

学習科学に基づく学習支援システムの設計と実現

Design and Construction of Learning Support Systems based on Learning Sciences

三輪 和久
Kazuhisa Miwa

名古屋大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University
miwa@cog.human.nagoya-u.ac.jp, <http://www.cog.human.nagoya-u.ac.jp/~miwa/>

Keywords: learning sciences, learning support systems

1. はじめに

本特集の副題には、「学習科学と工学の相互作用」と記されている。ために、「学習科学」をキーワードとして WWW を検索したところ、15,100 頁がヒットした。一方、「学習工学」はわずか 1,100 頁しかヒットしない。ちなみに、「教育科学」「教育工学」は、それぞれ 174,000 頁と 218,000 頁である。「学習工学」という表現は、我が国では未だ市民権を得ていないようである。一方で、上記の検索結果が示す結果からも、「教育工学」という言葉は、すでにこの業界に定着している。

そもそも「学習」という言葉は、「工学」よりも「科学」との間の方に、より高い親和性を持つものなのかもしれない。この見解は、「学習」を「教育」に対置した時に、より明確になる。

「工学」のアプローチは、本質的に「構成的」(synthesis) である。仮定を置き、仮定に基づきデザインを行い、それを物理的に実現する。それに対して、「科学」のアプローチの主流は、対象の「分析」である (analysis)。ここで「教える」というのは、教師から見れば「構成的」な営みである。「こういう授業デザインを設計してやってみたら、このような学習効果がありました」といったやり口である。一方「学ぶ」という現象に対しては、教師は「分析的」態度を示さざるを得なくなる。学ぶことの主導権は、教師ではなく、学習者にあるからである。「教育」という言葉は、「教える側」の視点に立つ態度を志向させるのに対して、「学習」は「学ぶ側」の視点を志向させる。「教育工学」に対する「学習工学」のむずかしさは、このあたりにも存在するのではないだろうか。

言葉じりだけを捉えた上記の短絡的見解の是非は別として、では、学習の工学が発展してゆくためには、どのような取り組みが重要になってくるのであろうか。学習支援システムの研究が、個別のアートの陳列に留まることなく、「学」として成立するためには、どのような態度が必要なのだろうか。一般論として、「工学」は



図1 メディアとしての学習支援システム

「科学」と結びついた時に、そこに「学」としての特質が生まれてくる。だとするならば、「学習」の「工学」が確立するためには、その背景に学習の「科学」が存在することが必要条件となる。そして、学習支援システムの研究が、その背後に存在する「学習科学」との関係において論じられるという態度が何よりも重要である。ここに、本特集のキーコンセプトである「学習科学と工学の相互作用」の必然が生まれている。

本論文では、学習の科学と工学の相互作用を促進するために、学習支援システムはどのように設計されるべきなのかに関する検討を行う。さらに、そこでの見解に関連づけて、我々の研究グループで行われた学習支援システムの開発事例を示す。

2. 学習の科学と工学の相互作用

2.1 相互作用メディアとしての学習支援システム

まず、学習支援システムが、学習の科学と工学という2つの学の中でどのように位置づけられるのかという点を考えてみたい。ここでは、学習支援システムを、2つの学を結ぶメディアと捉える(図1参照)。

学習工学の側から学習支援システムを眺めると、システムは学習を補助し促進するための「支援システム」である。一方で、学習科学の側から学習支援システム

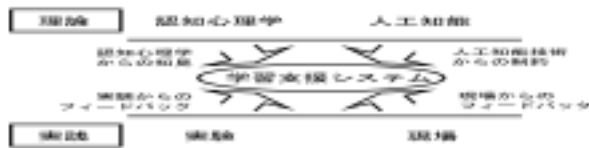


図2 設計のための4つの指針

を眺めると、それは「実験システム」となる。学習者は、その学習プロセスの中で、支援システムと繰り返し相互作用する。そこで得られるデータは、人間の学習を探究する上で非常に重要な心理学データを提供するのである。

