

作問学習のモデル化 A Model of Learning by Problem-Posing

平嶋 宗
Tsukasa Hirashima

広島大学大学院工学研究科
Faculty of Engineering, Hiroshima University

Abstract: This paper describes a model of learning by problem-posing. Problem-posing is a promising method to promote students to deeply comprehend their own problem-solving, knowledge used in the process or the problem itself. However, it is not easy to apply the problem-posing to practical situation in usual school, because it required highly individual treatment. In the problem posing, students usually make various kinds of problems, and teachers should check each of them and advice each student individually. Therefore, intelligent learning environment is a promising approach to realize this learning. The model describe in this paper is used to design and discuss the learning environment for problem-posing.

1. はじめに

問題作りの経験者であれば、その活動自体が対象領域についてのより深い理解に貢献する、あるいは解いているだけでは気づけなかった問題の意義や面白さを発見できる、といったことを実感として知っているであろう。ポリアは、「問題を変更して新しい問題を作ってみる」ことが問題を理解し、解決する上で、非常に重要な役割を果たすことを指摘している[Polya 54]。『問題から問題へ』[竹内 84]あるいは『What-If-Not』[Brown 93]といった指導法は、「作問学習」の具体化であるということが出来る。これらの試みも含めて、作問が学習の方法として有効であることは、様々な研究を通してすでに確認済みであるといえる。

しかしながら、現実には、作問学習が教育の現場でよく行われているとは言いがたい。この最大の原因は、「学習者によって作られた問題の評価」が困難なことであると筆者は考えている。問題解決の場合であれば、その解答は一意に決まると考えてよいので正誤判定は簡単であり、また、間違っている場合においても、学習者を導くべきゴールは一意に定まっている正解である。これに対して作問の場合では、多様な正解が存在するため、(1)正誤判定、(2)修正ゴールの設定、(3)問題の質的診断、といったことが大きな課題となる。まず、学習者の作った個々の問題を吟味してみなければ、その問題の正誤を判定することはできない。また、学習者の作った問題が、不適切なものであった場合にも、一意に決まる正解が無いので、どの問題に誘導するかは、学習者の作った問題がどのように不適切であったかに依存する。さらに、作られた問題が正しい問題と判定された場合でも、その問題の質、たとえば、簡単な問題と、複雑な問題、を区別することが、適切なフィードバックを与える上で必要となってくる。

ポリアは問題解決の文脈において「問題を作ることを論じており、作った問題の評価するのは作成者自身であった。これをSelf-Assessmentと呼ぶことにする。熟練した問題解決者は高度な問題変更および問題評価の能力を持っていると思われる。しかしながら、教育の文脈では、問題作成者である学習者は学習途上にあり、したがって、問題の適切さを判断する能力に欠けることがあると想定される。このため、Self-Assessmentだけに頼ることはできない。教師が作られた問題の評価する(Teacher-

Assessment)ことができればよいが、複数の学習者に個別に対応することは不可能であり、いくつかを代表例として取り上げて、評価・説明するといったことが現実的な対応となる。学習者同士に作った問題を交換させ、評価させあう方法(Peer-Assessment)は、協調学習の効用も期待でき、有効性を高いと思われるが、どのように学習者同士を組み合わせるのか、そこで行われるインタラクションの質をどのようにして保証するのか。などの問題点が残ることになる。

このような考えのもと、筆者は、学習者の作った問題の自動診断(Agent-Assessment)について研究を進めてきた[平嶋 05]。この四つの診断の精度とコストの関係を図1に示した。以下本稿では、算数の文章題を対象とした Agent-Assessment の実現例について紹介する。

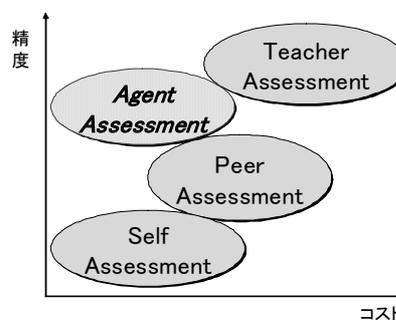


図1 各診断法の精度とコスト

2. 作問学習

2.1 問題の定義

本稿では、「問題=問い+所与情報」と定義する。所与情報から問いを導く手段が、解法となる。作問とは、適切に問いと所与情報を定める課題ということになる。この作問課題は、どのような情報をあらかじめ与え、また、制約条件とするかによって、さらにいくつかの形態に分類することができる。本稿で紹介するMONSAKUでは、解法を制約として定めておき、その解法を適用できる問題を作るといった、解法ベースの作問、を対象としている。

