

# 構成主義的な授業を受けた学習者は何を長期保持するか？ What Can Constructivist Lessons Leave Behind in the Long-Term?

白水 始<sup>†</sup> 益川 弘如<sup>‡</sup> 齊藤 萌木<sup>§</sup>

Hajime Shirouzu, Hiroyuki Masukawa, Moegi Saito

<sup>†</sup> 国立教育政策研究所, <sup>‡</sup> 聖心女子大学, <sup>§</sup> 共立女子大学

National Institute for Educational Policy Research, University of the Sacred Heart, Kyoritsu Women's University  
shirouzu@nier.go.jp

## 概要

本 OS は、認知科学を基盤とした構成主義的で革新的な教育方法（プログラミング教育、仮説実験授業、知識構成型ジグソー法）の実践を基に、成果とその検証方法に関する知見を深める。具体的には、小中学校において学習者が自ら知識を構成する学びに従事した成果を数年・数十年後に追跡調査することで、長期間経過後の学習成果の保持・活用実態を明らかにする。

キーワード：構成主義、仮説実験授業、知識構成型ジグソー法、長期保持、回顧調査

## 1. 構成主義的な授業の保持：本 OS の趣旨

本来、教育の成果は教室で与えられた問題に答えを出せることや定期テスト、受験等に使えることを超えて、次の学校段階に進んだ後や社会に出たときでも学んだことを思い出し、その場の問題解決や学習に役立てられ、不足があれば自ら課題を見出し発展させられるかで評価すべきである。しかし、こうした研究には実時間が掛かるため、長期間（ロングターム）の学習成果は、その基礎資料すら十分に集まっていない。

本研究ではその出発点として、小学校でプログラミング言語「LOGO」を用いた理数教育を受けた 91 名の約 40 年後、「仮説実験授業」で理科を学んだ 6 名の 10 年後、小中学校において「知識構成型ジグソー法」授業で各種教科を学んだ 26 名の 5 年後に、授業内容と学び方の記憶、その後の活用や進路について、アンケートやインタビューを用いて回顧調査した結果を報告する。

### 1.1. 認知科学・学習科学の介入実践から

本稿では、構成主義的な授業を学習者自らが知識を構成する学びと定義する。それは教師の講義や学習リソース（読み物など）を完全に排除した発見学習だけではなく、多様な形態で実現され得る[1]。ただし、授業で扱われる学習課題やテーマに対する解を教師ではなく学習者が創り出すことをねらうという共通点がある。それゆえ、そこでの学習は学習者一人ひとりに納得感をもたらす反面、規範との不整合感や他者との不一致感、次の疑問が見えることによる不足感など「不完全感」[2]を残すものともなる。これは、記憶研究におけ

る「望ましい困難さ（desirable difficulty）」[3]——短期的に記憶効率を上げる記憶方法（集中学習、ブロック学習、即時フィードバック）に対して、その場では困難に感じられる方法（正誤のフィードバックのない分散型の非ブロック学習）が数週間から数か月後の長期保持には却って好成績を上げる現象——に類似する。実際、学習科学の実践研究では、構成主義的な教育を「望ましい困難さ」で概念化した試みもある[4]。

以上のような背景に基づき、認知科学を基盤とした構成主義的な教育を学校現場で実践し、その成果について、実践が行われた授業や単元、学年を超えて長期的に捉えていこうとする提言が学習科学でなされている[5]。授業の学習成果が可搬性（portability：学んだ場から持ち出せる）や活用性（dependability：必要なときに使える）、修正可能性（sustainability：自ら修正発展できる）を持つかという学習評価である。こうした評価が提言される背景には、構成主義も含めた革新的な教育方法の成果について、介入の初期段階で標準的な学力テスト等でそれを測ることによって長期的に見れば効果を持ち得た改革が頓挫してしまうこと[6]を避けるという実践的な理由もある。

