

適応型デジタルドリルによる計算技能熟達化支援に関する知見の整理

A Theoretical Arrangement for Supporting Proficiency in Mathematical Arithmetic Skills with Adaptive Digital Drill Practice Materials

津下哲也* 小林祐紀*² 佐藤幸江*³ 中川一史*³
Tetsuya TSUGE* Yuki KOBAYASHI*² Yukie SATO*³ Hitoshi NAKAGAWA*³

<抄録>【Web上で公開します】

本稿では、適応型デジタルドリルについて、国内の算数教育の知見の整理を出発点として、計算技能熟達化に関して認知心理学的知見を整理することで支援の方向性を検討した。デジタルドリルを用いた適応学習の実現には、教師による誤りへの教授介入や学習の自己調整支援が必要であることを論じた。

<キーワード>【Web上で公開します】

算数、計算技能、AIドリル、デジタルドリル、認知科学、適応学習

1. はじめに

適応学習は国内外の学校教育における主要な研究テーマの一つである。適応学習には一般的な統一見解はないとされるが、本研究では「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である」の定義を採用する(Li2021)。適応学習の概念を統合したオンライン学習支援環境や学習支援システムを適応学習システムとよばれ、「CAI(Computer Assisted Instruction)」「ITS(Intelligent Tutoring system)」などに分類される。国内外の代表的なITSには、教材のみで新たな知識を学ぶことが想定されているCognitive Tutor*¹や、学んだ知識の習熟に重点がおかれているASSISTments*²などがある。日本のいわゆるAI教材やAIドリル(デジタルドリル)はASSISTmentsに近く、難易度の可変、系統性を考慮した遡行などにより、知識への補習的に作用を特徴とする。そこで、本研究ではこのような特徴をもつ教材を「適応型デジタルドリル」と定義する。先行研究を概観すると、多くの研究的知見が蓄積されている一方、国内では適応型デジタルドリルに関する査読付き学術論文は3件のみである。また、学習者の認知やシステムの開発に関する知見、学習効果に関する知見は報告されているが、適応学習の実現に向けた活用支援の具体やシステムの提供に適した文脈に関する研究知見は少ない(Xieら2019)。

2. 研究の目的と方法

そこで本研究では、適応型デジタルドリルによる学習支援の前提として、算数教育の計算技能熟達化支援に関する知見の整理を目的とする。まず、国内の算数教育を対象として「つまずき」に関する学習支援の知見を収集・分類する。次に、それらの知見を補完する理論や知見を調べて整理し、今後の研究の方向性について検討する。

3. 国内の算数教育の知見の概観

国内の学術学会誌に登録された査読論文に対し、J-stageを用いて「算数」「つまずき」「教師」をキーワードで検索された論文の中から関連性の低いものを除外した後、「数学教育学研究」「教育心理学研究」などの論文誌

に掲載された算数教育における学習支援に言及した論文を抽出すると、112件の論文が抽出された。それらの論文は「つまずきの理論」「学び方」「教え方」「教材」「内容」といった項目に整理され、つまずきの理論、メタ認知や動機づけ、学習方略、自己調整といった学習者の理解に関する心理学的視点からの研究がみられた。そこで、本研究に関連する認知心理学的知見の整理を試みた。

4. 「誤りerror」の背景に関する認知心理学的視点

(1) 「つまずき」と「誤りerror」

中村2014は、国内の4つの先行研究から算数学習における「つまずき」を「学習活動」「学習内容」「その他」の3つの観点で整理している。「つまずき」は、理解や記憶に関する「学習内容」のつまずきに加え、コンパスや定規がうまく使えないといった道具操作など「学習活動」に関するつまずきも含まれる。本研究ではこれらを分け、「学習内容」のつまずきを中心とする「誤りerror」を研究の柱とする。

(2) 「誤りerror」と介入

算数教育の文脈では、「誤りerror」はバグやスリップ、ミスコンセプション、といった概念として研究が行われてきた。吉田1991は、誤りを大きく3つに分類し、計算技能に関する内容ごとに特徴的な誤り方略がみられることを指摘している。学習を刺激に対する報酬による反応の強化と考える行動主義に対し、認知主義では環境による同化と調節により学習が進むとされる。つまり、ある学習は子どもがすでに持つ知識を前提に行われるため、学習支援は、問題の繰り返し練習だけでは不十分であり、何らかの介入による解消が必要とされる。

(3) 知識の三分類と情報処理

情報処理アプローチでは、人間の思考の過程をコンピュータに例えてモデル化する。記憶の情報処理モデルや、ワーキングメモリーモデル、ACT-R理論などがある。知識は一般に、事実や内容についての知識である宣言的知識、ルールの形をとる手続き的知識、それらをいつ使うか

という経験的知識に分類され、一連の知識や手続きまともりはスキーマやスクリプト、概念的知識とも呼ばれる。また、人の記憶容量はチャンクと呼ばれるまともり(一般に7±2とされる)で捉えられる。スキーマやスクリプトによるチャンク化が進むことで、少ない認知的負荷で情報を処理できるようになる。

