

「誤りからの学習」を指向した誤り可視化の試み

平嶋 宗*, 堀口知也**

Error-Visualization for Learning from Mistakes

Tsukasa HIRASHIMA*, Tomoya HORIGUCHI**

キーワード：誤りからの学習，誤り可視化，Error-Based Simulation，知的学習支援システム

1. はじめに

ITを用いた学習/教育支援システムの設計・開発においては、(1)理論ベースのアプローチ、もしくは(2)実践ベースのアプローチ、が採用されることが多い。理論ベースのアプローチとは、心理学や認知科学的に認められている学習理論や認知理論を基盤として、それらの理論に沿ってシステムの設計・開発を行っていくアプローチであり、実践ベースのアプローチとは、学習/教育の現場を重視し、その現場において現れる様々な要求を分析し、その要求に応えるものとしてシステムを設計・開発していくアプローチである。この両者のアプローチに沿って数多くの学習/教育支援システムがこれまでに設計・開発され、多くの成果があげられているといえる。

しかしながら、学習や教育といった事象は極めて複雑かつ多様性を持ったものであり、個々の事象における実効性と理論の一般性はトレードオフの関係にあることが多い。一般性の高い理論を作り上げるためには、具体的な事象における様々な要因を捨象することが必要であり、出来上がった理論が実際にシステムを設計する上での十分な手がかりを提供し得ない場合がある。このため、理論ベースのアプローチで実現されたシス

テムが個々の事象において実効性を持たなかったり、実効性を発揮するシステムになっている場合においても、その実効性を担っている部分と基づいているはずの理論の関連が希薄になってしまっている、といったことがしばしば見受けられる。また、実践ベースのアプローチにおいては、個々の事象においては実効性のあるシステムが作成されるが、その適用範囲が非常に狭く、またその実効性を他の事象に活かすのが難しい場合が多いといえる。このため、極めて多様な学習/教育の文脈を網羅することは必ずしも簡単とはいえない。

このトレードオフはいわば構造的なものであり、上記の二つのアプローチに限らず、どのようなアプローチを採用したとしても逃れようのないものであるといえる。しかしながら、工学的なシステム作りの立場からすると、ある程度の一般性とある程度の実効性を両立することは、十分意味があると考えられる。つまり、事象において重要な意味を保持する程度の一般化にとどめつつ、そのある程度一般化された「考え」に基づいてシステムを設計・開発するといったアプローチである。ここでの「考え」には、一般性や検証可能性よりも、システム設計における有用性が求められることになる。ここではこの「システム設計を指向した考え」を「設計指向モデル」と呼び、このアプローチを「設計指向モデルベースのアプローチ」と呼ぶことにする。

この設計指向モデルベースのアプローチを批判的に捉えると、その基盤となっているモデルは十分な一般性や検証可能性を持たないいわば「いい加減」なもの

* 広島大学大学院工学研究科情報工学専攻
Department of Information Engineering, Hiroshima University

** 神戸大学海事科学部
Faculty of Maritime Sciences, Kobe University

であり、またシステム設計に対するモデルの有用性を主張する立場から、モデルに基づかない機能はシステムに組み込まないことが基本となり、個々の具体的な事象における実効性も軽視されていることになる。このため、必ずしもわかりやすいアプローチとはいえ、このようなアプローチに沿った研究は必ずしも多くない。しかしながら、学習／教育といった多様で複雑な事象を扱う上で、理論と実践といった両端ではなく、両者の中間的なところから出発し、具体的なシステムを作り出そうという、設計指向モデルベースのアプローチは、十分に試みる価値があると筆者らは信じている。また、設計指向モデルベースのアプローチは決して理論や実践を排除しているわけではなく、出発点を両者の中間的な位置にしているだけであり、両者のアプローチとつなげることにより、実質的なトレードオフの解消につながることも期待できる。