以上より、認知科学・学習科学の教育実践研究は、学校教育段階において行った介入について、その学習成果に絞って長期評価を行いたいという動機付けを有する。それゆえ、逆に、介入以外の様々な学校教育の効果や卒業後の様々な要因の影響は勘案しないという方法論上の特徴を持つ。また、調査のスケールも、介入した学校やその中での特定の学習者集団（コホート）を対象とするため、大規模なものとなりにくい。

### 1.2. 社会科学の大規模調査研究から

これに対して社会学・経済学では、欧米を中心に個人の教育歴や学校経験がキャリアや所得に及ぼす影響についての大规模調査が行われてきた。調査時点で回答者が自らの経験や履歴を振り返る「回顧調査」が記憶の不正確さや回答時の生活状況が記憶に与えるバイアスを防ぐため、調査対象者を数年にわたって経時的に

追跡調査する「パネル調査」も増えてきている。

しかし、健康や生死などアウトカムが明確に定義可能な医学での長期パネル調査に比して、教育は学力や社会での活躍などの定義が難しく、また尺度の上限自体が発展していくという困難さを抱える。従来は比較不能であった成績について、素点や偏差値ではなく、IRT (Item Response Theory) に基づく能力値を使うことで比較可能にしようとする試みもあるが、それもあくまでテストや調査というごく狭い「観察窓」を通した一面しか測れていない。その一方で、おおよそ10年に一度改定される学習指導要領の効果を確かめるべく、大学生に高校での学校教育を回顧調査させた概括的な調査では、「大学に進学するための知識を一斉授業で学びつつ、文化祭や部活動などの特別活動を通して友人関係を形成し、集団での協力を学ぶ」といった全体像は浮かび上がるものの[7]、学習内容に踏み込んだ詳細な分析や、当該制度・枠組みの中で、日々教師がどのような授業をすべきかの示唆を得ることは難しい。

教育社会学・経済学の調査研究は、大規模長期データを扱える利点を持つ反面、得られた知見を次の教育実践に活かすのが難しいという欠点を指摘できる。

### 1.3. 本研究の目的と方法論の視座

将来的に、複数の研究手法の利点を活かし、欠点を補った融合的な前向き追跡(コホート)研究を行うことができれば、教育実践研究の質も上がる。その第一歩として、ある程度の規模で認知科学・学習科学的なアクションリサーチ(介入研究)の成果を具体的かつ詳細に捉えていく研究が必要だろう。同時に、そうした研究を進めながら、方法論上の要件も整理していく必要がある。

この点で、学習科学の実践プロジェクト WISE が行った調査研究が示唆的である[8]。当プロジェクトは、中学校理科の単元「熱力学」について、12.25 週かかる「完全セット」のカリキュラムを創り上げた。そこには「温度と熱」「熱伝導」「熱エネルギー」「熱均衡」という4つの小単元が含まれ、体験や物理シミュレータ、実験など生徒の活動を中心に議論の時間が十分確保されていた。この完全セットで教えた結果、従来と比較して記述式問題への成績が4倍になったと言う。その後、プロジェクトは教育行政と現場の要請でカリキュラムを3回にわたって短縮し、最終的には6.5週で終わるものにした(短縮版にも上記の小単元はすべて含まれていた)。この短縮の悪影響を調べるため、完全セットでの実践から5セメスタ分、各短縮版での実践からそ

れぞれ5セメスタ分の計20セメスタ分の実践について、生徒3,000人分の学習の達成度を比較した。

結果を記述式問題と多肢選択式問題の2つの形で評価したところ、「熱と温度は同じか違うか」といった多肢選択式問題への解答には、カリキュラムを短縮した影響はほとんど見られなかった。ところが、「同じか違うかの理由を例も示して述べよ」といった記述式問題の成績は、短縮するに従って段階的に落ちた。さらに、完全セットの平均的な生徒を50名選出し、約3週間に一度のインタビューで学習プロセスを追った。その結果、多肢選択式問題は3週目で半数近くの生徒が解答できるようになるが、6割の生徒が学習成果を使って自分なりの推論を行えるようになるにはさらに9週間掛かることがわかった。生成的で豊富な知識統合には時間がかかり、その成果は記述式問題など評価方法の工夫で初めて可視化されることが示唆されている。