(4) 計算技能の熟達化

人の長期にわたる学習では、ある領域における多くの経験を通じてその領域の知識の集積と構造化、利用可能性の増大ないし技能の習熟がおこる。この過程は熟達化と呼ばれ(波多野1989)、定型的熟達化と適応的熟達化に分けられる。定型的熟達は反復練習により形成されるが、適応的熟達は適切なレベルで問題を抽象化して知識を蓄えることが必要(三宮2009)であり、思慮深い練習が重要な役割を果たす。これらをふまえると、適切なレベルの練習を思慮深く繰り返すことで手続きのチャンク化が進み、計算技能の熟達が進むと考えられる。

(5) メタ認知、動機付け、自己調整学習

Schoenfeld1985は、認知源(情報や知識)、発見法(経験則や問題解決方略)、コントロール(情報の取捨選択、メタ認知等の学習方略)、ブリーフシステム(数学観や信念)の4つのカテゴリーが数学的問題解決を規定するとしている。メタ認知は、いわゆる認知に関する認知のことを指し、動機づけと関連がある。動機づけには、有能感や統制感といった下位概念があり、中でも、自己決定性は動機づけのみならず適応にも影響する(三宮2019)*3。また、学習における行為主体性には、自分の行為に結果が随伴するという認知が必要とされ、学習者が自らの学習を調整しながら能動的に学習目標の達成に向かう自己調整学習と関係する(三宮2019)*3。学力の高い学習者ほど自己調整力は高いことが分かっており、学習の自己調整を促すことは学力の向上を含めた計算技能の熟達化に寄与すると考えられる。

5. 適応型デジタルドリルによる熟達化支援

ここまでの整理により、計算技能の熟達化には、問題の繰り返しに加えた誤り解消のへ介入、適切なレベルの練習を思慮深く繰り返すことによる手続きのチャンク化、学習の自己調整が必要であるといった知見が得られた。このような熟達化の過程に対し、ITSなどの適応学習システムは、国外においては認知心理学知見を踏まえて研究開発が

進んできた。その結果、いくつかのITSを対象とした学習効果に関するメタ分析からも報告されるように、ITSによる学習成果について肯定的に評価する成果が報告されている(例えばMa。一方で、適応学習システムを用いた学習において、例えば同じスキルを練習しても正解に至ることができないホイールスピニング現象(Beckら2013)が生じるといった課題も指摘されている。これらを踏まえると、適応型デジタルドリルによる学習効果をより高めるためには、ドリルによる支援に加えて、例えば教師による誤りへの教授介入や学習の自己調整支援が必要であると考えられる。

*1 Cognitive Tutorは、米国カーネギーメロン大学の認知科学者John Anderson教授が、認知科学の分野における人間の問題解決モデルを理論的な基盤として開発したITS。 https://www.ai-gakkai.or.jp/resource/my-bookmark/my-bookmark_vol133-no4/ 2024年3月1日取得

*2 ASSISTments <https://new.assistments.org/> 2024年3月1日取得

*3 紙面の都合上、メタ認知に関する学術書の編集代表者である三宮2008を参考文献の出典として記載した。

参考文献

- Beck, J.E., Gong, Y. Wheel-Spinning: Students Who Fail to Master a Skill. International Conference on Artificial Intelligence in Education AIED 2013: 431-440 2013
- Fengying Li et al. Progress, Challenges and Countermeasures of Adaptive Learning: A Systematic Review Educational Technology & Society 2021 Vol. 24, No. 3 pp. 238-255
- Haoran Xie et al. Trends and development in technology-enhanced adaptive/personalized learning: A systematic review of journal publications from 2007 to 2017: Computers & Education 140, October 2019
- Park, S. Discovering Unproductive Learning Patterns of Wheel-spinning Students in Intelligent Tutors Using Cluster Analysis. TechTrends 2023 67, 489-497
- Schoenfeld A. H. Mathematical Problem Solving. New York: Academic Press, 1985
- Wenting Ma et al. Intelligent Tutoring Systems and Learning Outcomes: A Meta-Analysis: Journal of Educational Psychology 2014, Vol. 106, No. 4, 901-918
- 三宮 真智子 編 メタ認知：学習力を支える高次認知機能 北大路書房 2008
- 波多野 誼余夫 et al. 熟達化研究は教育に何を示唆するか 教育心理学年報, 29 巻, p. 24-28, 1990
- 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

*姫路大学 (〒671-0101 兵庫県姫路市大塩町2042-2) (e-mail:t28jr2@gmail.com)

*2茨城大学 (〒310-8512 茨城県水戸市文京2-1-1)

*3放送大学 (〒261-8586 千葉県千葉市美浜区若葉2-11)

* Himeji University, (2042-2 Oshio-cho Himeji-city Hyogo, 671-0101, Japan)

*2 Ibaraki University, (2-1-1 Bunkyo Mito-city Ibaraki, 310-8512, Japan)

*3 The Open University of Japa, (2-11 Wakaba Mihama-ku Chiba-city Chiba, 261-8586, Japan)