筆者らがこれまで行ってきた知的学習支援システムに関する一連の研究は、設計指向モデルベースのアプローチに沿ったものになっていると考えている。本稿では、それらの研究のうち、「誤りからの学習」を指向した「誤り可視化」の試みについて紹介する。この研究においては、学習者が「誤りからの学習」を動機付けられるためには、学習者自身が誤りに気づくことが重要であると考え、その誤りへの気づきの支援を目的として、学習者の誤りの可視化を試みている。ここでは、学習者が誤りに気づくためには、学習者が知っている事象と、学習者の出した答えや仮説に基づいて得られた事象の間に、学習者が許容できない差異が存在する必要があるとした上で、誤りを含んだ学習者の答えや仮説から学習者が許容できない差異が存在する事象を生成することによる誤りの可視化を試みており、その手法をEBS (Error-Based Simulation) と呼んでいる。

「誤りからの学習」あるいは「誤りに気づく上での差異の存在」の重要性については、学習に関するさまざまな研究の中ですでに指摘されていることといえる。しかしながら、これらの研究は、誤り可視化の重要性を主張する根拠にはなるものの、コンピュータベースの学習支援システムにおける誤り可視化手法の実現には十分な手がかりを与えるものとはいえなかった。学習者の犯す誤りの多様性や、個々の学習者の理解状態

によって有効な誤りの可視化の在り方が違ってくるであろうことを考えると、単に有効な事例を蓄積してゆくといいアプローチも容易ではないと考えられる。そこで筆者らは、誤りからの学習の枠組みを想定し、その枠組みに基づいて誤りの可視化に関する要求仕様を整理し、その仕様に基づいて誤りの可視化機能を設計・開発し、その機能を評価する、といったアプローチで研究を進めてきた。この枠組みと要求仕様が、前述の設計指向モデルであるということが出来る。

以下本稿では、まず、誤りからの学習の枠組みについて述べ、さらに、それを支援する上での「誤りへの気づき」の支援としてどのような方法が存在するかについて検討する。次に、学習支援システムで用いる誤りの可視化手法の一つとして筆者らが研究を進めているEBS (Error-Based Simulation) について紹介する。

2. 誤りからの学習

学習は、なぜなされるのか? 「学習とは知識の受容である」という立場をとれば、知識が伝達され、学習者がそれを受容することで学習は成立するわけであり、知識を伝達する教師が存在し、そして学習者に受容する態度があればよいことになる。これに対して、「学習とは知識の構成である」という立場をとれば、学習者は主体的に知識を構成しなければならない。なぜ、知識を構成する必要があるのであろうか。ピアジェは、「秩序を探求する、活動的で誤りやすい知識の創造者」として学習者を捉えた⁽¹⁾。この立場からすると、知識を構成する動機は、秩序の探求にあることになる。学習の原理を「秩序の探求」とすると、学習活動とは、秩序の乱れを認知し、その乱れを解消すること、と捉えることができる。

「誤りからの学習 (Learning from Mistakes)」とは、「誤り」として捉えることのできる「秩序の乱れ」を取り上げ、その秩序の乱れの認知・回復としての学習に着目したものであり、知識は構成されるものであるという立場からすれば、学習の本質であるということが出来る⁽¹⁾。知識が受容されるものであれば、「誤り」とは、知識の伝達あるいは受容の失敗であり、理想的には回避すべきものである。これに対して、知識が構成されるものであるとすれば、その構成過程にお

いて学習者の知識が不完全（誤りを含む）であるのは必然である。さらに、その知識を修正するためには、その不完全さを学習者に認知させることが必要となる。また、知識の構成が「学習者にとっての秩序の探求」のために行われているとすると、客観的に見ると不完全な知識であっても、学習者自身はその不完全さを認知しておらず、秩序だった状態と認知している場合も考えられる。このような状態を脱却するために、「誤り」は不可欠なものとなる。

しかしながら、全ての誤りが学習へとつながるわけではない。客観的には誤りであることが明らかであっても、学習者にとって主観的には秩序だった状態が保てるようであれば、それは学習へとつながらない。誤りからの学習が生起するためには、学習者自身が誤りを発見し、秩序の乱れを回復すべきものと認識することが必要となる。ここでは、「誤りからの学習」が行われるためには、「認知的葛藤 (Cognitive Conflict)」^{(2) (3)} の生起が必要であるとの立場より議論を進める。認知的葛藤とは、学習者が自分の予想・期待に反する結果や対立する考えを認識し、その差を解消すべきものと考えたときに生起するものである。つまり、「知識を構成・修正することによって、秩序を回復すべき」と学習者が認識している状態が、認知的葛藤が生起した状態である。