2.2 作問学習の効果

解法とは、ある特定の要件を満たした問題を効率的に解くための一連の操作である。これは、より詳細な操作のチャンク化によって構成されると考えることができ、また、この解法とそれを適用するための要件判定までの操作を含めた一塊の知識が問題スキーマであるといえる。一連の問題解決操作を解法として保持していることは、問題解決をより効率的・正確に行う上で非常に有用であり、適切な解法を適切に用いることができるようにすることが、問題解決演習の主な目的であるといえる。

しかしながら、問題解決演習においては、なぜその解法が成立しているのか、なぜその問題に対して適用可能なのか、といったことは必ずしも考える必要がない。このため、解法は使えるが、それ自体については理解していないといった状態が現れる。この状態は、しばしば「道具的理解」と呼ばれる。これに対して、解法がなぜそのように構成されており、なぜそのような問題に対して使えるのかまで知っていることを「関係的理解」と呼ぶことがある。道具的理解では、その理解したものの応用が難しくされており、たとえば、例題は解けるが応用問題は解けない、あるいは出題範囲の限定されている場合は対応できるが、広くなるとうまく使えなくなる、といった現象は関係的理解が十分でないため起こると考えることができる。

道具的理解に留まってしまう、あるいはそれで十分と学習者が考えてしまうのは、問題解決演習において学習者に与えられる問題が、「直近に学習した内容を用いれば、必ず解ける」という制約のもとでの問題解決であるからである。このような制約も含めて問題スキーマを構成すると、当該の問題解決演習では破綻しないものの、不完全な問題スキーマが形成されることになる。たとえば加減で解ける算数の文章題で考えると、足し算しか習っていない学習者にとっては、数字が二つ出てくれば、問題文の記述がどうあれ足すことになる。また、引き算まで習った場合には、引き算であると判断すれば、大きな数字から小さな数字を引くことで解決できるはずである。さらに、まだ逆思考の問題（問題文が表す事象の結果が答となる問題が順思考問題であり、事象に対応する演算がそのまま答を求める演算となる）を習っていない学習者にとっては、問題が減る意味であれば、引き算であり、合わせるという意味であれば足し算となる。

問題を作る、という行為は、この問題スキーマ／チャンク化された解法の再構成を促す作業であり、関係的理解の促進につながると期待できる。また、この際、原理原則から再構成するのではなく、自身の行っている問題解決に対する振り返りとして行われることから、学習者に問題解決や知識をメタ認知させるための方法として位置づけることができる。

したがって、作問学習の効果としては、(1)既存知識についての関係的理解の促進、とともに、(2)自身の問題解決や知識に対するメタ認知の経験とその能力の促進、も期待も期待でき

るといえる。

2.3 統合としての作問

学習者が自然言語で自由に問題を表現する、というのが最も自然な作問といえる。しかしながら、そのようにして作られた問題を計算機処理することは現在の技術では極めて困難であるといえる。さらに、学習者にとっても、自由に作れることは必ずしもよいことではないといえる。作問学習の効果を、問題の満たす要件／問題の構造の理解、と考えると、自然言語で表現させることは必ずしも必要な作業とはいえない。したがって、作問において作問学習の意義を保持しながら、システムにとっても学習者にとっても有用な制限を設けることが、Agent-Assessment を実現するアプローチを本研究ではとっている。

算数や数学など文章題の問題解決過程は、(1)個々の文の解釈・命題化(Transformation)、(2)問題文としての統合(Integration)、(3)解法の選択・構成(Plan)、(4)解法の実行(Execution)、の四つの段階で捉えることができるとされている(図2)。さらに、この中でも文章題において本質的となるのは、統合の段階であることも指摘されている。作問学習支援システムの一つである MONSAKUN では、学習者は予め与えられている「単文カード」群から、必要なものを選択し、適切な順序で並べることによって問題を作成する。なお、加減算の問題を構成する単文は、(I)存在文と(II)関係文の二種類があり、関係文はさらに、(II-a)変化文と、(II-b)比較分、(II-c)合併文、に分けて用意されており、これらの組み合わせとして生成される問題は、一般的に教科書等に掲載されている問題とは若干文構成が異なっているものの、実践運用の結果としては教師および学習者に受け入れられていることが確認できている。