この研究は、さらに上記50名のうちの1名について、中学校卒業後4年間の追跡インタビューを施した。その結果、完全セットで学んだ生徒は、WISEのプログラムを離れた後も科学への興味を持ち続け、高校で科学を選択し、インタビューで中学の時に問われたのと同じ問いへの解答について、高校で新しく学んだ関連知識も統合してさらに深めていった。

理科という一つの教科ではあっても、単元にわたる構成主義的な授業の成果が、知識の可搬性(portability)だけでなく、修正可能性(sustainability)も保証することが示唆されている。

以上を踏まえ、本OSも含めた報告者らの一連の研究目的は、一つには、構成主義的な授業を受けた子どもたちは、大人になって何を覚えているかを明らかにすること、二つには、どう明らかにできるかを明らかにすること——方法論の確立——の二つである。

方法論については、WISEの研究で示唆されるように、1. 介入の規模(授業か、単元か、教科か、複数教科や学年か、学校在籍期間すべてに及ぶものか)、2. 何を評価するか(学習内容か、学び方と呼ばれる認知スキルか)、3. どう評価するか(どのような問題をどう解かせるか、素手かツールや仲間などリソース付きか; 言語化など明示的な根拠を求めるか、本人が無意識に示す言動も根拠とするか)を考慮する必要がある。特に1点目については、学習科学の実践研究において、学習方法を単元などの単位で「パッケージ化」してしまえば、その効果が高まる反面、授業をデザインする教員の力量向上が疎かになるトレードオフも知られている。

そこで本 OS は「構成主義」という旗印では括れるものの、その実態においては多様である三つの事例を取り上げ、知見を深めることとする。なお、プログラミング教育 (LOGO) の実践例については、戸塚氏の登壇が叶わなかったため、下記に氏の著書[9]を紹介する。

## 2. プログラミング教育の40年後追跡調査

### 2.1. 調査の目的・方法

調査は、戸塚氏が1982年に小学校でLOGOという言葉を使って始めたプログラミング教育の成果について約40年を経て把握するために行ったものである。実践は、社会経済的背景 (SES) の不利な山間地域の分校も含めた、計6つの小学校で250名以上の児童対象に行った。当初は算数、理科、図工、音楽といった授業にLOGOを導入し、遅くとも1988年には、休み時間も放課後も児童がPCを好きに使える「小さな研究室」という環境を準備して、自由な探究学習を支えた。

そこから例えば、小学2年生2名が村の道を歩きながら歩数と道の曲がり具合を計測して地図をLOGOに描かせることで航空写真顔負けの正確さで村の形を見出した実践や、小学6年生2名がヒマワリの葉の生長プロセスを観察しLOGOのアニメーションとして再現することで葉軸に沿った生長とその垂直方向の生長とが「たし算」で葉全体の生長が進むことを発見した実践が生まれた。これらは認知科学分野にも広く紹介され[10, 11]、コンピュータを介して身体経験と科学的な概念とを結び付ける構成主義的 (氏は「構築主義」と記す) な教育として注目された。なお、上記4名のうち2名は村から初めての高校普通科 (進学校) への進学や国立大学工学部への進学を果たした。

このようなプログラミング教育が与えた効果を長期的に追跡すべく、2016年から2019年に第1次調査を行った。調査対象を1年以上担任した学級に在籍したか理科やコンピュータ授業を受けた児童、もしくは1988年以降に「小さな研究室」で学んだ児童という2条件で250名から102名まで絞り込んだ。うち91名 (36.4%) が存命で連絡可能であった。調査は、授業から17~38年が経過していたことになる。

調査は、成人した児童 (以下「学習者」) 一人ひとりに当時の記録写真や映像を郵送して記憶を喚起しつつ、調査協力を依頼し、進路とキャリア、授業の思い出などを書面調査、一部協力者には対面でのインタビューすることで実施した。

