

教育研究の一回性と一般化可能性

：デザイン実験という手法を再考する

○白水 始(中京大学)

1. はじめに

ロボット教育に限らず、教育研究の最大の特徴は、目の前の学習者の学びの質を上げたいと願う点にあるだろう。それゆえ、研究者・実践者はその時点で考えられるベストの支援を総動員して、学習の質を上げることを狙う。従来の心理学的な統制群は設けられない。それが学習者全員の学びの質を上げるという目的にそぐわないだけでなく、そもそもそれだけの多要因を扱っている状況で少数の要因だけを操作しても意味のある因果関係の推定にならないからである。教育実践は、対象とする学習者がそれまでに何を学んできたか、その教育現場がどのような歴史を背負ってきたか、その授業を取り巻く社会状況はいかなるものかといった複雑な要因と、その場に導入される多様な支援とが相互作用する点で、基本的にその時その場で一回しか成り立たない性質を持つものと言える。

それでいながら、実践者はうまくいった実践をもう一度再現したいものだし、できれば次はもっとうまく行く形で実践したいものだろう。その意味で、本来的に一回性を持つ教育実践を何らかの形で再現したい、広く言えば一般化したいというニーズを持つと言える。本稿では、この相反するニーズを実現するために、学習科学で提唱されてきた「デザイン実験」という手法を再検討し、ロボット教育に適用可能な教育研究手法のレパートリーを考察する。特に、認知的な理論と学習プロセスの詳細な分析をベースとした手法の重要性について検討する。

2. デザイン実験とは何か

デザイン実験とは、現場の学びの質を上げながら実践的な学習理論を構築することを目指す学習科学が採る研究手法である[1]。「理論」という言葉に語弊があれば、「安定した実践を可能にするエビデンスベースの科学的知識」と言ってもよい。

標準的なステップとしては、まず、教員と研究者がチームを組んで、人がいかに学ぶかという認知過程に関する理論に基づいた学習モデルを作る。次に、モデルから授業作成のためのデザイン指針を引き出し、単元の学習目標に照らして、具体的な授業デザインを作る。このデザインに基づいて授業実践を行い、そこで起きた学習について詳細なプロセス分析を行う。それによって、学習モデルで期待したとおりのプロセスが生じていたか、望ましい学習が生じた場合は何がその要因と考えられるかを検討する。その結果にしたがって、学習モデルを修正・変更し、デザインを作り替え、次の実践を行う。

この「学習モデル—デザイン作り—実践」のサイクルを繰り返すことで、よりよい授業作りのための指針として抽出されるものが、デザイン原則である。これが、デザイン実験でもたらされる成果の一つである。さらに、実践を積み重ねることで、カリキュラムや協調的な学習法、学習支援ツールなど実用的な成果物も得られる。その点で、デザイン実験は、学びの場を変えたいと考える主体が自ら現場に介入し、変化を創り出すアクションリサーチだと言える。しかし、デザイン実験は、それだけにとどまらず、実践の蓄積から、現場の学びに根ざした形で根源的な学習理論—人はいかに他者と相互作用しながら知識を構成するか—を構築・改訂しようとする。

3. デザイン実験成立の経緯と特徴

デザイン実験は、Brown[2]とCollins[3]によって1992年に提唱された。発達心理学者だったBrownは、実験室では訓練可能な記憶方略が実験室外には保持されないという限界を超えるべく、複数の学習者を参加者とした、より長期間の支援実験を行うようになった。それが相互教授法の開発やジグソー学習法の発展的利用、さらには学習者の共同体そのものをクラスに作る学習実践プロジェクトへとつながった。人工知能・知識表象研究者としてスタートしたCollinsは、状況論的学習論の影響も受けながら、教育研究を分析科学ではなく、AIや航空学のようなデザイン科学にすることを主張した。両者とも、学習が多要因の複雑な相互作用過程であることを認め、多要因を総合的に支援しようとした。

こうした経緯を反映して、デザイン実験は、(1) 実践と研究を共に行う、(2) 統制群を設けない、(3) 各時点で最も有効だと考える実践を行う、(4) 繰り返し実践を行う、(5) 学習過程の支援と記録のためにテクノロジーと協調過程を多用する、という特徴を持つ。(1)(2)(3)に示唆されるとおり、デザイン実験は、学習が多要因の関わる動的な過程だと見る点で、独立変数を研究者が状況の「外」から操作して因果を同定する分析科学的アプローチとは異なる。また、(3)(4)(5)のとおり、デザイン実験は、介入を行って「これまでなかった学び(what could be)」を作り出してから分析に入る点で、「現に起きている学び(what actually is)」を詳細に分析する社会学的なエスノメソッドロジーによるアプローチとも一線を画す。

