほか（2021）は、6つの段階を経て現在に至ったと述べている。以下（表2）にその変遷を示す。

表2 適応学習教材の歴史的変遷 (Liほか2021を元に津下作成)

年代	略称	モデル	AIタイプ	指導型	背景理論	指導理論
1920s-1960s	PI	Program Instruction	No	直線型	行動主義	教授主義
1970s	CAI	Computer Aided Instruction	No	直線型	行動主義	教授主義
1980s	ITS	Intelligent Teaching System	AI	多次元表現PC知覚	行動主義	教授主義
1990-1996	Agent	Intelligent Agent Teaching System	AI+ Mass data	知覚+低レベル認知	認知主義	学習者中心へ転換
1997-2011	AEHS	Intelligent Hypermedia Teaching System	AI + Mass/Big data	知覚+低レベル認知	認知主義	学習者中心主義
2011-2021	AILS	Adaptive Intelligent Learning System	AI + Big data	知覚+高レベル認知	認知主義	学習者中心主義

このうち、PI（プログラム学習）、CAI、ITSについては、これまで述べてきた。Agentは、例えばVRといった技術を含むエージェントによって知識を教えるもの、AEHSは、e-learningのように、動画や静止画コンテンツを含むメディアを含むもの、そしてAILSは、Adaptiveとあるように、AI技術を生かして適応学習を実現するためのシステムであるとされている。なお、背景理論については、PIからITSまでが行動主義・教授主義、AgentからAILSまでが認知主義・学習者中心主義、と、表の上では分かれるように整理されているが、現在の適応学習のためのデジタルドリルの特徴をこの表に对照してみると、必ずしも両者にはっきりと分かれるわけではなく、認知主義・学習者中心主義の理論は取り入れられているものの、行動主義・教授主義の理論も含まれているものも多いと考えられる。

AIは、第1次～第3次の大きく3つのブームを経て現代に至ったと言われているが（総務省 2015）、上の表からも分かるように、デジタルドリルはそれぞれの時代のAI技術を取り入れられながら、現在に至っている。しかし、その技術の具体的な要素として、3の（2）の学生モデルで示したような技術が用いられていることをもってAIドリルとするならば、西岡ほか（2017）が指摘するよう、AIが万能であるというイメージは避けるべきであり、あくまで適応学習の効果をある程度高めるツールであるとの認識のもと、デジタルドリルを利用していくことが妥当であろう。

4. 適応学習に関連する理論の整理

3では、適応学習の教材としてのデジタルドリルの開発・進化の歴史的変遷から、適応学習の実現可能性について論じた。ここでは、本稿で検討の対象としている適応学習そのものの考え方について、これまでの知見の整理を試みる。

（1）適応学習と適応学習教材

Liほか（2021）のまとめのAILSにもあるように、Adaptive Learning（適応学習）の概念は、システムとあわせて論じられることが多い。我が国では、研究の中で適応学習の概念について説明しているものがいくつか見られるが（後藤 2014、石井 2015、小柳 2019、椎野ほか 2020）、学習データを解析し、つまづきや理解不足を特定し、内容やレベルを調整することで、教材や難易度を適応的に調整して提供する技術のことを適応学習としている点は、概ね

共通している。

一方、国外の研究の中には、適応学習について、教材や難易度を適応的に調整するという技術的側面以外の視点を含んで説明しているものもある。表3は、我が国で論じられている適応学習の概念に加えて、Liほか（2021）の論考を参考に、適応学習についての説明を、観点別に整理したものである。なお、1～5までは、観点を整理するために便宜的に付けた番号である。

表3 適応学習の概念の整理

観点	適応学習の説明
1. 技術	適応学習とは、学習データを解析し、つまづきや理解不足を特定し、内容やレベルを調整することで、教材や難易度を適応的に調整して提供する技術（後藤 2014、石井 2015、小柳 2019、椎野ほか2020）
2. 指導（教師）	適応学習とは、教師が適応学習システムを教材として用いて、データの収集・分析、授業の準備、学習状況の把握、評価、学習者の学習ニーズの変化に合わせて教育内容を適時調整すること（趙ほか 2015）
3. 学習（学習者）	適応学習とは、適応学習システムを通じて自分に適した学習内容、方法、道筋を得ること（王ほか 2014）
4. 学習支援	適応学習とは、学生の知識レベルと知識に基づく知的チューターシステムと適応学習システムを組み合わせることで知識システムをモデル化し、知識構築経路を学生に推奨すること（Chandrasekaranほか 1992）
5. 学習法	適応学習とは、教授・学習理論に導かれた自律的、知的、技術主導の個別学習法（Liほか 2021）