認知的葛藤が生起するためには、学習者が誤りに気づかなければならない。ここで、「誤りに気づく」とは、単に誤りであるという指摘を受け入れるという意味ではなく、自身が誤りであることに納得しているという意味である。この学習者による誤りへの気づきを助ける上で、学習者の犯した誤りに対するフィードバックが重要な役割を果たすと考えられる。次章では、学習者自身による誤りへの気づきを促進するようなフィードバックとしての「誤りの可視化」について述べる。

3. 誤りへの気づきの支援

誤りへの気づき方は、大きく分けて二つのパターンがあり得る。一つは、自分の答えと異なる別の答えが正解であることに納得することによって、自分の答えが誤りであることに気づく場合である。もう一つは、自分の答えが条件に合わなかったり、おかしい結果を

導くことを認識することで、自分の答えが適当なものではないことに気づく場合である。ここでは前者を間接的な誤りへの気づき、後者を直接的な誤りへの気づきと呼ぶことにする。

間接的な誤りへの気づきを支援するためには、学習者に自身が出した以外の答えが正しいことを納得させるようなフィードバックが必要となる。通常は単に正解を提示するのではなく、その正解の妥当性を高める様々な説明を行う、あるいは学習者が妥当性に納得できるような手段で正解を導く、といった手段がとられる。「実験してみる」ことは、間接的な誤りへの気づきを支援する典型的な方法であり、認知的葛藤の生起を目的とした Osborne らの実験を通じた学習⁽²⁾ や仮説実験授業などにおける誤りへの気づきは、この方法で支援されている。

「正解の説明」は実現しやすい機能であり、また、十分有効な方法であることも明らかであるので、誤りへの気づきの支援として一般的に用いられているのはこの方法である。しかしながら、この支援では、学習者の誤り自体は説明されておらず、単に否定しているだけであるともいえる。学習者の内発的な誤りへの気づきを生起させるためには、学習者の答えを肯定した上で、その結果としてどのような結論が導かれてしまうのかを示し、そのおかしさに学習者自身に気づいてもらうことが有効とされている⁽⁴⁾。このような誤りへの気づきが直接的な誤りへの気づきであり、学習者に誤答に基づいてどのような結論が導かれるかを示すことが誤りの可視化である。

この誤りの可視化による直接的な誤りへの気づきの支援は、必ずしも特殊なことではない。いわゆる操作型学習環境や環境型学習環境と呼ばれるものにおいては、学習者がある目標に対して、その目標に適さない、つまり誤った操作をしてしまった場合、得たかった結果は得られず、その誤った操作の結果が提示されることになる。このため、このような学習環境においては直接的な誤りへの気づきが得られやすく、「誤りからの学習」が促進されるといえる。DiSessa らによる Dynaturtle⁽⁵⁾ は、この典型例である。

しかしながら、操作型学習環境で可視化できる誤りは、「操作における誤り」でしかない。操作を環境に対するパラメータ入力と解釈すると、環境に対して入

力するパラメータが学習者の目標に対して適していなかったという意味での誤りであり、環境自体は、実際は学習者の入力したパラメータに対して、正しく動作しているだけであるといえる。つまり、学習者にとってはおかしいことが起こっていることになるが、環境としては通常の動きをしていることになる。ここでは、これを「パラメータレベルの誤り」と呼ぶことにする。学習者の誤りがパラメータ間の関係、あるいはパラメータの制約などにおいて現れている場合を考えると、パラメータレベルでの誤りの可視化では対応できない。なぜならば、このような誤り（ここでは、ルールレベルの誤りと呼ぶことにする）は環境の動作原理に関するものであり、正しく環境を動作させることは通常不可能となるからである。たとえば、学習者がある力学系について誤った方程式を立ててしまった場合、通常その誤った方程式は、その系についての他の（正しい）方程式と矛盾してしまい、正しく系の運動を計算することはできなくなる。したがって、ルールレベルの誤りを可視化するためには、このような矛盾を回避する仕組みが必要となる。