4. デザイン実験の成果と限界

それでは、デザイン実験が提唱されてから20年弱経った今、いかなる成果が得られ、いかなる限界が見えてきたのかについて検討しよう。学習科学の中

でも2000年代半ばにデザイン実験についてさまざまな特集[4][5]やハンドブックの刊行[6][7]が相次いでなされ、雑誌論文にもストランド（テーマ別の継続特集）が用意されて、その吟味が進み始めている。

4.1 回顧型分析アプローチ

デザイン実験の課題の一つは、得られた知見をどのように理論・原則へと高めるかという一般化可能性の問題と、そのためにダイナミックで複雑な実践をどう記録・比較・評価するかという点にある。

その一案として、たとえば、一回の実践で因果関係を同定することはできないが、同じ現場でなるべく変動要因を抑えて何度も繰り返し行った実践結果を振り返ることで、擬似的な条件比較が可能になり、因果関係が推定できるようになるとする主張がある。[8]が「回顧型分析」と呼ぶアプローチである。

例えば、WISEプロジェクトは、この回顧型分析を用いて、中学生対象に行った熱力学の単元の協調的な学習プロジェクトの実践結果を比較し、教える内容を減らさずに時間だけ短縮することで、多肢選択式問題への正答率は落ちないが、記述式問題に対する成績は低下することを明らかにした[9]。また、一部の生徒に対する毎授業後および高校進学後のインタビューによって、熱力学の知識を自分の経験や他の授業内容と統合するような学びには、きわめて長い時間があることを示した。

このように、創造的で実効的な授業実践の蓄積が厳密な評価と組み合わせることで、「学んだことを自分のことばで説明できるような学びには、普通の授業時間では足りない」という現場の経験知が明確なエビデンスで置き換えられていくといえる。

WISEプロジェクトは、最近、限られた授業時間の中で何とか一つのテーマに学習時間を確保できるよう、「エネルギー」というテーマを軸に地学、化学、物理、生物の単元を関連づけて学ぶカリキュラム（cumulative learning）を提唱している。教育状況に合わせた知見の一般化の好例だろう。

さて、上記の回顧型の比較が可能になったのは、実践の繰り返しの関わらず、多肢選択式問題と記述式問題という一貫した指標を取り続けたためでもある。実は、WISEプロジェクトは、教育行政の要請によって、最も時間をかけられたベストのカリキュラムから徐々に授業時間を短縮(streamlining)せざるを得なかった。つまり、実践を縮小する、言わば「逆デザイン実験」とでも言うべき状況に陥ったため、かえって同じ指標を用いるなど「見直し」を持った研究が可能になったと考えることもできる。

通常のデザイン実験であれば、実践の繰り返しの中で、支援が充実するとともに、学習者にできることも新たに見えることで、指標の取り方も変わることが多い。むしろ、その方がデザイン実験として健全だと言えなくもない。だからこそ、認知的に考えて何が学びにとって大事な要因かという目途が必要になる。それをどのような基準でどう変えて、成果をどの指標でどう捉えようとするのかについて、実

践者・研究者は自覚的であるべきだろう。そうでないと、実践間で違った要因をすべて洗い出して、機械的に効果への重みづけをして操作的なモデルを作るなど、現実から遊離した教育研究に陥ってしまう。

4.2 「創造から効率へ」アプローチ

一般的な分析科学の基準に従えば、多要因の同時改善や指標の変更は、一貫した比較を難しくする。支援を狙えば比較可能性が落ち、比較を優先すれば支援が疎かになるトレードオフである。

Schwartzら[10]は、このトレードオフに対して、まずは創造的な実践の開発に努め、その後、診断的な介入など効率的な科学的知識の蓄積に研究努力を集中すればよいのではないかと主張する。教育研究では、実践の積み重ねから、教科書に載るような理論だけでなく、魅力的なカリキュラムや学習課題、プロジェクト案、学習法、学習支援ツールやデバイス、それらのプラットフォームなど実用的な成果物が得られる。[10]は、こうした成果物を学習研究のための道具instrumentと呼んだ上で、実際の学習科学実践では、特に黎明期には、道具の創出や微調整instrumentationに多くの時間や労力が割かれているのだから、まずは創造的な道具を作り出し、その後、科学的な知識や理論を創り出すアプローチが有効だと主張するのである。それを図1の矢印のようなパスで表わし、創造性を重視する実践の蓄積から、うまく行く実践（のエッセンス）を見つけ出した時点で、「角を曲がって」効率的に知識を蓄積し始めることを推奨する。