米国では、すでに上記の認識に基づいた取り組みが浸透している。それらの試みのもっとも成功した事例は、J. R. Anderson らが開発した LISP TUTOR という学習支援システムであろう。Anderson らは、彼らが長年にわたって精緻化させてきた ACT (Adaptive Control of Thought) 理論に基づき、プログラム言語 LISP の学習を支援するシステムを開発した。LISP TUTOR は、米国の多くの大学で実際に利用されると同時に、彼らはそこで得られた膨大な認知心理学的データを、ACT 理論の認知心理学的実証・展開に利用したのである。

2.2 4つの指針

では、学習支援システムが、上記のような学習科学と学習工学の相互作用を促進するメディアとして機能するためには、学習支援システムがどのような原則で設計され、実現される必要があるのだろうか。ここでは、4つの指針を示す。もちろん、以下の4つの指針以外にも重要な視点は数多く存在するだろう。以下の指針は、一般的知見というよりも、著者が日頃から意識的に心に置いている実践原則である(でしかない)。

図2の上側は、学習の「理論」の淵である。一方、下側は「実践」の淵となる。学習支援システムは、その2つの淵をつなぐ橋である(淵メタファーは、に基づくものである)。

認知心理学からの知見

まずは、学習支援システム的设计原則が、認知心理学や学習科学において提起されてきた、人間の学習に関する理論に深く結びついていることが重要である。システムには、学習活動を促進させるために様々なモジュールが装備されるが、それが単なる技術的興味による導入を超えて、その背景に心理学的理論を背負う

ことである。言い換えれば、「なぜそのモジュールなのか」が、認知心理学の理論に基づいて説明できることが大切である。

そのことにより、学習支援システムを介して「実践」で得られた経験データを、学習の「理論」と関連づけて議論できるようになる。上記の Anderson らの一連の研究は、その好例である。

実験からのフィードバック

ここでの実験は、大きく2つのタイプに分けることができる。

1つは、システムの評価のための実験である。システムは「作りっ放し」のまま放置されてはならず、実証的手段を用いて評価されなければならない。この点は、これまででも、多くの学習支援システム研究において意識されてきたものである。この実験は、いわばシステムが実現された後に、そのシステムに智慧をつけるために行われる「後知恵実験」である。

これに対してここで強調したいのは、「先知恵実験」の重要性である。これは、システム開発の動機に結びつく認知心理学的実験である。実際には、この種の実験は、学習科学の側からの主導で行われることが多いのかもしれない。実験心理学的研究において、ある認知活動が学習を促進するという認知心理学的知見が得られた後に、その活動を促進するための学習支援システムが設計されるというような場合である。

例えば、1990年初頭に、「自らの学習活動を声に出して説明しながら学習する」という「自己説明」の学習効果が認知心理学の領域で確認された。その後、自己説明を支援して学習を促進させようとする学習支援システムが数多く開発された。同様な展開は、「学習者が自らの学習をメタ的に修正・維持してゆく活動」である「自己調整」の領域においてもなされている。

現場からのフィードバック

学習支援システムは、実験室の外に出て、学習活動の現場(もしくは、より現場に誓い状況における実験環境)での評価が行われなければならない。現場での実践という点は、近年の学習科学コミュニティにおいて、とりわけ強調される点であり、その観点から、実践デザイン実験アプローチと呼ばれる実践原則を確立しつつある。

認知心理学との結びつきによって、学習の「理論」への橋が架けられたとするならば、ここでの現場からのフィードバックが「実践」への橋を架けることになる。

学習支援システムを現場で運用する際の重要な視点として、学習の現場では、ある「デザイン原則」に基づいて、個々の「デザイン要素」(例えば、教師、教材、カリキュラムなど)が決定されているという点があげられる。要素は原則を実現するための手段であり、要素が一人歩きしてはならない。学習支援システムは、多様なデザイン要素の中の1つの要素であり、他のデザ

イン要素との関係において、その効果が最大限に発揮されなければならない。

人工知能技術からの制約

もう1つ重要な視点として、学習支援システムの設計における人工知能技術からの制約がある。ある人工知能技術の有効性を実証する場として学習支援システムが取り上げられたり、逆に学習支援システムの開発を通して、新しい人工知能技術が発見されたりするということである。ただし、この項目に関しては、本論文では扱わない。