### 2.2. 調査の結果

1981年から83年度まで二校の分校で学んだ「第0世代」学習者7名、84~86年度にKN小学校で学んだ「第1世代」42名の計49名を合わせた進路、及び、1988~98年度に3つの小学校で学んだ「第2世代」42名の進路が図1のとおりである。同世代の18歳人口に占める大学進学者、及び短大・専門学校も含めた進学者率も付した (文科省「学校基本統計」から算出)。

図1に見る通り、第0, 1世代の学習者は全国平均より低い進学率だが、「中卒と高卒が当たり前」[9, p.54]であった山村に育った者としては稀に見る高学歴であった。第2世代の大学進学は全国平均を上回る結果となった。加えて、キャリアとしても研究者・エンジニア・教師・医師・デザイナー・ミュージシャン・起業家が計13名おり、それまでなかったような職業に就いていた。

高学歴を社会的成功と同視するのは短絡的だが、学習者が親世代では考えられなかった多様な進路・キャリアを開拓し得たのは無視できない事実である。

調査では、1985~86年にKN小の算数授業で扱ったプログラミング課題について、「30年後の宿題プリント」と題して書面で送付し、「多くの教え子たちが宿題を見事に解いた」という結果を報告している[9, p.131]。

正多角形の数学的定理を探す授業については、授業内容と定理を思い出せるかのインタビューも行った。

授業は正6角形、8角形、18角形など正多角形をLOGOで作成した後 (タートルの歩く距離と曲がる角度を指定することでその足跡が多角形を表す)、正11角形を描くプログラムがないことを教師が問いかけ、様々な試行と議論の末、学習者が小数点を含む角度 (32.7度) で描けることを見出したものだった。さらに板書された他の正多角形の結果も統合・抽象化し、

正n角形の中心角定理 =  $360 \div n$

という定理を

```
repeat :n [forward 辺の長さ right 360 ÷ n]
```

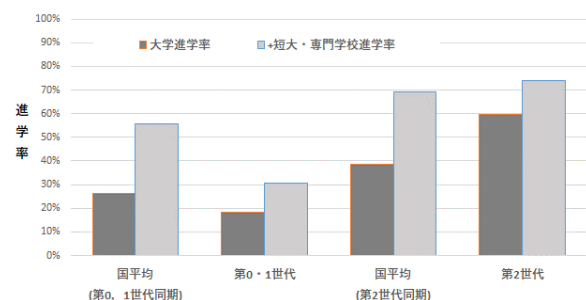


図1 戸塚実践の学習者の進路[9]

というプログラムと共に発見するに至った。

授業から11年後のインタビューでは、2名の学習者が「亀さん(タートル)で正11角形がつかれるかい？」との氏の問いかけに対して、キーボードに向かって

くりかえせ11 [前へ 20 右へ ...

とまでプログラムを書き掛け、角度について二人で対話し、暗算して32.7という数字を導出した。

ここにはLOGO特有のプログラム言語の理解、プログラム上の曲がる角度を数学の中心角と結び付ける領域横断的知識、中心角を算出できる概念的理解が示唆される。これらを捉えて氏は「プログラミングを通して獲得した知識は...『時間の経過に耐える知識』」[9, p.129]であり、「プログラミング教育が与える能力が『時間の経過に耐えられる』たぐましい...『新種の学力』」[9, p.131]と呼べるのではないかと主張している。

### 3. 今後に向けて

本OSは上記実践と、「仮説実験授業」及び「知識構成型ジグソー法」授業で学んだ学習者の長期経過後の学習成果の定着に関する検討を併せて、構成主義的な授業の長期的成果、及びその検証法を明らかにする。

すでに本稿で紹介した先行研究からも、学習の長期的評価によって、実践中や直後の短期的・即時的評価では得られないような構成主義的教育の成果が見えてくることが示唆されている。紹介した先行研究は、WISEプロジェクトでは単元、戸塚実践では単元や1年近くに及ぶ集中的な実践であり、こうした効果が「やればやるほど」増すものなのか、それでも単元や学期に一回程度の散発的な実践でも効果を持ち得るのかといった新しい研究設問も生まれる。