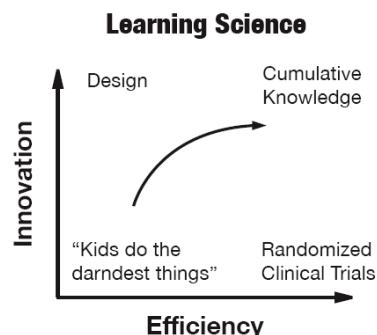


図1 創造から効率への研究シフト([10]より)

Schwartz自身は、学習者の概念的理解を促す支援とその効果を適切に捉える指標を探す努力の中で、「未来の学習を準備する発見学習法」と「効果を明らかにする二重転移という評価法」という道具を見出したと言う。前者の学習法は、例えば統計の分散の学習において、高跳びの世界記録を破った選手の記録と重量挙げのそれを破った選手の記録のどちらがより優れているかを何らかの数値で示すという課題に、標準得点化などの手順は教わずにグループで取り組むものである。後者の評価法は、ポストテストにおける転移課題（違う科目の得点のどちらが最高得点に近いかを定める課題）の直前に学習素材（標準得点の計算法の解説に従って例題を解くもの）を埋め込むことで、素材を積極的に活用して課

題が解けるかを調べるものである。発見学習の学びを転移(*transfer in*)させて学習素材の解説を読み解けるか、さらに解説からの学びを転移(*transfer out*)させて課題が解けるかという点で「二重転移」と呼ぶ。

Schwartzら[11]は、発見学習で学ぶ群と、上記の課題については手順を教わって学ぶ群（それ以前は同様に発見学習を体験している）を用意し、転移課題に学習素材を埋め込む場合と埋め込まない場合の2×2の実験計画で効果を比較した。結果、学習素材がない場合はどちらの群も低い成績だが、素材がある場合は発見学習で学んだ群が上回った。つまり、発見学習では、テスト時に挿入されたヒントを活用できるような準備がなされていたと主張した。

[11]のパラダイムは、統制群を設けているため、デザイン実験とは言い難いが、Schwartzはここに至るまで転移を巡るさまざまな実践を積み重ねており、それが創造的介入の蓄積に当たる。そして、この研究で「角を曲がる」ことを決めた後は、診断的介入を強め、両群でやっていることが同じになるように、教科書の解説から例題へという順で学ぶ群と例題を発見的に解いてから同じ解説を読む群を比較したり[12]、同様の実験をペアの学生で行う場合とソロとで比較したりするなど[13]、上記の道具セットが機能する条件とメカニズムを集中的に検討している。

Schwartzのアイデアの利点は、一見即物的に見える学習法やツール、カリキュラムの価値を積極的に認める点にある。それによって、一単元の実践だけでなく、より長期的で広範囲なスケールの何年にも亘る総合的なカリキュラムやプロジェクトの成立自体が教育研究を進めるという見方も可能になる。

残る問題は、角を「どこで」曲がるかをどう決めるかである。どの実践（道具）をどういう基準で「よい」と決めるか、Schwartzは明示していない。基準として、学習目標に対する有効性を考えることもできるが、それだけだと、安定して将来違う場面で引き起こせるかが疑わしい。そこでもやはり、道具が働く理由として人の認知的なメカニズムが想定されることが必要だろう。それが、科目や課題や状況を変えても自然な形で望ましい学習プロセスが再現できる根拠になると考えられるからである。

4.3 事例分析アプローチ

デザイン実験の一つの形態として、蓄積された実践の中から分析するに値する実践事例を選び出し、そのプロセスを詳細に分析するものがある。

Engle[14]は、ジグソー学習法で生物の絶滅危惧種について学んだ小学5年生の1クラスに注目し、シヤチの生物学的分類を4カ月に亘って議論した1グループの会話をすべて分析した。その結果、児童の転移テストの成績は、議論で得られた知識量（具体例への接触や対比の回数）よりも、教師がどの程度議論で出てきたポイントを後の学びやグループ外の仲間の学びと結びつけたかによることを示した。