さらに、矛盾を回避して誤りの可視化が行えた場合においても、その可視化が誤りを気づかせる上で有効なものになっているかどうか、非常に重要となってくる。正解の説明やパラメータレベルの誤りの可視化においては、気づきへ有効であったかどうかは別として、それら自体も（正しい解法や系の正しい動作であるという意味において）学ぶべき対象であったということができた。これに対して、ルールレベルの誤りの可視化においては、正しくないルールに基づいて正しくない結果が導かれることになる。つまり、学ぶべき対象以外の情報が提示されることになる。筆者らは、誤りへの気づきを助けることができるのであれば、このような情報提示は許容されるが、そのような効果がない場合は学習者を混乱させるだけの結果になりかねないと考えている^(注1)。

筆者らは、ルールレベルの誤りの可視化を目標として、ルールレベルの誤りを取り扱う際に発生する矛盾の回避方法と、生成された可視化表現の誤りへの気づきへの有効性を見積もる方法について研究を進めてきている。以下次章では、力学の立式問題を対象として行われたEBS(Error-Based Simulation)による誤りの

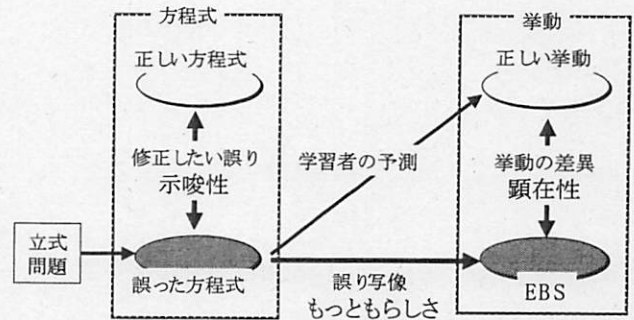


図1 EBSによる誤り可視化のモデル

可視化に関する一連の研究を、EBSによる誤りの可視化の枠組み、およびEBSの有効性の評価に焦点を絞って紹介する。EBSの生成方法については、力学の立式問題に依存した手法が文献⁽⁶⁾において報告されており、また、連立方程式一般の誤りへの拡張については、文献⁽⁷⁾で報告されている。

4. EBSによる誤りの可視化

4.1 EBSによる誤り可視化のモデル

図1にEBSによる誤り可視化のモデルを示した。まず、力学の立式問題に対して学習者が誤った方程式を立てたとする。EBSでは、学習者の立てた誤った式を、物体の挙動の世界に写像する。このようにして生成されたEBSは、学習者の立てた式の挙動における意味を表しており、誤りに対する肯定的なフィードバックとなっているといえる。

誤りの可視化は、正しい挙動とEBSとの差異として実現される。多くの学習者にとって、数式上の差異に比べて、挙動上の差異の方が重要と感じられると考えられ、EBSの提示は誤りへの気づきを促進すると期待できる。ここでは、ある表現上で発生した誤りを、その誤りが顕在化される表現へ写像することを、「誤り写像 (Error-mapping)」と呼んでいる。

EBSは誤った方程式に基づいて生成されるために、必ず誤りを含んでおり、したがって正しい挙動との間に差異を生じる。しかしながら、誤りの可視化を達成する上では、実はそれだけでは不十分であり、その差

(注1) ある種の「喩え」や「思考実験」の持つ効果とリスクに対応すると考えている。これらの情報提示方法の分類整理についてはさらに考察してゆく必要がある。

異が学習者にとって許容できないものであることが誤りに気づかせるために必要となる。本研究では、差異の程度を「顕在性」と呼んでおり、4.2においてより詳細に述べる。また、EBSでは方程式上の誤りを挙動に写像しているが、この際、系の範囲内でのパラメータ変動を行うことで、顕在性の高い挙動を作り出そうとしている。この工夫はEBSによる誤り可視化の可能性を広げる上で有効といえるが、その反面、可視化された誤りが作為的に見られる場合があり、信頼性が落ちることになる。これが誤り写像における「もっともらしさ」であり、4.3において述べる。顕在性ともっともらしさを備えたEBSが提示されれば、学習者が誤りに気づき、誤りからの学習が活性されることが期待できるが、さらに、その学習がスムーズに行われるためには、EBSによって顕在化された差異が、学習者が学習すべきことを適切に示唆しているかどうか重要となる。これをEBSの「示唆性」と呼んでおり、4.4で検討する。以下本章ではEBSの有効性に大きな影響を与えるこれら三つの要因について述べる。