これによると、適応学習の概念は、技術としての観点のみならず、指導、学習、学習支援、学習法、と、様々な観点からその概念が論じられていることが分かる。一方、この表において、2～4においては「適応学習システム」という言葉が用いられている。この適応学習システムという言葉について、Liほか（2021）は、適応学習の概念を統合したオンライン学習環境や学習支援・サービスシステムと説明しているが、ここで取り上げられているシステムの特徴は、1のような技術的特徴をもつシステムのことでありと考えられる。したがって、適応学習教材とは、1のような技術的特徴をもつ教材であると定義することができよう。

（2）適応指導

Adaptive Learningに類似の概念として、Adaptive Instruction（適応指導）がある。適応指導については、Liほか（2021）のように、適応学習システムの観点を軸に捉えている研究（Alevenほか 2017）と、適応学習システムの観点を含みつつもこれまでの教育学研究における適応指導の理論をふまえて整理している研究（Okchoonほか 2004）が見られる。

Alvenほか（2017）は、指導の個別化のためにテクノロジーが有効であることを指摘し、適応学習技術を用いた指導についての過去

の研究を、5行×3列のグリッドに整理している。グリッドにおいて、行は学習者の適性、つまり、何に適応させるか、を表しており、予備知識と知識成長、問題を解く生徒の道筋：戦略・エラー、感情・モチベーション、自己調整学習戦略・メタ認知・努力、学習スタイル、の5つの視点を示している。また、列は、適応の異なる時間スケールを表しており、デザイン・ループ、タスク・ループ、ステップ・ループの3つの視点を示している。デザイン・ループは、コース設計者がコース設計の前に行うデータ駆動型の決定を指す。タスク・ループは、システムが学習者のための指導タスクを選択するために行うデータ駆動型の決定を指す。ステップ・ループは、生徒が指導課題の中で行う個々の行動に応じてシステムが行うデータ駆動型の決定を指す。このように、Alvenほか (2017) の研究は、適応学習システムの観点から適応指導の分類と整理を試みており、示された学習者の5つの適性の観点や、システムの適応性をとらえる3つの段階は、適応学習教材の特徴を捉える参考となる。

他方、Ok-choonほか (2004) は、個々に異なる生徒のニーズに対応するための指導アプローチや技法は適応指導 (アダプティブ・インストラクション) と呼ばれている (Crono・Snow 1986) ことを紹介した上で、より具体的には、適応指導は、生徒の個人差に効果的に対応しながら、各生徒が課題を学習するために必要な知識や技術を身に付けることを目的とした教育的介入のことである、としている。また、適応指導について、その段階や視点の違いから3つのレベルに分けて、過去の研究の知見を整理している。

1つ目は、マクロレベルで指導を適応させるレベルである。このアプローチは、指導目標、カリキュラム、内容の深さなど指導の主要な構成要素のいくつかについて、様々な選択肢を許可することにより、指導を適応させるものである。具体的なアプローチとして、Keller (1974) の個別化教授法、完全習得学習といった教授法の知見に加えて、コンピュータを利用して学習効果を分析し、教育に役立てるシステムであるCMI (Computer Managed Instruction) なども包含している。2つ目は、特定の指導手順と戦略を特定の生徒の特性に適応させるレベルである。このアプローチは、Cronbach (1977) の適正処遇交互作用 (ATI, Aptitude Treatment Interaction) の理論として我が国でも知られており、指導に最も関連のある学習者の特性 (または適性) を特定し、適性を持つ生徒の学習プロセスを最も促進する指導戦略を選択する (Ok-choonほか 2004) ことで、適応指導を図るものである。3つ目は、ミクロレベルで指導を適応させるレベルである。指導中に生徒の特定の学習ニーズを診断し、そのニーズに合わせた指導処方を提供するアプローチで、Skinner (1954) のプログラム学習や、ITS, Adaptive Hypermedia, Adaptive Web-Based InstructionといったCAIの文脈のシステムが紹介されている。これらの知見を踏まえて、適応指導のレベルを図1のように整理した。