転移は、知識量や理解度など個人的要因で決まると考えられてきたが、学びの場がどの程度重なり合

うものと *framing* されているかという社会的要因にもよることを示した点が面白い。Engleは、図2のように、学習者が各学習機会をバラバラにはなく（図左列）、関連付けて（図右列）捉えられるような学習環境が転移を促すとまとめている。このようなまとめから、実践への示唆を得る人も多いだろう。その点で、一実践の分析でも、学習プロセスの認知的な特徴をうまく抽出できれば、読み手が状況に合わせてその特徴を再現・拡張する一般化が可能になる。


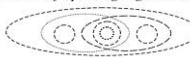
	As Bounded Events	As Parts of Open Ongoing Activities
Frameable Aspects of Learning Situations		
Who Participants	<ul style="list-style-type: none"> • Fixed set • Just those copresent 	<ul style="list-style-type: none"> • Open, expanding set • Copresent and imagined
When Temporal horizon	<ul style="list-style-type: none"> • Set starting point • Set ending point 	<ul style="list-style-type: none"> • Build on past • Project to future
Where Location	<ul style="list-style-type: none"> • Narrowly defined • Circumscribed 	<ul style="list-style-type: none"> • Broadly defined • Extendable
What Topics	<ul style="list-style-type: none"> • Individual topics • Not connected 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiple topics at once • Linked or embedded
How Roles and practices	<ul style="list-style-type: none"> • Students positioned more passively as recipients, mouthpieces, etc. • Predefined procedures 	<ul style="list-style-type: none"> • Students positioned more actively as respondents, creators, etc. • Negotiable processes
Why Purposes	<ul style="list-style-type: none"> • Single purpose • Fixed in advance 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiple purposes • Can be renegotiated

図2 転移を可能にする学習環境の図式([14]より)

5. 認知科学ベースのプロセス分析の重要性

以上のレパトリーの広さは、学習成果の達成に重きを置く学習科学的なゴールと認知過程についての知見を得る認知科学的なゴールの違いを反映したものと考えられなくもないが、どの手法でも、認知的な理論と、実践における学習プロセスの詳細な記録・分析の重要性が示唆されつつあると考えることもできる。それによって、従来では考え難かった細かい粒度のデザイン原則や学習理論が入手できる可能性があるためである。それは、学習者の時期・状況に合わせた活動の準備や現場での支援といった協調的な学習過程の精緻なエンジニアリングを可能にするだろう。その具体的な研究方略の提案は[15]に、実例は[16]に詳しいので、ここでは、教育・学習の文脈を離れ、研究方略のクリアなイメージを与えてくれる研究を紹介して終わりにしたい。

発達研究者 Roy[17]は、第一子の息子が生まれてから3年間、自宅のすべての部屋にカメラとマイクを取り付け、9万時間の動画と14万時間の音声からなる計200テラバイトの記録を収集した。それによって、例えば、息子が1歳の時に初めて“ウォーター(water)”のことを“ガガ(gaga)”と呼んだ時点から、半年かけてゆっくりと大人のような正確な発音でwaterと言えるまでの記録が残せることになる。その半年間全47回の発声記録を40秒に編集した音声データからは、そのプロセス自体、gagaがga-gaと2音節に分かれ、中盤にwa-terらしい発音が出るにも関わらず、またgagaに戻り、その後、-terを意図的に発音しようとするなど、漸進、後退、停滞、飛躍を複雑に孕みこんできわめて示唆的である。

それだけでなく、Royは息子が2歳になるまでに発音できるようになった全503語について、周囲の

大人が各語に関しどの程度複雑な発話を行ったかを書き出した。結果が図3である。各語が発音できるようになった時点を0カ月とし、プラス・マイナス15カ月の時間を横軸に、各語を含む大人の発話の相対長(複雑さ)を縦軸に表し、全語の平均を取った。図に見るとおり、子供がある語を発音できるまさにその日に向けて養育者は語数を減らし、できるだけ短く話しかけ、子供が発音できたら、より複雑な文を話すように調整していた。つまり、子供が周囲の言語環境から学ぶと同時に、環境自体も子供から学ぶフィードバックループが形成されており、それが語彙獲得の強力な足場掛けになると Roy は主張する。

Evidence for Finely Tuned Child-Caregiver Feedback Loops

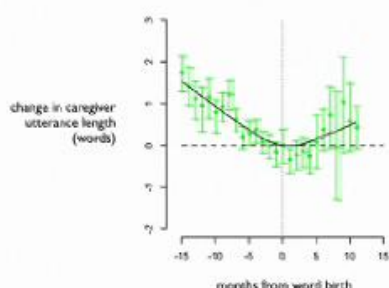


図3 子供の言葉の発声時期と親の言葉掛け([17]より)