4.2 顕在性

EBSは誤った方程式から生成されるため、必ず正しい挙動との間に差異を生じ、この差異によって誤りが可視化されることになる。しかしながら、この差異が常に学習者にとって気づきを与えるものになるわけではない。たとえば、図2の問題で学習者が方程式Bを立てた場合には、ブロックは斜面を登っていくことになり、誤りが顕在化されることになるが、方程式Cを立てた場合には、ブロックは斜面を下向きに加速しながら進むことになり、挙動において誤りが顕在化されているとはいえない。学習者が気づけるだけの差異を持たない場合にEBSを提示することは、効果がなげばかりでなく、学習者を混乱させることになりかね

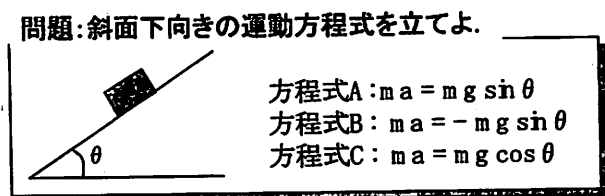


図2 問題例1 (顕在性)

ない。したがって、EBSが誤りを顕在化するだけの差異を伴っているかどうかを判断することは、EBSを運用する上で不可欠であるといえる。

また、方程式Cに対するEBSにおいては、確かに単純にEBSを生成すれば誤りが顕在化されるような差異は生じないが、 θ を変化させることに伴う挙動の変化に注目すると、EBSでは θ を大きくすると加速度が小さくなり、 θ を小さくすると加速度は大きくなる。このため、斜面をきつくすればするほど、ブロックはゆっくりと斜面を下ってゆくことになる。これは正しい挙動とは明らかに異なり、誤りを顕在化する差異であるといえる。

このように、誤りの可視化を実現するためには、顕在性の観点から、(1) 誤りが顕在化されるための条件を設定し、EBSがその条件を満たしているかどうかを診断する、(2) 単純なEBSだけでなく、系の範囲内でのパラメータ変動を加えることで顕在性を伴ったEBSを生成する、といった機能が求められることになる。本研究では、EBSによって誤りが顕在化されると判断するための基準として以下の二つを用いている。

(誤り顕在化条件1) EBSと正しい挙動の間に、速度において定性差が存在する。

(誤り顕在化条件2) EBSと正しい挙動の間に、速度の一階微分量において定性差が存在する。

誤り顕在化条件2では、系に存在するパラメータを変動させ、その変動に伴う速度の変化率の定性差によって誤りが顕在化できると仮定している。時間に対する速度の一階微分量が加速度であり、加速度に定性差がある場合、つまり、だんだん速くなる場合とだんだん遅くなる場合に、誤りが顕在化されるとしている。方程式Cの例では、 θ に対する速度の一階微分量において定性差が現れていることになる。

速度および加速度において定性差が生じるかどうかを診断するために定性シミュレーションの手法を用い、時間以外のパラメータによる一階微分量における定性差を診断するために比較解析の手法を用いたシステムについては、すでに文献⁽⁸⁾⁽⁹⁾で報告している。なお、このシステムでは、速度のみを対象として誤りの顕在化を行っていたが、現在、速度以外の属性を用いて誤りを顕在化するための誤り顕在化属性の拡張、および

	EBS-a		EBS-b	
<p>問い F を求めよ</p>	<p>$m \rightarrow 0$</p>		<p>$m \rightarrow 0$ $M \rightarrow m + M$</p>	
	力の定性値	力の変化率の定性値	力の定性値	力の変化率の定性値
Equation-A: $F = 4mMg/(m+M)$	[0]	[-]	[0]	[-]
Equation-B: $F = (m+M)g$	[+]	[-]	[+]	[0]
誤り可視化条件-1	○		○	
誤り可視化条件-2	×		○	

図3 問題例 2 (もっもらしさ)

誤りを顕在化するために行うパラメータ変動の手法の拡張を進めている。この拡張に伴って、顕在化条件中の「速度」という言葉が、「誤り顕在化属性」という言葉に置き換えられている。

