

「力学における問題理解過程のモニタリング」

5U-10

広瀬 賢太郎 平嶋 宗 柏原 昭博 豊田順一

大阪大学産業科学研究所

1. はじめに

学習者の問題解決過程の誤りを修正する手法として、従来はその誤りを直接的に指摘する手法が多く用いられてきた。例えば「問題解決のこの部分が間違っている」あるいは「あなたの持っているこの知識は間違いである」と学習者に提示する等である。これらは、学習者の誤りを修正するための最も基本的な方法である。しかし、これらの手法は学習者に強制的な誤りの認識と修正を強いていると考えられるため、誤りの修正に対する深い理解を得るには必ずしも適切ではないと考えられる。つまり、誤りを知らせることは出来ても何故誤っているのかを学習者に理解させることは困難であり、また、学習者も誤りを誤りであると感じにくい。誤りに対する深い理解を得る一つの方法として学習者の誤りの自己認識と自己修正を促進する方法がある。学習者自身に誤りを気づかせ修正させることにより、学習者が誤りに関して深く理解することが期待できる。しかし、多くの場合、誤りの自己認識や自己修正は自然には起こりにくいいため、それを起こす方向に学習者を支援する必要がある。

誤りの自己認識と自己修正を促進する方法として、反例が用いられることが多い[1]。本稿では、反例を用いて、自己認識、自己修正促進手法の1つとして、学習者の行った不適切な問題解決よりその問題解決が成立するような問題を復元し、その復元された問題と元の問題との差異に気づかせる手法(Reconstruction of Justifiable Problem for Error Solution :JES)について述べる。さらに、この様な反例の生成を指向した学習者の誤りを診断するための問題解決過程のモデルについて述べる。

2. 誤りの自己認識と自己修正の支援

学習者に誤りの自己認識と自己修正を行わせるのに有効な1つの手段として、学習者の誤りに対する反例となる問題を与えて解かせることが有効となる。ここでは、学習者の誤りが、多くの場合、全くのたまためというわけではなく知識の適用の誤りと解釈できることに注目し、学習者が誤りを犯したときに学習者の行った問題解決を適用して正しく解ける問題を復元し、それを反例として用いる方法(JES)を提案する。この手法では、学習者に、復元された問題と元の問題との間に差異が存在するにもかかわらず同じ方法で解けることに注目させることで、誤りの自己認識と自己修正の動機づけを提供することができる。また、誤った問題と復元した反例との差の論理的説明も生成出来る。例えば、図1のような斜面の問題を考える。問題は斜面のどの高

さで質点は止るかとする。ある学習者が摩擦力を考慮に入れず問題を解いたとしたときに、この学習者に対する反例は、質点と台の間の摩擦が無い問題となる。この反例により、学習者がこの問題における摩擦に注目させることが出来ると考えている。

反例を用いて誤りの自己認識、自己修正を促す他の方法としてソクラテス式教授法がある。この方法は、学習者に対して、学習者が正しい解を知っている(又は正しく解くことの出来る)問題の内、元の問題において学習者が行った問題解決方法を適用すると誤った解が得られてしまう問題を、反例として用いている。この反例を用いて、学習者に反例の正しい解と誤った解との差に注目させることにより、誤りの自己認識と自己修正の動機づけを提供することができる。つまり、ソクラテス教授法では、反例が学習者の問題解決により誤った解が得られることで、学習者の知る(又は推論できる)反例の正しい解と誤った解との比較を学習者に行わせるのに対し、JESでは、反例が元の問題では誤っている問題解決によって正しく解が得られることにより、元の問題と反例との比較を学習者に行わせることが目的となる。これを図式化すると図2のようになる。

本研究では、具体的には力学の領域を対象としている。力学の問題解決過程の中で、立式を行うまでの問題の定式化段階に注目して、定式化段階における誤りに基づく問題の復元をおこなう。力学において物理現象に対する式を立てるといえることは、物理現象を理解することと等しいと考えられる。そのため、力学の問題解決においてこの立式段階が重要であり本質であると考えられる。しかし、立てられた等式からだけでこの立式過程を診断するには情報が不足しすぎる。そのため、力学の問題解決過程のモ

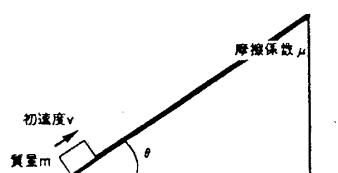


図1 力学問題

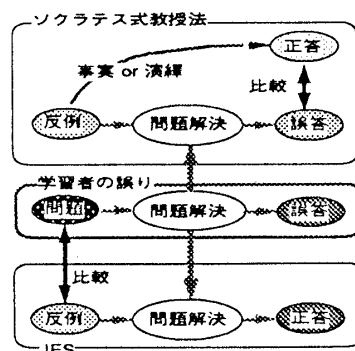


図2 ソクラテス式教授法とJESの違い

Monitoring of Problem Solving Process for Mechanics  
K. Hirose, T. Hirashima, A. Kashihara, J. Toyoda  
The Institute of Scientific and Industrial Research,  
Osaka University  
8-1 Mihogaoka, Ibarakishi, Osaka 567, Japan