これまでの発達研究にも大人が子供に向かってはつきりゆっくり高い声で話しかける“parentese”によって語彙獲得が容易になるという知見はあったが、それが粗い仮説でしかなかったと思わせるほど、圧倒的なデータの厚みである(このビデオの存在は、三宅なほみ氏、芳雄氏、寛一彦氏の示唆を得た。記して感謝する)。

学習研究は、いまだにこの厚みのデータを持ち合わせていない。しかし、いつかこうした詳細なプロセスのデータを入手し、そこでの「変化」を分析することができれば、これまで私たちが抱いていた粗い因果的な学習モデルをリアルな事実を基にしたプロセスモデルで書き換えていくことができるだろう。分厚いデータを様々な角度から分析した結果は個別の事例に即しながら、ある種の一般化可能性を獲得する。それは多くの人の学習観を変え、学習環境の在り方を変えるはずである。デザイン研究は粗いデータを繰り返し採って因果だけで学びを論ずるレベルから、徹底的にリアルなデータを採って新たな原則や理論を提言できるレベルにシフトすべきである。

データの価値はそれだけではない。Royの息子は、講演のためにデータ公開の許可を求めた父、つまりRoyがどんな研究をしているのかを聞いて、少し考え「僕が大きくなったら子どもに見せられるね」と答えたと言う。このような試みは、学び手が自由に個別事例を抽出し活用できる巨大な学びそのもののデータベースともなるはずである。

参 考 文 献

- [1] 三宅なほみ, 白水 始: 学習科学とテクノロジー. 放送大学教育振興会, 2003.
- [2] Brown, A. L.: “Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating interventions in classroom settings,” *The Journal of Learning Sciences*, vol.2, pp.141-178, 1992.
- [3] Collins, A. M.: “Towards a design science of education,” In E. Scanlon & T. O’Shea (Eds.) *New directions in educational technology*, pp.15-22, Berlin: Springer, 1992.
- [4] “Theme issue: The role of design in educational research,” *Educational Researcher*, vol.32, no.1, Whole issue, 2003.
- [5] “Design-based research: Clarifying the terms,” *The Journal of the Learning Sciences*, vol.13, no.1, Whole issue, 2004.
- [6] A. Kelly & R. Lesh (Eds.): *Handbook of design research methods in education: Innovations in science, technology, engineering and mathematics learning and teaching*. New York: Routledge, 2005.
- [7] R. K. Sawyer (Ed.): *The Cambridge handbook of the learning sciences*. pp.135-152, New York: Cambridge University Press, 2006.
- [8] Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Shauble, L.: “Design experiments in educational research,” *Educational Researcher*, vol.32, pp.15-43, 2003.
- [9] Clark, D. & Linn, M.: “Designing for knowledge integration: The impact of instructional time,” *The Journal of the Learning Sciences*, vol.12, pp.451-493, 2003.
- [10] Schwartz, D., Chang J., & Martin, L.: “Instrumentation and innovation in design experiments: Taking the turn towards efficiency.” In A. Kelly & R. Lesh (Eds.) *Handbook of design research methods in education*, pp.47-67, New York: Routledge, 2005.
- [11] Schwartz, D. L., & Martin, T.: “Inventing to prepare for learning: The hidden efficiency of original student production in statistics instruction,” *Cognition & Instruction*, vol.22, pp.129-184, 2004.
- [12] Schwartz, D. L., Chase, C., Chin, D., & Oppezzo, M.: “How direct instruction distracts students from processing similarities and differences and thereby undermining transfer,” Paper presented at the 13th Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Amsterdam, The Netherlands, 2009.
- [13] Schwartz, D. L., Lindgren, R., & Lewis S. “Constructivism in an age of non-constructivist assessments,” In S. Tobias, & T. M. Duffy (Eds.). *Constructivist instruction*, pp.34-61, New York: Routledge, 2009.
- [14] Engle, R. A.: “Framing interactions to foster generative learning: A situative explanation of transfer in a community of learners classroom,” *The Journal of the Learning Sciences*, vol.15, pp.451-498, 2006.
- [15] 三宅なほみ, 三宅芳雄: “学びのプロセスの多様性を解明する,” *認知科学*, vol.17, no.2, pp.372-376, 2010.
- [16] CoREF プロジェクト (<http://coref.u-tokyo.ac.jp/>)
- [17] Roy, D.: “The birth of a word,” Talk presented at TED (<http://blog.ted.com/2011/03/10/deb-roy/>)