4.3 もっもらしさ

誤りの顕在性だけを考慮した場合には、有効な EBS には、(二つの誤り可視化条件を満たしている) > (誤り可視化条件 1 を満たしている) > (誤り可視化条件 2 を満たしている) といった優先順位をつけることができる。しかしながら、学習者の誤りへの気づき、という観点からすると、単に EBS が正しい挙動と大きな差異を持っているというだけでなく、その差異の顕在化がもっもらしさを伴っていないということがいえる。このことを図 3 の例を用いて説明する。

図 3 の問題に対する正解は、 $F=4mMg/(m+M)$ であるが、 $F=(m+M)g$ という誤答が良く見受けられる。この誤りを速度を使って顕在化することはできない。そこで、ここでは「力」を顕在化属性とし、その力を「矢印」のメタファを用いて顕在化することを試みる。単純な EBS では力の矢印を用いても誤りを顕在化できないので、パラメータの変動を行い、その変動に伴う力の変化によって誤りを顕在化する。EBS-a は、 m を 0 とするパラメータ変動を加えた場合であり、正しい式に従えば 0 となる F が、 Mg となり、力において定性差が生じている。したがって、誤り顕在化条件 1 を満たす EBS となっている。変化率については共に負であり、定性差は生じていない。

これに対して、EBS-b は $m+M$ の総量を保存しながら m を 0 とする、というパラメータ変動手法を用い

EBSの効果			
顕在性		もっもらしさ	
誤り顕在化属性	誤り顕在化条件	変動対象パラメータ	パラメータ変動手法
メタファ不必要 ↑ メタファ必要	誤り顕在化条件(1)&(2) ↑ 誤り顕在化条件(1) ↑ 誤り顕在化条件(2)	メタファ不必要 ↑ メタファ必要	原型 ↓ 摂動法 ↙ ↘ 摂動法(保存) 境界値法 ↘ ↙ 境界値法(保存)

図4 顕在性ともっもらしさについての要因と局所優先順位

た場合であり、 F は 0 にならないだけでなく、変化率も 0 となる。このため、二つの誤り顕在化条件を満たすことになり、EBS-b の方が EBS-a よりも顕在性において優れているということになる。しかしながら、どちらの EBS が誤りを指摘する上で有効と思うかに関するアンケート調査を実施したところ、むしろ EBS-a の方が有効とする回答が多かった。

EBS-a の方が有効とする主な理由としては、EBS-b において加えられたパラメータの変動操作が作為的に見えることが挙げられていた。つまり、元の状況設定との相違が大きく見えると、たとえ誤りがより顕在化されたとしても、そのもっもらしさが低下するため、誤りに気づかせるために有効とは判断されていないことを意味している。

図 4 は、EBS における顕在性ともっもらしさに関連する要因をまとめたものである。誤りの顕在性は、誤り顕在化属性と顕在化条件の二つの要因から決まる。また、もっもらしさは、変動対象パラメータとパラメータ変動手法から決まってくる。そして、それぞれの要因内では、局所優先順位を定めている。この整理は EBS を運用する上での基盤を提供するものであり、実際にどの EBS を用いるのが有効であるかを決定するためには、さらに学習者の理解状態や学習の文脈などを考慮することが必要となる。もっもらしさについての研究成果は、文献⁽¹⁰⁾において報告している。

4.4 示唆性

顕在性ともっもらしさを備えた EBS を提示することができれば、学習者に誤りに気づかせ、誤りからの学習へ動機付けることができると期待できる。しかしながら、顕在性ともっもらしさは、誤りの修正を

直接考慮したものではなく、EBSによって提示した差異が誤り修正への手がかりを与えているかどうかは、別途考慮すべきこととなる。ここでは、EBSが誤り修正への手がかりを与えているかどうかを「示唆性」と呼んでおり、EBSの有効性に影響を与える三つ目の要因としている。