デル化を行い、そのモデルに基づいて学習者に立式を行うための環境を提供する。このモデル化は、力学の専門家の立式を目的とした問題の分類に関する研究結果に基づいている。この研究では、初級者に問題解決を行わせると初級者が専門家と同様な問題解決を行うようになることが報告されており[2]、本環境を用いて立式を行わせると自体も教育的効果が期待できる。この環境上での学習者の振舞いをモニタリングすることにより立式段階の診断を実現する。

### 3. 問題解決過程のモデル化

力学の問題解決過程は、立式の観点から系選択段階、原理選択段階、原理具体化段階、代数処理段階の4つの段階に分けることができる。系選択段階は、問題により与えられた物理系から式を立てるための部分的な系を取り出す段階である。この段階により、注目する物体、物体に関する座標系、注目する座標軸が決定される。この段階における誤りは、決定する系の項目について理解していないか、または問題を解くために必要な系の取りだしが出来ない場合が考えられる。この決定された系に適用可能な物理原理は複数存在する。ここで物理原理とは、例えば $\Delta E=W$ として表わされる「仕事とエネルギー」といった、1つの等式として表現されるものをさす。原理選択段階では、この適用可能な複数の物理原理から問題を解くために必要な物理原理を選択する。この段階における誤りも同様に、物理原理について学習者が理解していない場合と、問題を解くために必要な物理原理を選択出来ない場合が考えられる。原理具体化段階は、選択された物理原理を決定した系に適用させる段階である。この段階において、等式のそれぞれの項が決定された系に応じて決定されていく。この段階における誤りは、選択した原理と問題により与えられる物理系との対応がとれない場合である。本研究で扱う立式過程はこの3つの段階で構成される。この3つの段階により1つの等式が得られることになる。問題を解くために2つ以上の等式が必要となる場合には、等式の数だけこの3つの段階を繰り返す必要がある。

代数処理段階では、先の立式過程により得られた一つまたは複数の等式と問題で与えられた変数の対応を取り、解を求めるための式変形などを行う。これにより問題の解が得られることになる。

## 4. 誤りの診断と反例の作成

### 4.1 学習者の立式過程の診断

問題の立式過程のうち物理原理選択段階と物理原理具体化段階のモデルは、専門家の立式を指向した問題の分類を元に分類木として表現している[2]。物理における式は物理現象を記述したものであり、式を立てるという行為は物理現象を特定する行為と対応づけることができる。立式を指向した問題の分類は、問題に含まれる現象の分類とみることができ、分類の結果として式が特定されることになる。したがって、立式過程を分類木上の分類操作と捉えることは妥当であるといえる。

分類は、大まかには、物理の基本原則からそれを具体化するような方向で分類をおこなっている。そして、この分類木の幹から葉までのルートが立式過程の物理原理選択段階と具体化段階となる。学習者にこの分類木のノードをトレースさせ、それを観察することにより、学習者の問題解決過程をモニタリングすることが出来る。学習者の誤りはノードの選択の誤りとして現われ、システムが持つ正しい選択との比較により診断出来る。系選択段階は、物体、物体の座標系、座標軸をシステムで準備する物体において自由に選択することが出来るようにしている。

### 4.2 反例の作成

ここで作成する反例は、学習者が誤った問題を変換することにより作成する。これにより誤った問題と反例との差が学習者に理解し易くなると考えられる。また、学習者に対する多様な問題を準備する必要がなくなる。またこの問題の変換は、問題中の物体の属性（初期速度、摩擦係数など）の変更のみを行うことにする。物体自身の変更（物体の増加減少など）は現時点では扱っていない。これは今後の課題である。

反例は学習者の誤った問題解決と問題により与えられた物理系との関係から2つの種類に分けられる。一方は、誤った問題解決と問題の物理系が一致（設問が異なれば誤った問題解決が正しくなる。ここで設問とは問題中の物体のどの属性を解として求めるかという問題のことをいう。）する場合の問題であり、他方は、不一致（どのような設問でも誤った問題解決が正しくならない。例えば摩擦力がある物理系で摩擦力を使っていない。）場合である。一致する場合は問題中の設問の変更だけでも問題の変更が可能だが、不一致の場合には問題の物理系の変更を行わなければならない。系選択段階、原理選択段階においては、どのような系の選択、原理の選択も問題の物理系と一致するため、後者の場合は存在せず前者の場合のみと考えられる。逆に原理具体化段階においては、誤りが問題解決過程と問題の物理系の対応がとれないということなので、前者の場合は存在せず後者の場合のみと考えられる。

## 5. まとめ

本稿では、誤りの自己認識と自己修正を支援するための、学習者の問題解決の誤りに基づく反例の作成について検討し、反例の生成を指向した学習者の問題解決過程のモデルについて述べた。今後、支援環境の作成、および評価を行っていく。

### 参考文献

- [1] 島崎克也, 奥畑健司, 阪根謙一, 野村康雄, 太田義一, 池田満, 溝口理一郎: "ITSのための汎用フレームワークFITSにおける教授戦略の運用法", 人工知能学会誌 Vol. 8 No.2 pp.212-221 (1992)
- [2] Robert J.D., William J.G., Pamela T.H., Jose P.M.: "Constraining Novice to Perform Expertlike Problem Analyses: Effect on Schema Acquisition", The Journal of the Learning Sciences, Vol.2 No.3, pp.307-331 (1992)