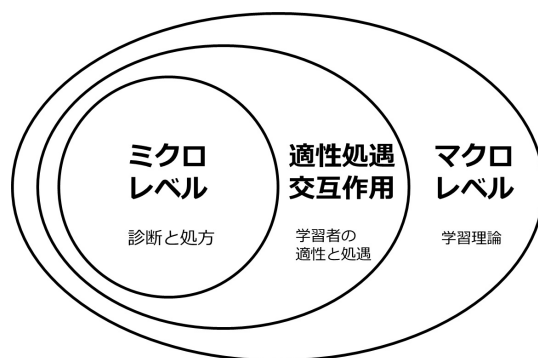


図1 適応指導の3レベル (Ok-choonほか2004より津下作成)

以上、Alevenほか (2016) とOk-choonほか (2004) の2つの研究から、適応指導の概念について検討したが、共通している点は、両者とも、広い視点から狭い視点へと、適応指導のレベルを分けている点である。また、例えば、Alvenほか (2016) のステップ・ループと、Ok-choonほか (2004) のミクロレベルの視点は、指導中の個々の行動に応じてシステムがニーズを診断し、指導を決定するという点で共通している。このように、レベルを分けて検討することは、適応指導を具体化する上で必要な視点である。

(3) 適応学習・指導とデジタルドリルの位置づけ

適応学習と適応指導という2つの類似の概念について、先行研究の概念を元にそれぞれ整理してきた。ここでは、適応学習と適応指導の関連をふまえた上で、適応学習教材としてのデジタルドリルの位置づけについて検討したい。

個々の生徒のニーズに適応した指導に関する研究は、多くの研究者が試みており、個別指導による適応指導は、1800年代半ばまでは一般的な方法であった (Reiser 1987)。学年制が導入された後も個々のニーズに合わせた指導の重要性は強調され続け、マクロレベルの適応や適正処遇レベルでの適応に関する理論及び知見 (完全習得学習や適正処遇交互作用など) が生み出されてきた。このような中、適応指導の実現をコンピュータ側からのアプローチによって実現する取り組みが適応学習であると言える。具体的には、CAIでありITSであり、適応指導の実現が期待され、開発され、進化してきた先に、適応学習教材としてのデジタルドリルは位置付けている。

5. 適応学習教材による適応学習の実現

(1) CAI及びITSによる適応学習の実現

1958年にIBMによって最初のCAIが開発されて以来、CAI及びITSによる学習効果について、多くの研究的知見が集積されてきた。例えば、VanLehn (2011) は、人間による個別指導と、ITSによる指導の個別指導の効果についてレビューを行い、ITSによる個別指導 (効果量 $d=0.76$) は、人間による個別指導 (効果量 $d=0.79$) とほぼ同等の効果が得られたことを報告している。また、Maほか (2014) は、教師が指導する大人数のグループ指導や生徒が教科書を使った個別に学習する場合と比較して、ITSの方が生徒の学習効果が高いことを示している。このように、ITSによる有効性を示す報告がある一方で、ITSによる指導を少人数のグループ指導や個人

指導と比較した場合には、生徒の成績が向上しなかったことを報告している。さらに、Steenbergen-Huほか（2013）は、幼稚園児からK-12までの生徒を対象とした数学学習に対するITSを対象とした研究の有効性についてメタ分析を行い、ITSの有効性は、成績の低い生徒よりも一般的な生徒のほうが高かったことを明らかにしている。

わが国においては、CAIが導入された初期の頃では、木村ほか（1978）が学校教育の正規の授業にCAIシステムを組み込んで利用し、中学校1年生の正負の数において、短期では平均90%以上の目標達成度が得られたことを報告している。一方で、長期の保持に関しては、CAIによる学習だけでは保持が難しいこと、また、学習速度や思考の過程結果、及び上位群・中位群・下位群による学力・情報処理能力の格差といった個人差を生むことを指摘し、教授法の議論が必要であると述べている。