EBSにおいて提示される差異は、学習者に何らかの「原因」を示唆する。たとえば、ある物体が正しい挙動と反対の方向に進んでいるとすると、その反対方向への力の存在、あるいは、正しい方向への力の欠落、などが示唆されることになる。この示唆が、誤りの原因と一致していれば、学習者による誤りの修正は、容易に進むことが期待できる。示唆されるものと、誤りの原因が一致していなければ、EBSは動機付けとしては利用できるものの、誤り修正への手がかりとしては利用しにくく、別途正しい方向への誘導が必要となる可能性が高い。本研究では、EBSが提示する差異とその差異が示唆する誤り原因を整理し、誤り原因可視化基準を設けて、この基準に基づいて示唆性を判断している。また、この基準を用いるためには、誤り原因を同定することが必要となるが、これについては、(1) 方程式だけでは情報が不足することから、作図も含めた情報が得られることを前提として、(2) 正解と学習者の解答との差分から、誤り箇所とその症状を特定し、(3) 症状とその原因となる誤概念を対応付けるルールを用意しておき、そのルールとの照合で誤り原因を同定する、といった仕組みを実現している。示唆性についての研究成果は、文献⁽¹¹⁾で報告している。

本章ではEBSの枠組みと運用する上で考慮しなければならない要因を挙げた。しかしながら、現在のところ、それらの要因を踏まえたうえで適当なEBSを選択する方法については、十分な検討ができていない。この方法を明らかにするためには、課題の性質や学習者の理解状態、およびもっともらしさや顕在性に関する学習者の傾向などを考慮する必要があると考えられるが、これらの今後の課題となっている。

5. まとめ

本稿では、学習/教育支援システムの設計・開発における主なアプローチとして、「理論ベース」と「実

践ベース」の二つがあることを述べた上で、第三の選択として「設計指向モデルベース」のアプローチが存在することを指摘した。さらに、このアプローチの実践例として、誤りからの学習の支援を目的とした誤り可視化手法であるEBSに関する一連の研究を紹介した。

このEBSに関する研究は、「学習者の誤答から挙動を生成すれば、その挙動のおかしさによって学習者が誤りに気づいてくれるであろう」という素朴なアイデアから出発したものである。まず、力学の立式問題に依存したEBSが作成され⁽⁶⁾、さらに生成されたEBSを運用するための要因である、顕在性⁽⁸⁾、もっともらしさ⁽¹⁰⁾、示唆性⁽¹¹⁾についての研究を進めてきた。さらに、EBSで取り扱える誤りの対象を連立方程式一般に拡張する試み⁽⁷⁾、EBSを基盤とした思考実験シミュレータの枠組みの提案⁽¹²⁾、EBSによる誤り修正促進効果についての実験的検証（日本教育心理学会発表予定）、などを進めている。また、筆算⁽¹³⁾、英作文⁽¹⁴⁾、デッサン⁽¹⁵⁾を対象とした誤りの可視化の試みも行っている。

これらの研究の各段階においては、まず何らかのモデルを設定し、そのモデルにおいて解決すべき課題およびその課題の解決法を位置づけることを重視してきた。その一方で、実践的な効果を示すことや、設定したモデルの検証といったことは、後回しになってきたといえる。「学習」という事象は極めて多様であり、また、その活性化に関してはまだ検証や抽象化が行われていない素朴なアイデアや方法に満ちているといえる。そして、これらのアイデアや方法のうち、計算機というインタラクティブな道具によって初めて学習の活性化の方法として具体化できるものも数多く存在すると筆者らは考えている。このような領域においては、必ずしも実践的な効果や検証可能性にこだわらず、アイデアや方法についてのある程度抽象化されたモデルを構築し、そのモデルに基づいてシステムを設計・開発してゆくといった設計指向モデルベースのアプローチは、「システム作り」の立場から独創性や創造性を発揮するためには、十分有望なアプローチといえるのではないかと筆者らは考えている。

(2004年3月19日 受付)