この作問方式を図2のモデルに対応付けると、「統合としての作問」は、単文を作成する段階を単文の解釈、つまり変換段階として置き換えて、統合段階は、取捨選択を必要とするより複雑な作業を行わせることと解釈できる。文章題に取り組む学習者は、単文の解釈の十分な能力を持ち、算数の問題としての理解に取り組んでいると考えると、この作問形式は、取り組むべき段階に焦点を当てたものとなっているといえることができる。統合としての作問の過程については、次節において具体的な作問作業の示しながら説明する。

3. 作問学習支援システム:MONSAKUN

本章では、まず、単文統合としての作問を行わせる作問学習支援システムである MONSAKUN におけるインタフェース上での作問作業を示す。ついで、その作問において学習者が行うべきタスクのモデルを示す。MONSAKUN は加減算の単一演算事象を対象とした順思考問題の作問に関しては、すでに数年に渡る実践実績があり、(I)本システムを用いて小学校低学年が積極的に作問を行えること、(II)学習者および教師が本システムによる作問を学習活動として受け入れていること、(III)問題

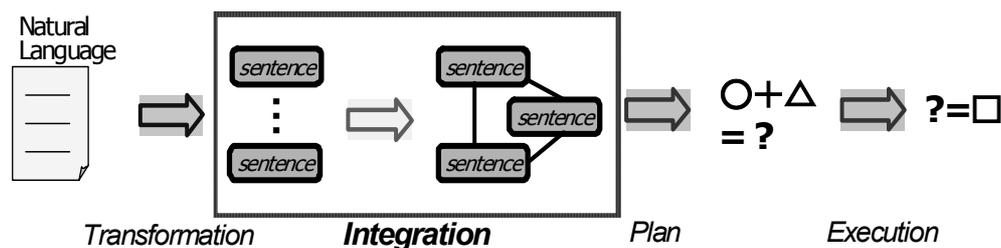


図2 問題解決過程のモデル

解決能力を向上させる結果が見られること、がすでに確認できている[横山 07,Hirashima 07]. 加減算の単一演習事象の範囲での逆思考問題の作問支援への拡張についても既に実装されており、小学校での試験的運用を終えて、その結果を分析中である。これらの結果は、単文統合としての作問学習が十分有用であることを示している。ここでは「単文」を部品として完成品である問題を組み立てさせているが、これを一般化し、対象物を部品に分解し、それを再構成させることで、対象の理解を図る、といったより一般的な学習法(Kit-Build 方式)として定式化することが今後の一つの目標となっている。

3.1 作問インタフェース

MONSAKUN のインタフェースを図3に示した。学習者には、問題と解くときに用いる計算式(図1では $2+7$)と、問題の型(この場合は、「あわせていくつ」であり、合併問題と呼ばれるものである)が与えられ、これらの満たすように問題を作ることが学習者にとっての作問課題となる。インタフェース右側には単文カードが提供されており、そこから必要なものを選んで、適切な順序で左側の空欄にはめ込んでいく。導入段階ではこの空欄のいくつかはあらかじめ埋められており、一つあるいは二つの空欄を埋めるといった作問課題も提示される。また、計算式とカード群から複数の問題を作成するといった課題も学習者の学習進度に応じて提示される。

作成された問題は、(1)オブジェクト照合、(2)文型照合、(3)数値照合、(4)関係式照合、(5)計算式照合、の手順で診断され、それぞれの段階で間違いがあった場合には、学習者に対して誤りであることと、その段階についての指摘が行われる。現時点では、正しい作問への誘導は行っていない。