その一方で、効果を検証・推論するための方法論がいかにも「弱い」課題も見えてくる。まず効果(従属変数)の証拠とする問題解決が(特に小学校の内容の場合)その授業を受けていなくても解ける可能性や、解くにしてもツールや他者とインタラクティブになら解けるという場合も多く(それこそが構成主義的な学習の成果とも言えるが)、何らかの比較などで補強する方法論が必要だろう。次に、たとえ効果を確認できたとしてその原因(独立変数)を構成主義的な授業「のみ」に帰属させる難しさがある(むしろ構成主義的な学びが修正・発展可能性を持つ場合は新たに学んだことも積極的に関連づける方向に働く)。

しかし、こうした難しさにも関わらず、もし構成主

義教育の成果を、コンテンツの深い理解とそれに基づくスキルやコンピテンシーの獲得(例えば戸塚氏は創造性、レジリエンス、不思議感受性を成果として挙げる)、そして(長期でしか捉えられない)進路・キャリアのつながりで一体的に捉えることができれば、それは学術的・社会的に新しい評価の観点を提示する意義を持つ。それは翻って次の疑問——学校段階からその将来を予測することは可能か——を生むことにもなる。

### 謝辞

本OSは、科研費挑戦的萌芽「教育の世界に知識を取り戻す：単元マップを媒介に」(23K17605)、基盤研究A「学習評価を支援するCBTプラットフォーム実装による教師自らの学習モデル変容支援」(23H00069)、基盤研究C「学習科学に基づく授業研究を通じた授業デザインと見とりの力量形成過程の中長期的検証」(40609971)及び「STEAM教育における知識統合過程の分析に基づく学習支援方略の検討」(23K02770)、国立教育政策研究所「『データ駆動型教育』の課題と実現可能性に関する調査研究」の支援を受けた。感謝する。

### 文献

- [1] Schwartz, D. L. & Bransford, J. D. (1998) "A time for telling." *Cognition and Instruction*, 16(4), pp.475-522.
- [2] 三宅なほみ, (2011) "概念変化のための協調過程—教室で学習者同士が話し合うことの意味—", *心理学評論*, Vol.54, No.3, pp.328-341.
- [3] Bjork, R. A., (1994) "Memory and metamemory considerations in the training of human beings," In J. Metcalfe & A. Shimamura (Eds.), *Metacognition*, The MIT Press, pp.185-205.
- [4] Linn, M. C., (2007) "Knowing when, where, and how to study student learning," In J. C. Campione, K. E. Metz, & A. S. Palincsar (Eds.), *Children's learning in the laboratory classroom contexts*, New York: Lawrence Erlbaum Associates, pp.137-162.
- [5] Miyake, N., & Pea, R., (2007) "Redefining learning goals of very long-term learning across many different fields of activity", In C. Chin et al., (Eds.), *CSCL 2007*, pp.26-27.
- [6] Lewis, C., Perry, R., & Murata, A. (2006) "How should research contribute to instructional improvement? The case of lesson study." *Educational Researcher*, 35(3), pp.3-14.
- [7] 高橋 亜希子, (2018) "高校の授業に関する大学生への回顧調査：授業形態・探究的な学習・自主活動等に関して" 日本教育学会大会研究発表要項. [https://doi.org/10.11555/taikaip.77.0\\_111](https://doi.org/10.11555/taikaip.77.0_111)
- [8] Clark, D. B., & Linn, M. C. (2003) "Designing for Knowledge Integration: The Impact of Instructional Time." *Journal of the Learning Sciences*, Vol.12, No.4, pp.451-493.
- [9] 戸塚滝登, (2022) "子どもたちの未来を創ったプログラミング教育," 技術評論社.
- [10] 三宅なほみ, (1985) "教室にマイコンをもちこむ前に" 新曜社.
- [11] 佐伯胖, (1986) "コンピュータと教育" 岩波新書.

※URL参照はすべて2023.7.21