参 考 文 献

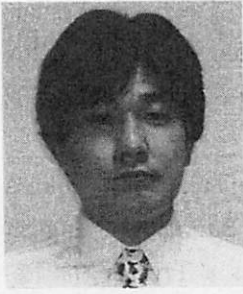
- (1) Perkinson, H. J.: 誤りから学ぶ教育に向けて, 剋草書房 (2000)
- (2) Osborne, R., Freyberg, P.: 子ども達はいかにして科学理論を構成するか, 東洋館出版社 (1988)
- (3) Glynn, S. M., Yeany, R. H. & Britton B. K.: The Psychology of Learning Science, Lawrence Erlbaum Associates (1991)
- (4) 藤井齊亮: 数学学習と認知的コンフリクト, 学校数学の授業構成を問い直す (日本数学教育学会編), pp.122-134 (1997)
- (5) diSessa, Andrea, A: Unlearning Aristotelian Physics: A Study of Knowledge-Based Learning, Cognitive Science, Vol.6, No.1, pp.37-75 (1982)
- (6) 野田尚志, 平嶋宗, 柏原昭博, 豊田順一: 力学における誤り修正支援を目的としたフェイクシミュレーションの提案, 人工知能学会誌, Vol.10, No.4, pp.641-646 (1995)
- (7) Tomoya Horiguchi, Tsukasa Hirashima: PCA: Simulating Erroneous Equations for Error-Visualization, Proc. of ICCE2002, pp.552-556 (2002).
- (8) 堀口知也, 平嶋宗, 柏原昭博, 豊田順一: 定性推論技法を用いた誤り可視化シミュレーションの制御, 人工知能学会誌, Vol.12, No.2, pp.285-296 (1997)
- (9) Hirashima, T., Horiguchi, T., Kashihara, A. & Toyoda, J.: Error-Visualization by Error-Based Simulation and Its Management, International Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol.9, No.1-2, pp.17-31 (1998)
- (10) 堀口知也, 平嶋宗: 誤りへの気づきを支援するシミュレーション環境, 教育システム情報学会誌, Vol.18, No.3, pp.364-376 (2001)
- (11) 堀口知也, 平嶋宗: 誤りの修正を支援するシミュレーション環境-誤りの示唆性を考慮したEBSの制御, 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.4, pp.462-472 (2002)
- (12) T. Horiguchi, T. Hirashima: A Computational Framework of Thought Experiment Environments, Proc. of ICCE 2003, pp.1074-1078 (2003)
- (13) Tsukasa Hirashima, Akira Takeuchi: Visualization of Bugs in Subtraction with Block-Box Model, Proc. of ED-MEDIA2003, pp.777-783 (2003)
- (14) Hidenobu Kunichika, Akira Takeuchi, Tsukasa HIRASHIMA: A Method of Supporting English Composition by Animations as a Trigger for Reflection, Proc. of AIED2003, pp.29-36 (2003)
- (15) N. Matsuda, S. Takagai, M. Soga, T. Hirashima, T. Horiguchi, H. Taki, T. Shima, F. Yoshimoto: Tutoring System for Pencil Drawing Discipline, Proc. of ICCE2003, pp.1163-1170 (2003)

著 者 紹 介



平嶋 宗

1986年大阪大学工学部卒業, 1991年同大学院博士課程修了, 同年大阪大学産業科学研究所助手, 1996年同講師。1997年九州工業大学情報工学部助教授, 2004年より広島大学大学院工学研究科教授。人間を系に含んだ計算機システムの高度化に興味を持っており, 特に知的学習支援システムおよびユーザモデルを用いた情報フィルタリング・情報整理支援の研究に従事している。工学博士。1993年人工知能学会全国大会優秀論文賞, ED-MEDIA95優秀論文賞, 1996, 1998, 1999年度人工知能学会研究奨励賞, ICCE2001, ICCE2002優秀論文賞, 2003年度人工知能学会優秀研究賞, 2003年度ゲーム学会ゲーム作品コンペティションアカデミック部門優秀賞受賞。人工知能学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 教育システム情報学会, 教育工学会, 日本教育心理学会, IAIED, APSCE, AACE 各会員



堀口 知也

1987年早稲田大学工学部電気工学科卒業。1989年同大学院修士課程修了。1997年大阪大学大学院博士課程修了。同年、神戸商船大学講師。2001年同助教授。2003年神戸大学海事科学部

助教授。工学博士。知識工学の教育応用に興味を持ち、知的学習支援、情報可視化システムの研究に従事。1996年度人工知能学会研究奨励賞，2002年度人工知能学会研究会優秀賞受賞。人工知能学会，情報処理学会，教育システム情報学会，日本認知科学会，日本教育心理学会各会員。