以上、4つの指針を示した。現実問題として、この4つの指針をすべてに渡って満たすことは困難であろう。左上の矢印は強いが右下の矢印は弱いとか、その逆も考えられる。しかし、その場合でも、それぞれの矢印における態度を意識して、学習支援システムが設計・開発されることが重要であると考えられる。

3. 開発事例

ここでは、筆者の研究室で開発された「WWW探索の学習支援システム」を例に取り上げて、上記の4つの指針に基づく学習支援システムの開発の実例を示す。

3.1 システムの概要

インターネットの急速な成長の一方で、情報量の増加による情報検索の困難さが指摘されている。このような状況に対して、検索システムやブラウザといった検索環境を改善することと共に、ユーザ自身の検索スキルを向上させることが重要である。本システムは、WWW探索スキルの学習を支援することを目的として実現された。

本システムでは、学習者に、自らの探索行動をリフレクティブに検討しながらWWW空間の探索をさせることにより、学習の促進を図ろうとしている。そのために、学習支援システムに、そのWWW空間の探索プロセスを記述し提示する機能を持たせ、学習者に提示する。学習者は、図3のように、右側のディスプレイに提示される自らの探索行動履歴を参照しながら、左側のディスプレイ上で通常ウェブブラウザを用いて情報探索を行う。

以下では、2.で述べた4つの指針が、本システムの開発にどのように関与したのかを示す(図4参照)。

3.2 認知心理学からの知見

メタ認知的活動に関する認知心理学的研究

メタな視点から、自らの学習活動をモニターしたりコントロールしたりする活動が学習を促進するという知見は、認知心理学の領域において数多く報告されている。自らの探索履歴をモニターし、自律的に制



図3 WWW探索の学習支援システム

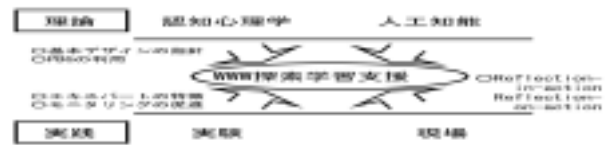


図4 WWW探索の学習支援システムと4つの指針

御しながら探索を進めるといふ本学習システムの基本的設計は、これらの認知心理学的理論に基づきデザインされたものである。

Problem Behavior Graph の利用

学習者の探索履歴をフィードバックする際には、どのような書式(スキーマ)によってそれを行うのかという点が非常に重要である。本システムでは、人間の問題解決の認知心理学研究の領域で長年使われてきたPBG(Problem Behavior Graph)に基づき構成されたプロセス記述スキーマを用いた。

図5は、本スキーマを用いて記述された学習者の探索履歴である。そこでは、探索エンジンに入力するキーワードや検索式を考える段階を「キーワード空間の探索」と捉えている。次に、検索結果として示されたページのリストや、個々のページの閲覧を行う段階を「Web空間の探索」と捉える。Web空間の探索は、さらに「検索結果空間の探索」と「ページ空間の探索」に分けられる。

このような表象を用いることは、学習者に、WWW空間の探索を複数の問題空間の探索として意識させ、そのプロセスをその観点からリフレクティブに検討させることを意味している。

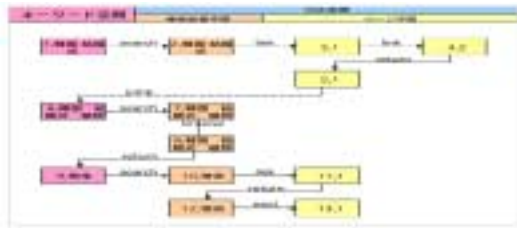


図5 PBGに基づく探索行動履歴の記述

3.3 実験からのフィードバック

先知恵実験

本システムの開発に先立って、我々は WWW 探索のエキスパートとノービスの探索プロセスの特徴を、認知心理学的実験を通して検討した。具体的には、PBGに基づき、両者の探索プロセスの違いを分析した。

分析の結果、エキスパートは、どの空間に関しても効率的な探索を行っていた。また、プロセス全体を通して、1つの空間の探索にとどまらず、他の空間の探索へ頻繁に移動を行っていた。それに対して、ノービスは特定の空間に偏った探索を行っていることが明らかになった。これらの知見は、エキスパートが行うような高いパフォーマンスの探索を可能にするためには、自己の探索活動を、複数の空間の探索という観点からリフレクティブに検討し、その問題点を認識させたり、修正させたりすることが重要であることを示唆していた。