3.2 作問タスクのモデル

本研究では、逆思考逆演算まで含んだ加減算の文章題の作問タスクを、計算式決定タスク、関係式決定タスク、物語構造決定タスク、問題文決定タスクの四つのタスクによる構成されるものとして図4のように図式化している。これらは必ずしもこの順序で行われるわけではないが、これらのタスクを適切にかいけつすることが正しい作問に必要となる。また、これらのタスクにおいて満たすべき制約を満たしていない場合に、不適切な問題が作られると考えることができる。逆思考逆演算の範囲まで含んで実装・実践した作問学習では、このタスクのモデルに基づいて学習者に与える作問課題の系列が設計されており、また、その

実践において収集された誤った問題は、このタスクモデルに基づいて分析している。

4. おわりに

本稿では、計算機による知的学習支援の対象としての作問学習の定式化を述べ、算数の加減算の文章題を対象とした作問学習支援の事例を概説した。問題解決が演習として意義のある領域では、解く対象となっていた問題を作ることの意義は存在するはずである。問題を作る、という高度な学習活動を計算機の手を借りることでより身近で一般的な活動とすることが本研究の目標である。

参考文献

[Brown 93]Brown, S., and Walter, M.: Problem Posing: Reflections and Applications. L.E.A., New Jersey (1993).
 [平嶋 05]平嶋宗:「問題を作ることによる学習」の分類と知的支援の方法”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.20, No.3, pp.3-10 (2005).
 [Hirashima 07] T. Hirashima, T. Yokoyama, M. Okamoto, A. Takeuchi, "Learning by Problem-Posing as Sentence-Integration and Experimental Use", Proc. of AIED2007, pp254-261(2007).
 [Polya 54]Polya, G.:いかにして問題を解くか. 丸善株式会社(1954).
 [竹内 84]竹内, 沢田:問題から問題へ, 東洋館出版社(1984)
 [横山 07]横山, 平嶋, 岡本, 竹内:単文統合による作文を対象とした学習支援システムの長期的利用とその効果”, 日本教育工学会論文誌, Vol.30, No.4, pp.333-341, (2007).

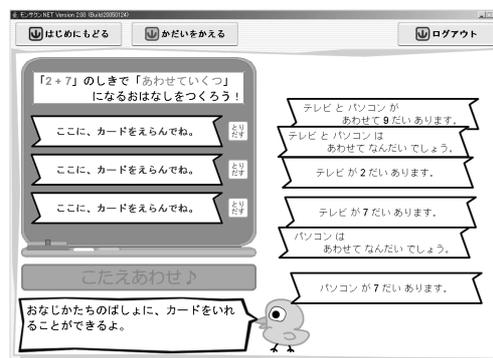


図3 MONSAKUN のインタフェース

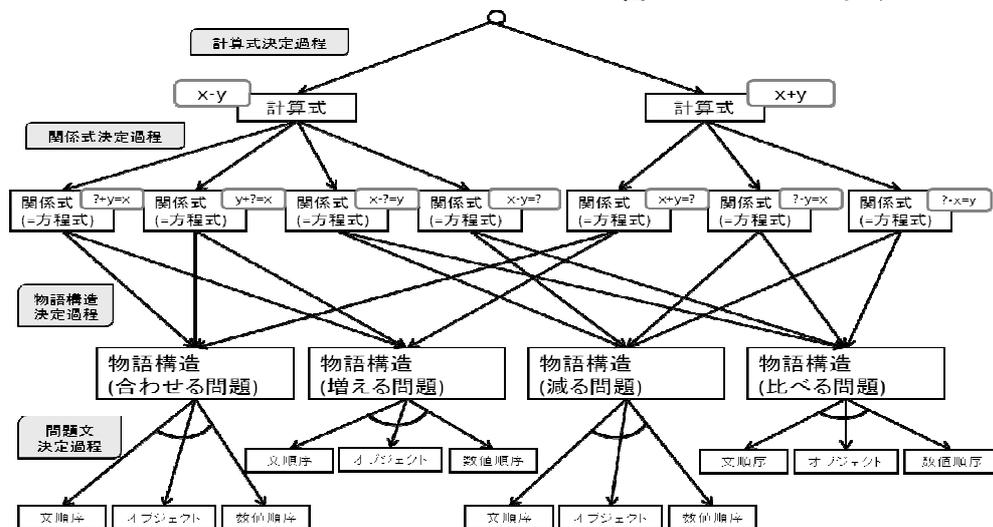


図4 作問タスクのモデル