その後、英語のCAI教育の開発や効果の検証（高橋ほか 1990, 片桐 2006）、数学教育へのCAIの利用（河村 1989）、高等学校家庭科教育におけるCAI導入と評価（李ほか 1990）、大学の専門科目への利用（物理教育：清水 1982, 統計学：宮地 1992, 材料力学：大森ほか1998, 看護：河村ほか 1995）といったように、幅広い校種領域で、CAIの開発及び評価の研究が行われてきた。有効性については、概ね効果があったと報告する研究が多い反面、学習者の個人差という視点で個々の変容に着目すると、十分効果が得られないケースも報告されている。

（2）適応学習教材としてのデジタルドリルによる適応学習の実現

現在わが国の学校教育で用いられているデジタルドリルは、大きく2つに大別される。1つは、4で述べた、学習データを解析し、つまづきや理解不足を特定し、内容やレベルを調整することで、教材や難易度を適応的に調整して提供する技術をもつ適応学習教材としてのデジタルドリルであり、もう1つは、データの解析や理解不足の特定、難易度の調整を行う技術をもたないデジタルドリルである。このうち、学校教育における適応学習教材の活用についての国内の研究動向（津下ほか 2022）をみると、その研究目的としては、大きく分けて、学習効果を明らかにするもの、利用実績を明らかにするもの、その他に大別された。このうち学習効果については、高校数学を対象とした研究（山崎ほか 2020）、数学と英語の成績への影響に関する研究（平田ほか 2021）、大学生へのキャリア教育への効果（内海 2019）などにおいて、学習効果が上がったことが報告されている。一方で、稲垣ほか（2016）は、アダプティブ教材を用いた課外や家庭学習において、下位層の児童の学習効果や学習意欲が十分喚起されなかったという課題や、適応学習教材を用いた復習の誤答分析により、学力低位層において復習の効果が上がらなかったといった課題（津下 2022）も指摘されている。

（3）適応学習教材による適応学習は実現し得るのか

以上、適応学習教材による適応学習の実現について、CAI及びITSの観点と、近年の適応学習教材としてのデジタルドリルの観点から、先行研究の知見をまとめた。適応学習教材による適応学習実現の可能性については、教科・領域によっても異なるが、その有効性を示す研究も数多く報告されている一方で、特定の学習者、とり

わけ低位の学習者の中には、十分な有効性が認められなかったケースも報告されている。したがって、十分な有効性が認められなかったケースへの対応について、学校現場での対応を考えると、デジタルドリルのみに頼るのではなく、教師による個別の教授や学習支援を適切に行っていくことの必要性が指摘できる。

6. まとめと課題

3では、現在の使われているデジタルドリルはプログラム学習を理論的背景にもつCAI及びITSの研究の系譜に位置づけられ、開発当初より学習の個別化の実現を意図して進化発展してきたことを述べた。4では、適応学習の概念を技術、指導、学習といった視点から整理した上で、適応指導をコンピュータ側からのアプローチによって実現する取り組みが適応学習であることを述べた。5では、国内外の適応学習教材による適応学習実現に関する研究について、CAI及びITSに関するものと、適応学習教材としてのデジタルドリルに関するものについて、その成果と課題について述べた。

適応学習教材は、対象となる領域について、教育学の知見を踏まえた戦略を取り入れながら、様々が学生データをもとに数理モデルに従って、インターフェイスを通して適応学習の実現を図っている。その発展の過程において、それぞれの時代におけるAI技術を適切に取り入れながら適応学習の実現を図ることによって、その学習効果を高めてきたと言えるだろう。一方で、5の（2）で述べたように、今なお適応学習が十分実現されないケースも報告されている。特に、わが国においては、デジタルドリルを用いた適応学習に関する知見の集積は十分であるとは言えない現状がある。さらなる研究的知見の集積が求められるが、その際、本稿で述べたような視点を意識しながら、目指すべき適応学習の姿を明確にした上で、研究的知見を集積していく必要がある。