以上の実験的知見は、自己の探索プロセスをメタな視点からリフレクティブにモニターさせるという、本システムの基本デザインを採用する直接的動機をもたらすことになった。

後知恵実験

本システムの実現後、システムの有効性を確認するための実験が行われた。被験者は、(1) PBGによる探索プロセスの提示を行う本システムを用いて探索を行う群と、(2) そのような支援を行わず、通常のブラウザのみを用いて探索を行う群の2群に分けられた。

探索中の被験者の発話を分析したところ、両群の間に発話の「総ステートメント数」には差異はないものの、探索プロセスを提示した群において、自分自身の「探索プロセスを評価・検討する発話の数」が増加していた。これらのことは、本システムを用いて探索を行うことにより、探索中のリフレクティブな活動が促進されたことを意味している。ただし、探索のパフォーマンス(ターゲットとなる情報を含んだページにたど

り着く割合)に関しては、両群の間に際だった差異は見いだせなかった。

3.4 現場からのフィードバック

実際に探索パフォーマンスの改善にまで結びつく学習活動を行わせるために、次には、Reflection-in-actionとReflection-on-actionという「デザイン原則」に基づく学習プログラムが設計された。強調すべきことは、前述の実験では学習支援システムは単独で使用されたが、ここでは、上記のデザイン原則を実現するための「デザイン要素」の1つとして、本学習支援システムが用いられたという点である。

Reflection-in-actionとは、学習時に(いわばオンラインで)リフレクティブな活動を行いながら学習することであり、Reflection-on-actionは、学習終了後に(オフラインで)自らの学習活動を省察するというものである。

学習者は、本システムを用いて探索活動を行った(Reflection-in-action)1週間後、今度は自分の探索プロセスがプリントされたシートを見ながら、他の学習者の探索プロセスを参照しつつ、自らの探索プロセスの特徴を検討させた(Reflection-on-action)。その結果、通常の学習カリキュラムに基づき探索のトレーニングを受けたグループに比して、本学習プログラムでトレーニングを受けた学習者は、より顕著に探索パフォーマンスを改善させていた。本学習支援システムの現場での使用実績はまだまだ不十分であるものの、学習効果に関して一定の効果を明らかにすることができたことは、「支援システム」についての「実践」の場への貢献の道筋を開くものである。

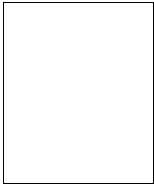
一方、本学習支援システムは、学習科学の側から見た時には、「実験システム」としての位置づけとなる。本研究の結果は、自らの行動履歴をメタに省察することにより学習が促進される実験データを提供しており、学習に関する認知心理学に関して、重要な知見を提供する。また、これまで主に認知プロセスの「分析」に用いられていたPBGのような分析ツールが、「支援」のツールとしても利用できることを例証しているという点も重要である。

4. む す び

冒頭に、学習工学という言葉が未定着であることを述べたが、実際には、学習の工学に関する研究コミュニティが沈滞しているわけではない。人工知能学会においても、「先進的学習科学と工学研究会」が存在し、活発な活動を続けている。学習支援システム研究の重みは、情報システム学コミュニティの中においても、決して軽いものではない。それらのコミュニティの中において、本特集が取り上げられた「学習科学と学習工

学の相互作用」が促進されることは、この分野の発展において、真に喜ばしいことである。

—— 著 者 紹 介 ——



三輪 和久(正会員)

1984年名古屋大学工学部卒業。1989年同大学院工学研究科博士課程修了(情報工学専攻)。工学博士。名古屋大学情報処理教育センターを経て、1993年より名古屋大学大学院人間情報学研究科認知情報論講座助教授。2003年より同大学院情報科学研究科認知情報論講座助教授。1991年～1992年米国 Carnegie Mellon University, Dept. of Psychology, visiting assistant professor。認知科学、人工知能、教育工学の研究に従事。とりわけ問題解決、理解、発見、創造といった人間の高次思考過程に興味がある。

考過程に興味がある。