引用参考文献

- Chandrasekaran, B., Johnson, T. R., & Smith, J. W. (1992). Task-structure analysis for knowledge modeling. *Communications of the ACM*, 35 (9), 124-137.
- Colby, Brice Robert. (2017). *A Comparative Literature Review of Intelligent Tutoring Systems from 1990-2015*. BYU ScholarsArchive.
- Cronbach, L. J., & Snow, R. E. (1977). *Aptitudes and instructional methods: A handbook for research on interactions*.
- Crono, L., & Snow, R. E. (1986). Adapting teaching to individual differences among learners. In M.C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching*.
- J.R. Carbonell. (1970). "AI in CAI": An Artificial Intelligence Approach to Computer-Assisted Instruction. *IEEE Trans. Man-Machine Systems*, 11 (4), 190-202.
- Keller, F. S. (1974). *Ten Years of Personalized Instruction*. *Teaching of Psychology*, 1 (1), 4-9.
- Li, F., He, Y., & Xue, Q. (2021). Progress, Challenges and Countermeasures of Adaptive Learning: A Systematic Review. *Educational Technology & Society*, 24 (3), 238-255.
- Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent

- tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 106 (4), 901-918.
- Ok-choon, P., & Jung, L. (2004). Adaptive Instructional Systems. In J. David & D. Marcy (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (2nd ed., pp. 651-684). Routledge.
- Robert A. Reiser. (1987). Instructional Technology A History. In Robert M. Gagne (Ed.), *Instructional Technology* (1st Edition). Instructional Technology.
- Skinner, B. F. (1954). The science of learning and the art of teaching. *Harvard Educational Review*, 24, 86-97.
- Steenbergen-Hu, S., & Cooper, H. (2013). A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on K-12 students' mathematical learning. *Journal of Educational Psychology*, 105 (4), 970-987.
- Vanlehn, K. (2011). The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems. *Educational Psychologist*, 46 (4), 197-221.
- Vincent, Alevan., Elizabeth, A. M., R. Amos, G., & Kenneth R., K. (2017). INSTRUCTION BASED ON ADAPTIVE LEARNING TECHNOLOGIES. R. E. Mayer & P. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (2nd ed., pp. 522-560). Routledge.
- Wang, C., & Wang, D. (2014). A Study on learners' learning styles of college English in adaptive learning systems environment. *China Educational Technology*, 7, 145-149.
- Wenger E. (1987). Artificial intelligence and tutoring systems: Computational and cognitive approaches to the communication of knowledge. Morgan Kaufmann Publishing.
- Yoshida, H. (1979). EFFECT OF INDIVIDUALIZATION IN PRACTICE ON DRILL LEARNING. *The Japanese Journal of Educational Psychology*, 27 (3), 206-214.
- Zhao, X. K., Xu, X. D., & Long, S. R. (2015). An empirical study of personalized recommendation by adaptive learning system in the environment of B/S model. *Distance Education in China*, 10, 71-80.
- 石井嘉明, 藤田豊, 浅田義和. (2015). アダプティブラーニングにおける状態遷移設計支援機能の開発. *日本教育工学会第31回全国大会講演集*, 371-372.
- 稲垣忠, 大森裕二, 志野奈美子, 阿波弘真, 村上壮, 菊地尚樹. (2019). 学校および家庭における適応学習の実践と評価. *日本教育工学会論文誌*, 42 (4), 345-354.
- 内海太祐. (2019). 適応学習を用いたSPI非言語分野学習の効果. *湘北紀要*, 40, 1-11.
- 大森誠一, 小林道明. (1998). 材料力学演習CAIとニューロコンピュータによる演習効果の推定. *日本機械学会論文集 A 編*, 64 (623), 1875-1883.
- 大概説乎. (1992). 知的CAIの技術課題と今後の動向. 計測と制御, 31 (12), 1224-1229.
- 岡直樹, 松山美香. (2007). ドリル学習における評価が計算力や自己効力感に及ぼす影響. *学校教育実践学研究*, 13, 153-157.
- 小柳和喜雄. (2019). 個別最適化学習システムを用いた取組の評価に関する萌芽的研究. *次世代教員養成センター研究紀要*, 5, 101-110.
- 片桐一彦. (2006). 正規授業科目としての英語CAIの教育効果の検証: TOEIC IPで何点伸びるか. *関東甲信越英語教育学会研究紀要*, 20, 89-100.
- 木村捨雄. (1976). 教育システムにおけるコンピュータの利用とその問題点. 計測と制御, 15 (9), 744-752.
- 木村捨雄, 主原正夫, 山本正明, 野嶋栄一郎. (1978). 学校教育の正規の授業に組込んだCAIシステムの利用: 個別差とCAIコースの設計評価. *日本科学教育学会年會論文集*, 2, 163-164.
- 河村勝久. (1989). CAIによる数学教育研究の一例. *数学教育学会誌*, 30 (3-4), 5-18.
- 河村徹郎, 高羽実, 宮田久枝, 明石知子. (1995). CAIを使った看護教育情報システムの評価. *放射線医学物理*, 15 (4), 298-304.
- 後藤正樹. (2014). Adaptive Learning とは何か - その解釈と事例研究 -. *日本デジタル教科書学会年次大会発表原稿集*, 3, 47-48.
- 椎野徹也, 島田敬士, 峰松翼, 谷口倫一郎. (2020). 学習活動データに基づく個人適応型復習教材推薦システムの開発. *情報処理学会研究報告*, 32 (4).
- 清水清. (1982). 物理教育におけるCAI利用. *応用物理*, 51 (6), 701-702.
- 神野元基. (2017). エドテック: 4. 学校教育におけるAI型教材導入のすすめ - 知識習得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*, 58 (3), 186-187.
- 鈴田留美子, 岡直樹, 辻塚隆. (2003). ドリル学習が加法・減法の筆算の習得に及ぼす効果. *福岡教育大学紀要. 第4分冊, 教職科編 = Bulletin of University of Teacher Education Fukuoka. Pt 4, Education and Psychology*, 52, 165-170.
- 総務省. (2016). 平成28年版 情報通信白書.
- 高橋秀夫, 大西知佳子, 椎名紀久子, 小川隆一, 竹蓋幸生. (1992). ヒアリング指導の効果を高めるCAIシステムの開発. *Language Laboratory*, 29, 133-145.
- 津下哲也, 中川一史. (2022). 学校教育におけるAI型ドリル教材の活用に関する国内の研究動向の整理. *日本STEM教育学会第5回年次大会予稿*, 40-43.
- 津下哲也. (2022). AI型ドリル教材を用いた小学校算数科「分数のたし算とひき算」の復習における正答率の変化とタイプ別誤答分析. *放送大学大学院 情報学プログラム修士論文*
- 西岡加名恵, 石井英真, 久富望, 肖瑤. (2022). 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 - *京都大学大学院教育学研究科紀要*, 68, 261-285.
- 平田郁美, 松本拓. (2021). AI活用数学自習教材Qubenaを使っ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集 = Kyoai Gakuen University Journal*, 21, 133-148.
- 溝口文雄. (1974). CAIシステムの構成方法と教授最適化. *人間工学*, 10 (6), 216-218.
- 溝口理一郎. (1989). 知的CAIシステム. *大阪大学大型計算機セン*

ターニュース, 73, 33-44.

宮地功. (1992). F231 ワープロによって教材が作成できるドリル型CAIによる学習効果: BASIC入門用教材について. 日本科学教育学会年会論文集, 16, 281-282.

文部科学省, 内田洋行. (2021). 学校における先端技術活用 ガイドブック (第1版) - 「新時代の学びにおける先端技術導入実証研究事業」の成果を踏まえて - 学校における先端技術活用 学校における先端技術活用 ガイドブック ガイドブック (第1版).

山崎光, 山崎育子, 山崎秀夫. (2020). 高校数学におけるeラーニング教材使用授業の効果検証. 日本科学教育学会年会論文集, 44, 519-520.

李秀芳, 吉原崇恵, 福島久美子, 青井且江. (1990). 高等学校家庭科教育における CAI 導入とその評価. 日本家庭科教育学会誌, 33 (2), 21-27.